



*Perigosidade
Sísmica*

*Cadeira de Riscos Geológicos
Módulo I*

2ª Aula

J. Cabral

**Izmit, Turquia
1999**

ABORDAGEM PROBABILISTA

➤ **Métodos probabilistas** → vantagem de permitirem **associar** um **nível de probabilidade** aos **valores dos parâmetros** usados para caracterizar o **movimento vibratório do terreno** em cada sítio considerado.

➤ **Perspectiva probabilista:**

- **movimentos do solo** → usualmente expressos pela **aceleração** das **vibrações sísmicas expectáveis**;
- **perigo sísmico** (H_x) → **probabilidade** de a **aceleração máxima** do solo no local (A_x) **exceder** um **valor de referência** da aceleração (A_r), num **intervalo de tempo** (t):

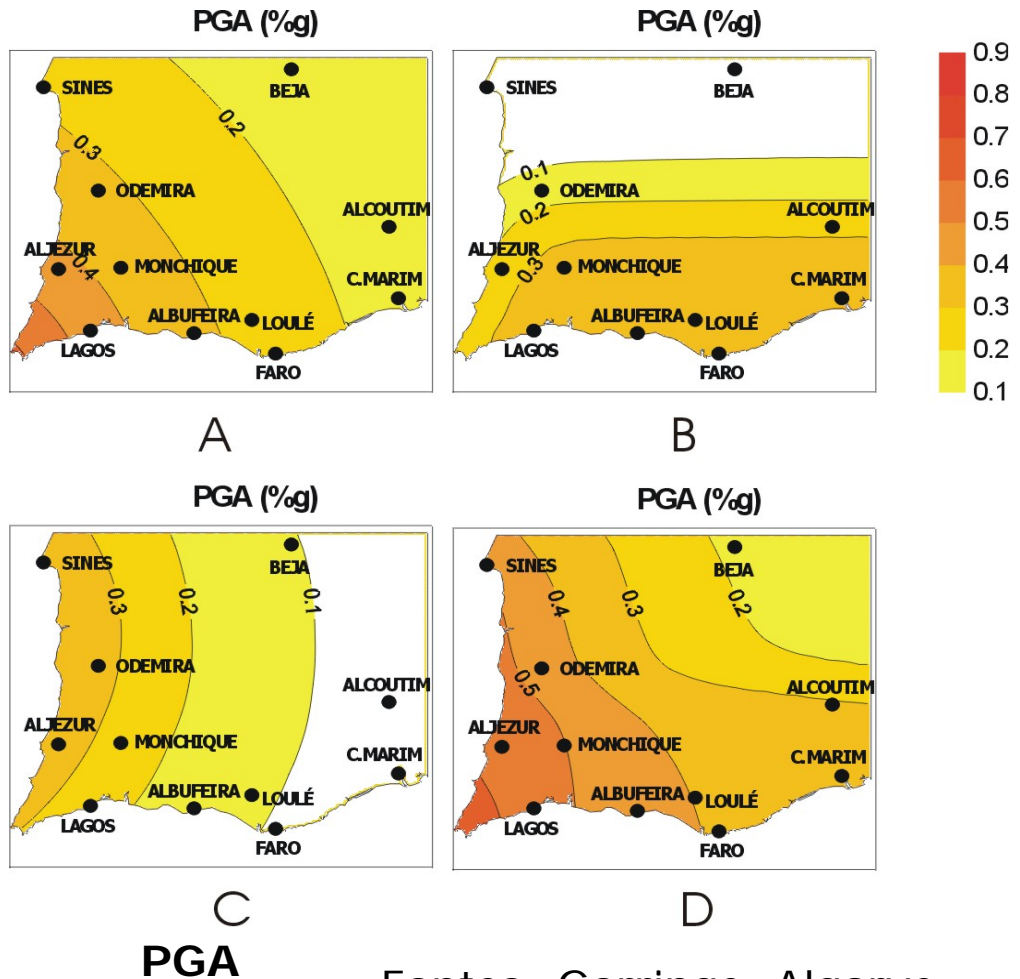
$$\text{perigo sísmico no local } x \quad H_x = P (A_x > A_r) t$$

MAPAS DE PERIGOSIDADE SÍSMICA

➤ Mapas de perigosidade → isolinhas de um parâmetro das vibrações sísmicas (p. ex. aceleração) para:

- uma **probabilidade de excedência** num dado **intervalo de tempo**.

