



*Perigosidade  
Sísmica*

*Cadeira de Riscos Geológicos  
Módulo I*

*3ª Aula*

**J. Cabral**

**Izmit, Turquia  
1999**

# FALHAS ACTIVAS - ESTRUTURAS SISMOGÉNICAS

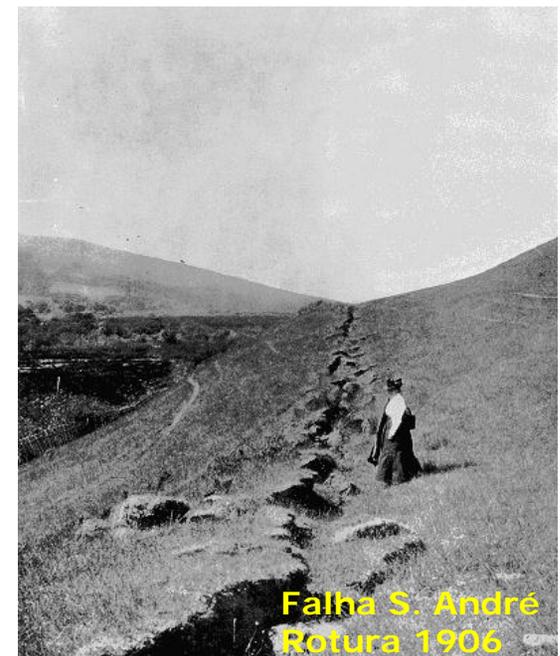
➤ Associação entre deslocamento em falhas e gênese dos sismos:

- reconhecida nos  finais do século XIX.

➤ Mecanismo sismogénico – Modelo do Ressalto

Elástico:

- proposto por H.F. Reid na sequência de estudos geológicos e geodésicos na Falha de S. André, após sismo de S. Francisco (1906)