5% de probabilidade de excedência em 200 anos.



Fontes: Gorringe, Algarve, Margem Alentejana e as 3 zonas em simultâneo

P. Teves Costa (2001)

ABORDAGEM PROBABILISTA

➤ Outro modo de quantificar a **perigosidade sísmica**:

- **probabilidade anual de ocorrência**, ou o inverso – **período de retorno**, de um **dado nível de movimento do solo** (aceleração, velocidade ou deslocamento).

CONSTRUÇÃO DO MODELO DE PERIGOSIDADE SÍSMICA

- Avaliação da **perigosidade sísmica** ⇒ **modelo de sismicidade** ↔ “base de dados” dos **sismos** e **fontes**
 - 1) **identificação das fontes sismogénicas** — **falhas activas** ou **zonas sismogénicas** (províncias sismotectónicas);
 - 2) **caracterização** da respectiva **actividade sísmica** ↔ **modelos de recorrência** — relação de Gutenberg-Richter ($\log N(M) = \log a - bM$) → intervalo de recorrência médio (v_M);
 - 3) **modelo estatístico** – probabilidade de **ocorrência no tempo** (para M_i) → distribuição de Poisson;
 - 1) **lei de atenuação** → estimativa de acelerações no sítio;
⇒ **Modelo de Perigosidade Sísmica**

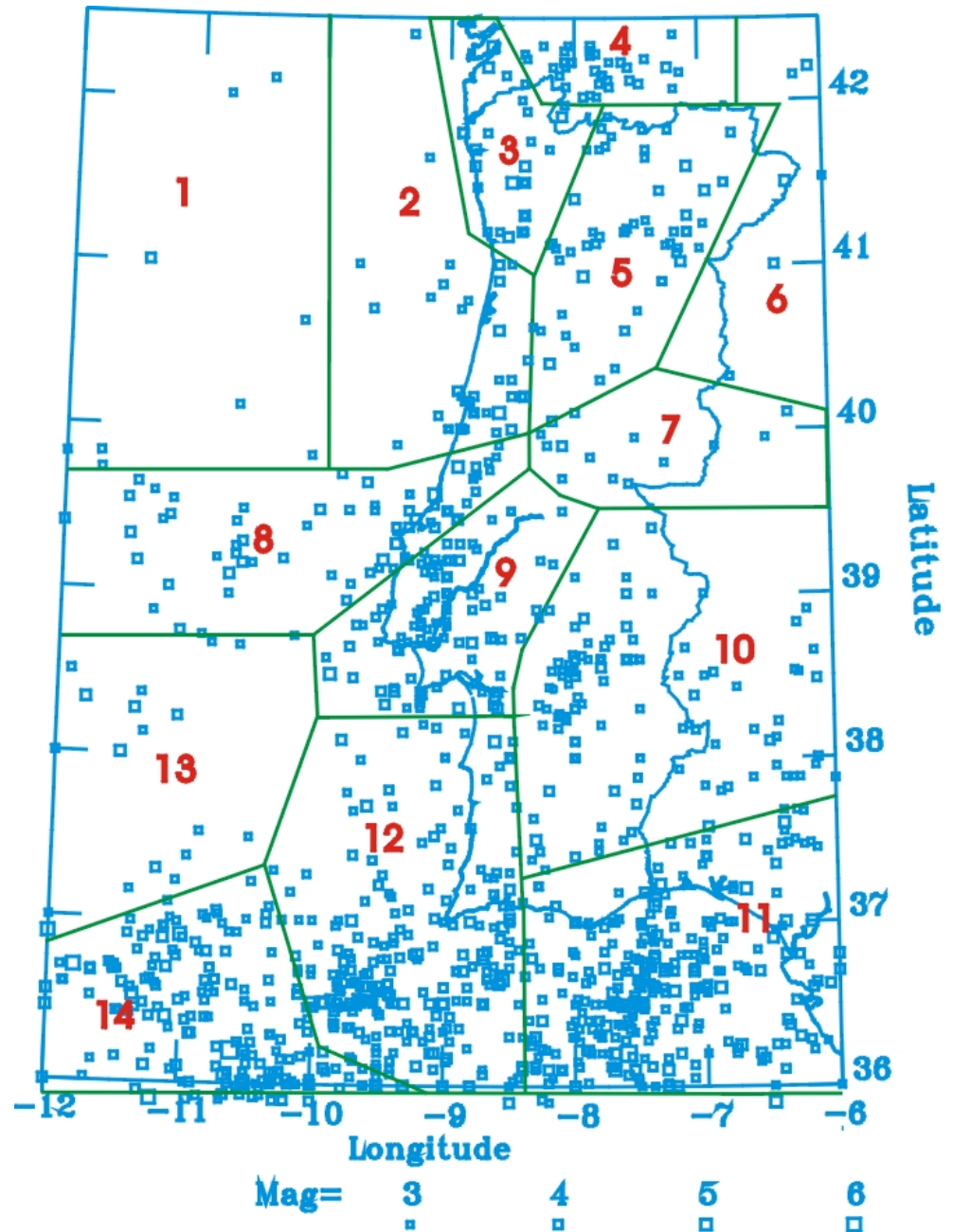
CONSTRUÇÃO DO MODELO DE PERIGOSIDADE SÍSMICA

1) identificação das fontes sismogénicas

- estruturas geológicas (**falhas activas**) e/ou
- **zonas sismogénicas** (definidas com base na sismicidade e estruturas regionais).

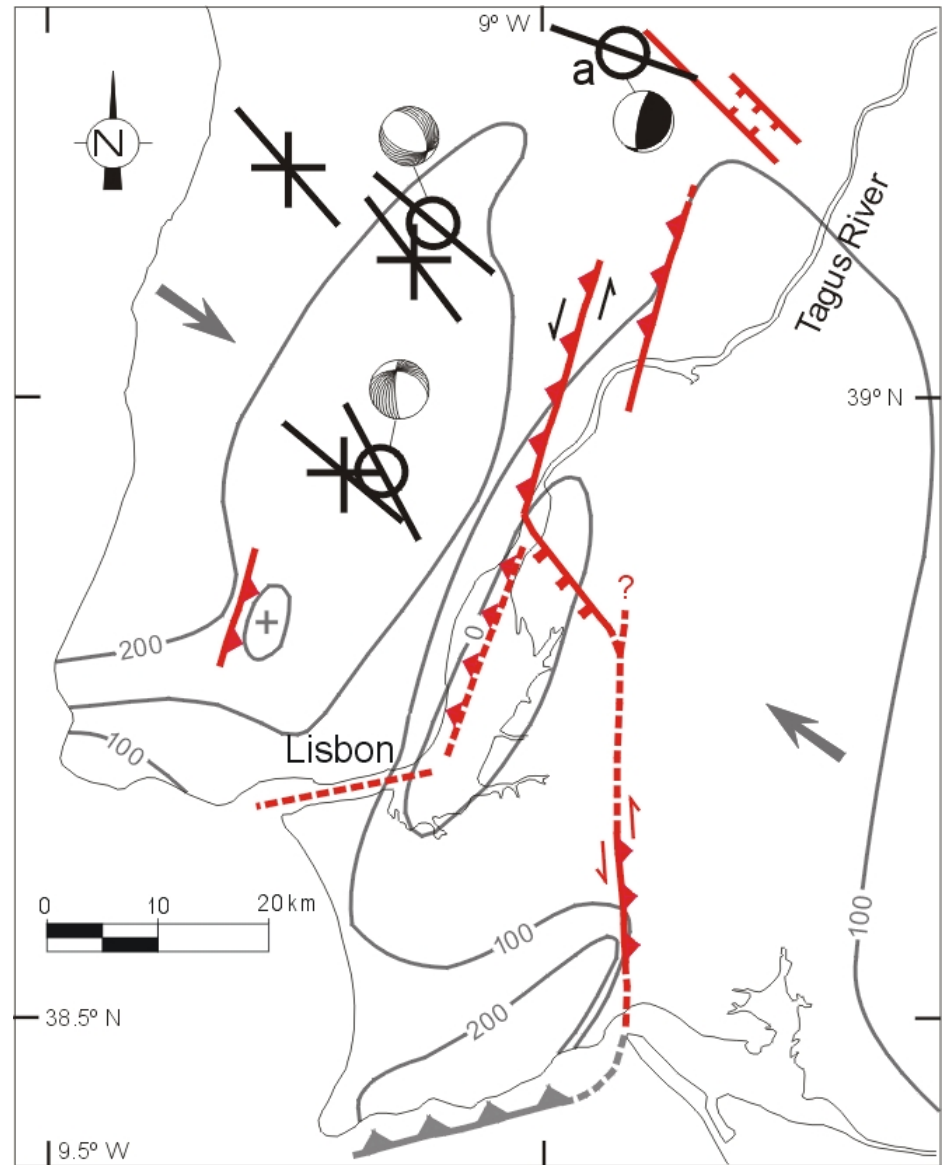
ZONAS SISMOGÉNICAS - EXEMPLO