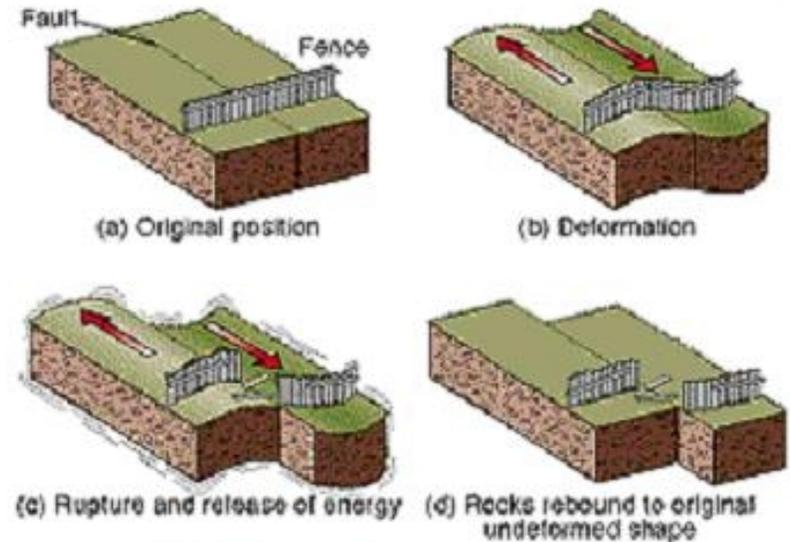


# MODELO DO RESSALTO ELÁSTICO

## ➤ Modelo do Ressalto

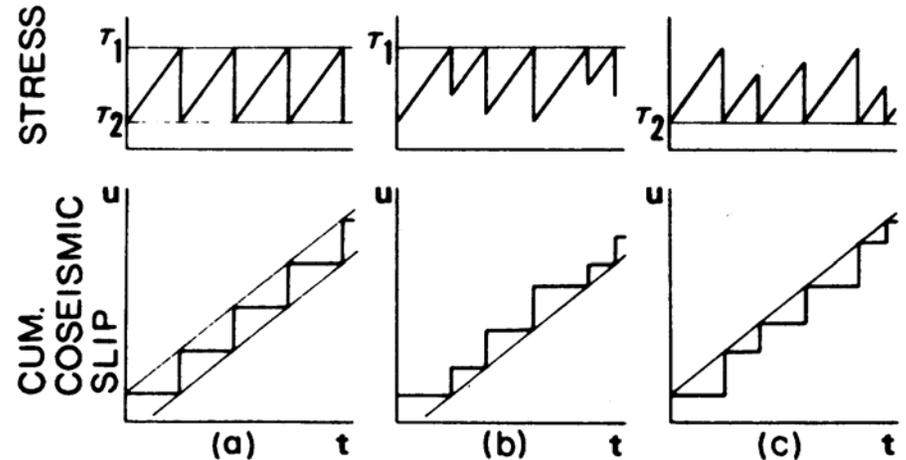
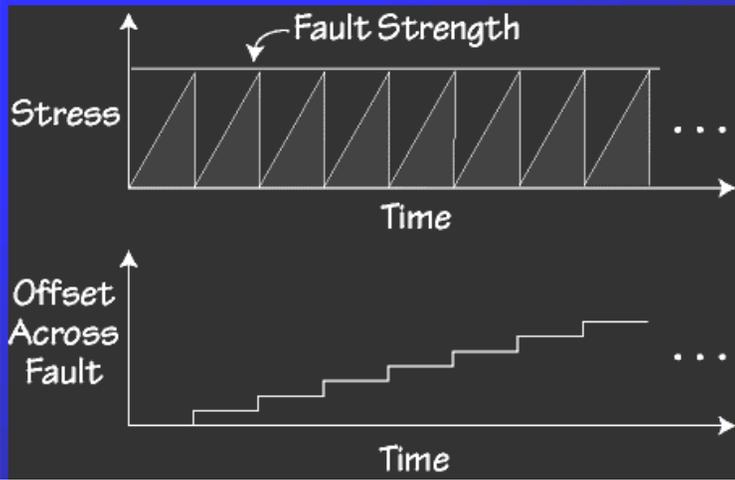
### Elástico:

- acumulação de tensão → deformação elástica → acumulação de energia;
- cedência (**ruptura**) numa **falha** → queda de tensão → **ressalto elástico** (**deslocamento**);
- libertação da energia acumulada → **calor** e de **ondas elásticas** (**ondas sísmicas**).



# MODELO DO RESSALTO ELÁSTICO – CICLO SÍSMICO

## Reid's Earthquake Cycle



Scholz, 1990

### Modelos teóricos de recorrência

- 1** - modelo de tempo-deslizamento previsível (*time-slip predictable*)  
ciclo sísmico uniforme;
- 2** - modelo de tempo previsível (*time predictable*);
- 3** - modelo de deslizamento previsível (*slip predictable*)

# EFEITO DOS SISMOS – INTENSIDADE SÍSMICA

## ESCALA DE MERCALLI MODIFICADA (MMI)

(Versão simplificada)

➤ Intensidade sísmica, I —  
ordenada segundo uma escala  
de intensidades:  
quantifica severidade das  
vibrações sísmicas num local,  
através de:

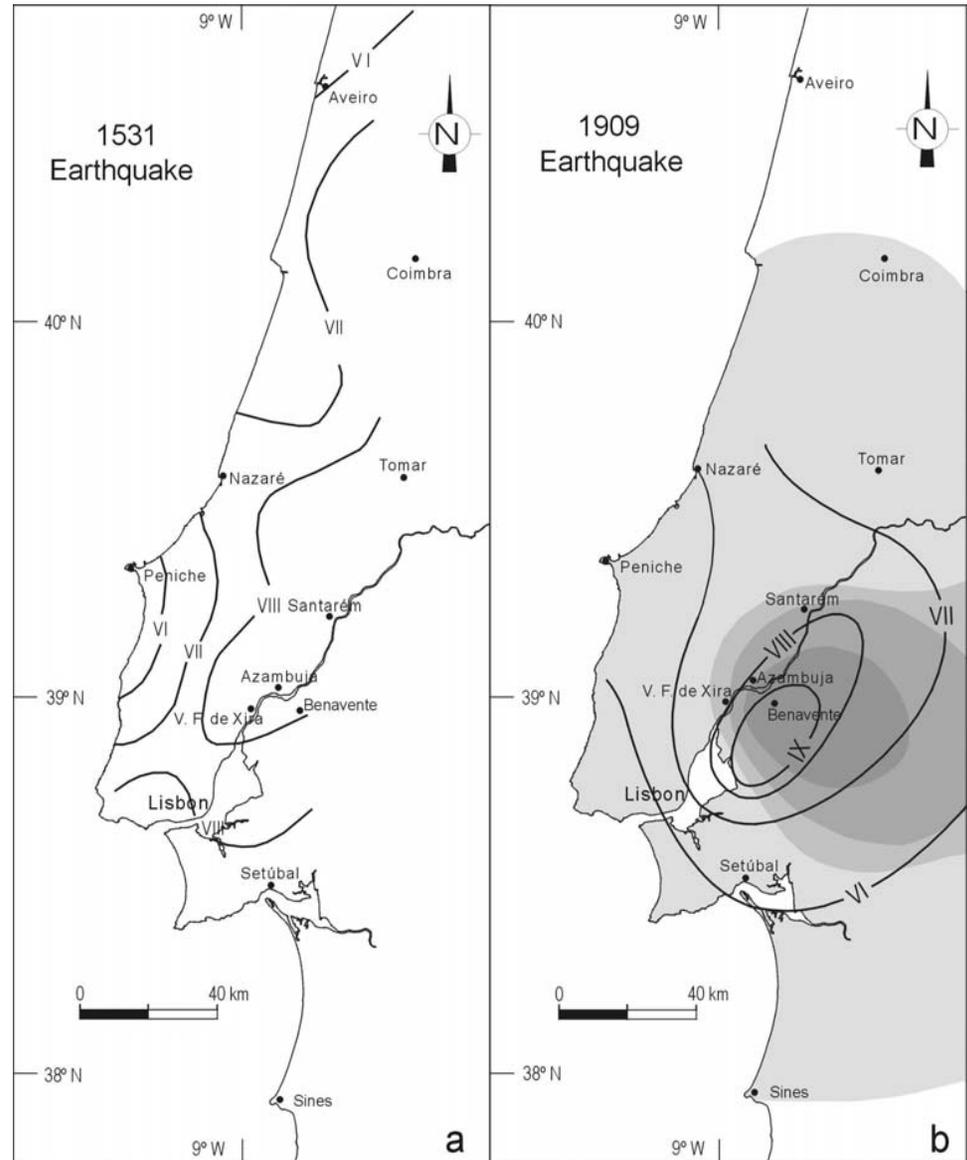
- grau de percepção pelos seres humanos;
- efeitos sobre objectos e estruturas construídas pelo Homem;
- efeitos sobre o meio ambiente.

➤ Utilização da intensidade  
não necessita de  
instrumentos:  
→ estudo da sismicidade  
histórica

- Grau I – **IMPERCEPTÍVEL** - Apenas registado pelos aparelhos de precisão, ou sismógrafos.
- Grau II – **MUITO FRACO** - Sentido por um muito reduzido número de pessoas em repouso, em especial pelas que habitam em andares elevados.
- Grau III – **FRACO** - Sentido por um pequeno número de habitantes. Bem sentido nos andares elevados.
- Grau IV – **MÉDIO** - 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.
- Grau V – **POUCO FORTE** - Praticamente sentido por toda a população, fazendo acordar muita gente. Há queda de alguns objectos menos estáveis e param os pêndulos dos relógios. Abrem-se pequenas fendas nos estuques das paredes.
- Grau VI – **FORTE** - Provoca início de pânico nas populações. Produzem-se leves danos nas habitações, caindo algumas chaminés. O mobiliário menos pesado é deslocado.
- Grau VII – **MUITO FORTE** - Caiem 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.
- Grau VIII – **RUINOSO** - Danos acentuados em construções sólidas. Os edifícios de muito boa construção sofrem alguns danos. Caiem campanários e chaminés de fábricas.
- Grau IX – **DESASTROSO** - Desmoronamento de alguns edifícios. Há danos consideráveis em construções muito sólidas.
- Grau X – **MUITO DESASTROSO** - Abrem-se fendas no solo. Há cortes nas canalizações, torção nas vias de caminho de ferro e empoamentos e fissuração nas estradas.
- Grau XI – **CATASTRÓFICO** - Destruição da quase totalidade dos edifícios, mesmo os mais sólidos. Caiem 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 escorregamentos de terrenos.
- Grau XII – **CATACLISMO** - Destruição total. Modificação da topografia. (Este grau nunca foi presenciado no período histórico.)

# CURVAS ISOSSISTAS

- **Curvas isossistas** — linhas, traçadas num mapa, unindo locais que sofreram intensidades sísmicas idênticas durante o mesmo sismo.
- **Intensidade** tem importantes **limitações** e **inconvenientes**:
  - é quantificada em escalas ordinais (I, II, etc.) não permitindo uma gradação contínua;
  - depende da densidade populacional e das condições locais de construção;
  - é condicionada pela geologia e topografia locais;
  - a sua avaliação é sempre subjectiva;
  - depende do efeito da directividade.



Oliveira e Sousa (1991)

Moreira (1984); Mezcua (1982)

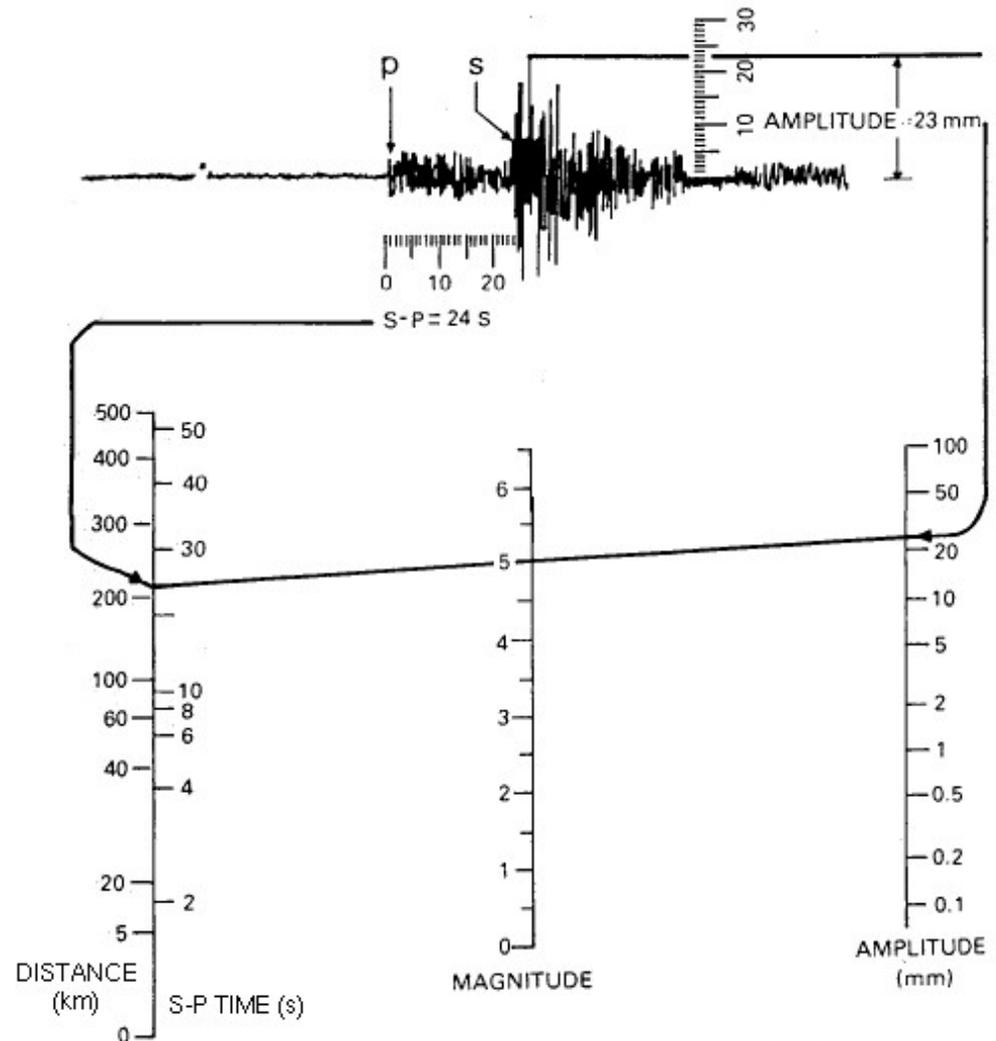
# O TAMANHO DOS SISMOS

➤ Grandeza de um sismo

→ expressa pela energia mecânica libertada pelas ondas sísmicas:

- medida aproximadamente pela magnitude sísmica,
- obtida a partir da amplitude das vibrações registadas em sismogramas.