Projecto "Estudo do Risco
Sísmico na Área Metropolitana
de Lisboa e Concelhos
Limítrofes" (2000)



MAPA DE FALHAS ACTIVAS - EXEMPLO

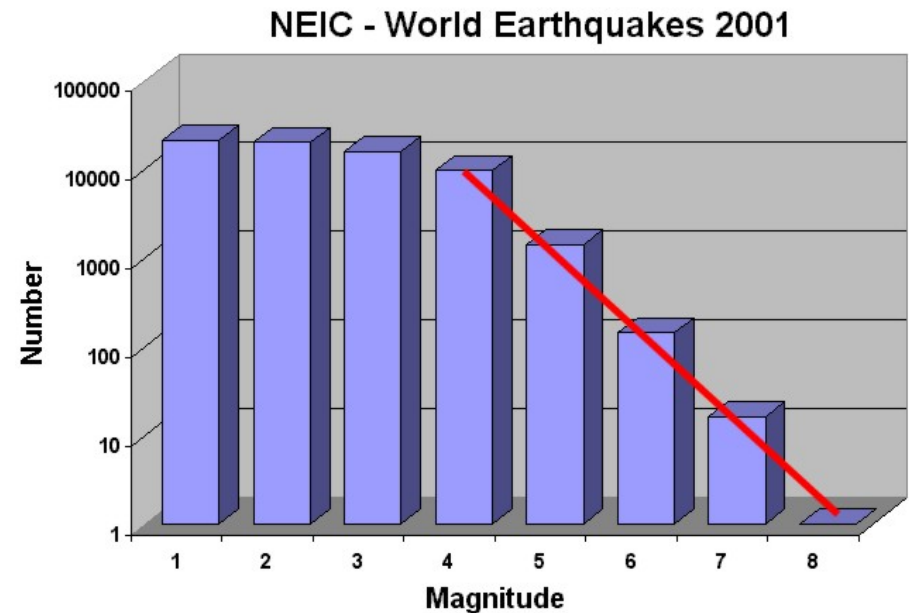
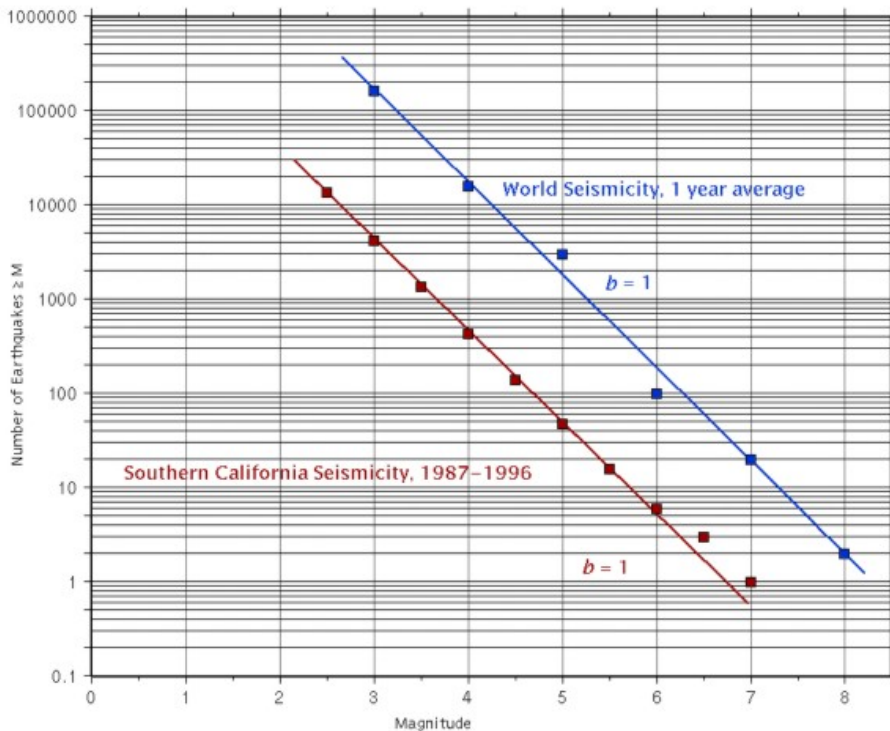
➤ Região do Vale Inferior do Tejo