( $M_L$ ,  $m_b$  (P-1s),  $M_S$  ( $L_R$ -20s),  $M_W$ ).

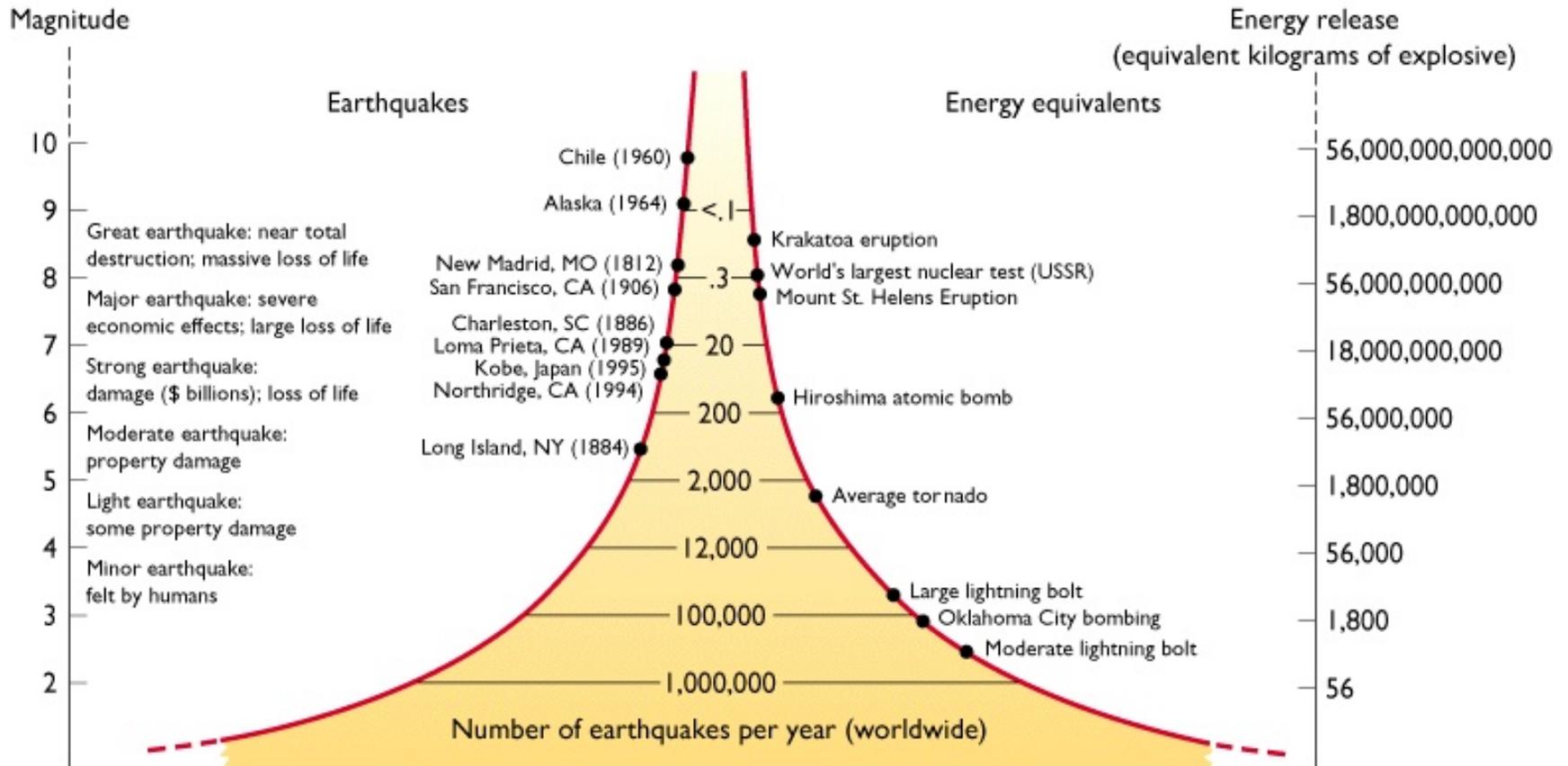


Bolt, 1978

# O TAMANHO DOS SISMOS

- Embora a maioria das escalas de magnitude não esteja directamente relacionada com parâmetros físicos fundamentais, existe uma **relação grosseira** entre a **magnitude** e a **energia sísmica libertada**:
- devido à escala de magnitudes ser logarítmica (para comprimir a variação na amplitude das ondas registadas nos sismógrafos, reflectindo a mesma variação na dimensão dos sismos), verifica-se que um aumento de uma unidade na magnitude corresponde a um aumento da energia sísmica libertada num factor de cerca de 30.
- Os sismólogos estabeleceram **relações empíricas** entre a **energia sísmica** libertada em cada sismo,  $E_S$ , e a **magnitude**, usando-se geralmente a **fórmula de Gutenberg-Richter (1956)**:
- $$\log E_S = 1,5M_S + 11,8 \quad (E_S \text{ expressa em erg})$$
- $$\log E_S = 1,44M_S + 5,24 \quad (E_S \text{ expressa em J})$$

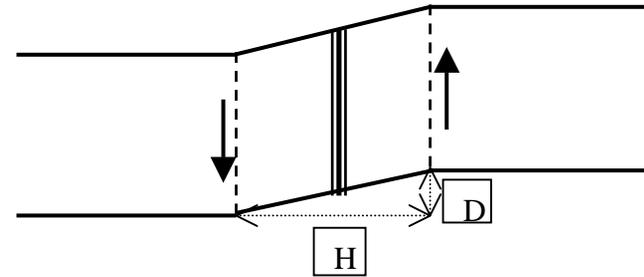
# O TAMANHO DOS SISMOS



Press e Siever, 2002

# DIMENSÃO DOS SISMOS – MOMENTO SÍSMICO

➤ Dimensão dos sismos → medida por parâmetro fisicamente mais significativo — o **momento sísmico**,  $M_0$  — introduzido por **Aki** (1966).



• Sendo **A** a **área da falha** que sofre ruptura co-sísmica e **H** a **largura** de terreno na qual se vai acumular a **deformação cisalhante elástica**  $\gamma$ , então, de um lado e outro da falha a **tensão cisalhante**,  $\tau$ , é dada por:

$$\tau = \mu \gamma \quad \text{onde } \gamma = \text{tg } \psi = D/H \quad \text{e } \mu \text{ é o } \underline{\text{módulo de cisalhamento}} \text{ do material}$$

• Esta **tensão cisalhante** resulta da acção de um **binário de forças**, **F** e **-F**, de módulo:

$$F = \tau A = \mu \gamma A = \mu (D/H) A = (\mu D A) / H$$

• Atendendo a que a **largura de rocha deformada**, **H**, funciona como o **braço do binário (b)**, então, por definição de **momento de um binário**, **M**, o seu módulo vem dado pelo produto do módulo das forças actuantes pelo braço do binário, ou seja:

$$M = b F = H (\mu D A) / H = \mu D A$$

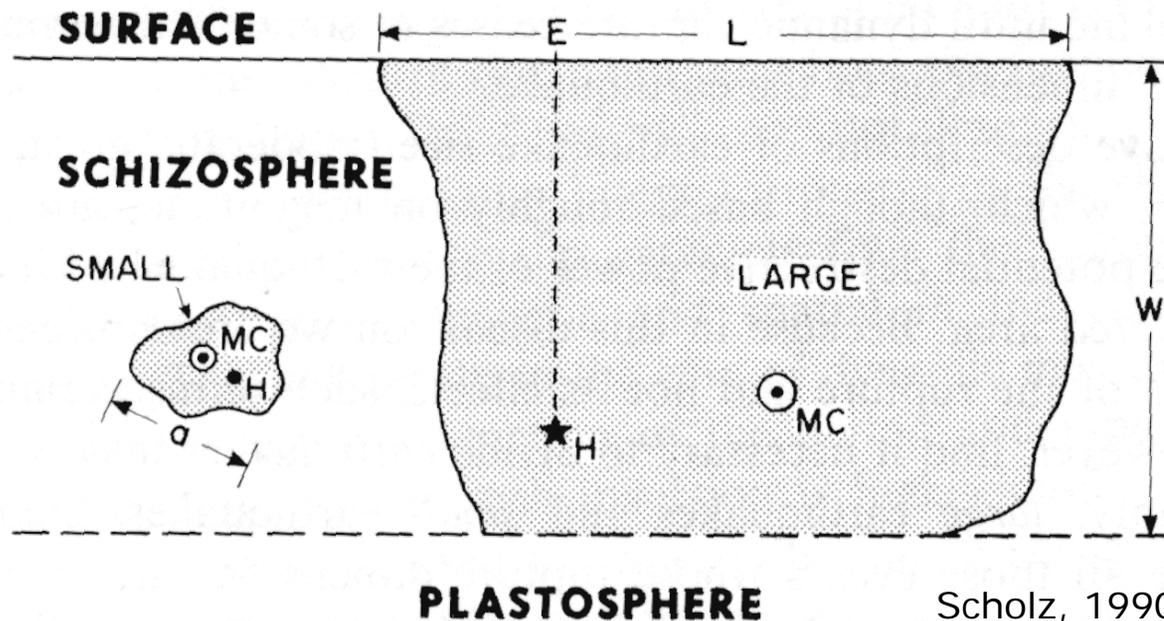
➤ Define-se, assim, o **momento sísmico**:  $M_0 = \mu u A$  onde  $\mu$  é o **módulo de rigidez** ou **módulo de cisalhamento** do material rochoso ( $\mu = \tau/\gamma$ ); na maioria dos cálculos,  $\mu = 3 \times 10^{10} \text{ Nm}^{-2}$  (= Pa) para a crosta; **u** é o **deslizamento médio** no segmento de uma falha que sofreu ruptura, de **área A**.

# TAMANHO DOS SISMOS – TAMANHO DAS FALHAS

➤ **Magnitude** de um sismo ( $\equiv$  energia libertada) → **determinada** pelas **características da ruptura** na **falha activa** → depende:

- da **área de ruptura** ( $A$ );
- do **deslocamento** na **falha** ( $D$ );

área > ou deslocamento >  $\Rightarrow$  Magnitude >  
**FALHAS GRANDES  $\Rightarrow$  SISMOS GRANDES**



Scholz, 1990

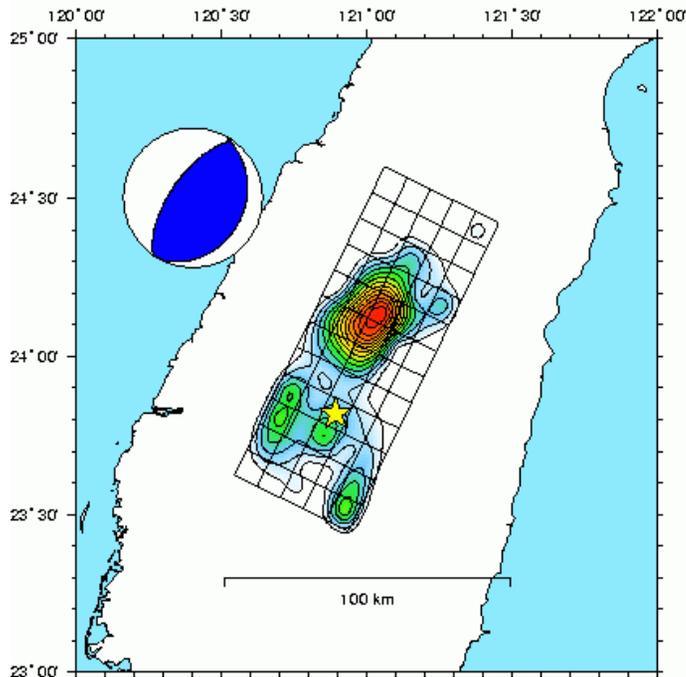
# RUPTURA SÍSMICA

➤ Um sismo resulta de um processo de ruptura numa falha sismogénica, que se inicia num “ponto” (o **foco**):

- a **ruptura** da falha **propaga-se** de forma irregular ao longo do plano de falha, a velocidades próximas da velocidade de propagação das ondas sísmicas S ( $\approx 3$  km/s) – efeito de **directividade**.

Taiwan Earthquake ( $M_w=7.5$ )

Hypocenter: 23.82N 120.89E 12km



**Taiwan Earthquake ( $M_w = 7.5$ )**

Hypocenter: 23.82N 120.89E 12km