Adaptado de Cabral et al., 2003

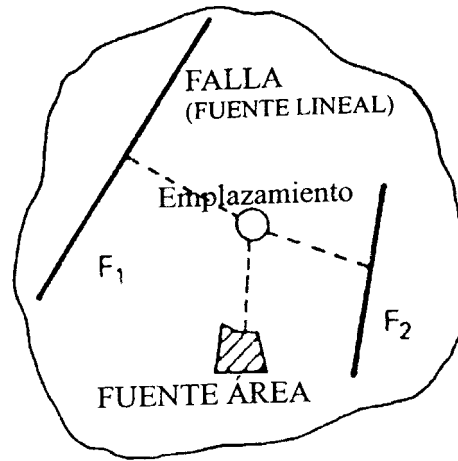
CONSTRUÇÃO DO MODELO DE PERIGOSIDADE SÍSMICA

2) caracterização da **actividade sísmica** das **fontes sismogénicas** — **modelos de recorrência** — **relação de Gutenberg-Richter** $\log [N(m \geq M)] = \log a - bM$



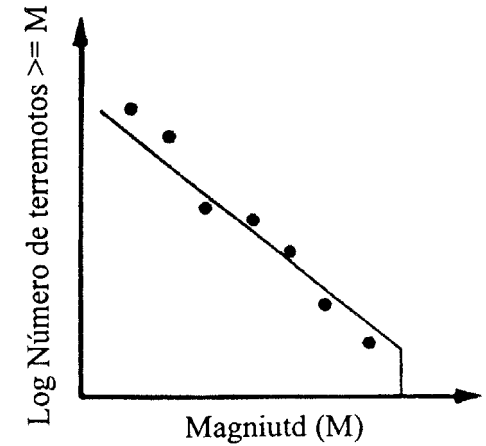
MODELO DE PERIGOSIDADE SÍSMICA

- 1) Fontes sismogénicas
- 2) Modelos de recorrência
- 3) Leis de atenuação
- 4) A- Modelo de ocorrência no tempo (Poisson);
B- Função de probabilidade acumulada



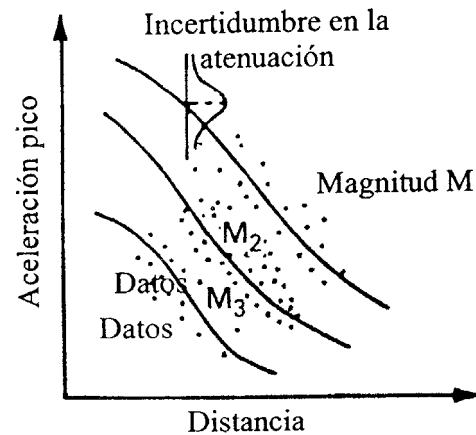
1)

ETAPA 1
FUENTES



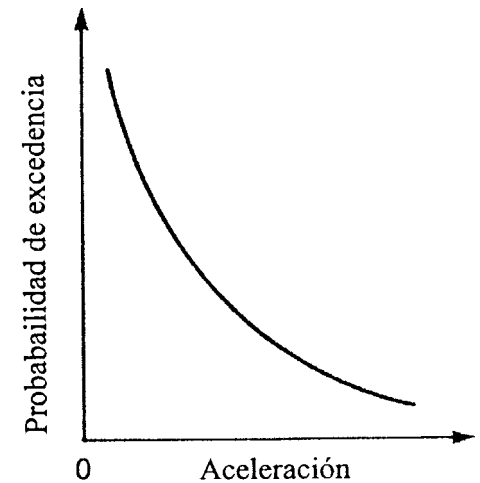
2)

ETAPA 2
RECURRENCIA



3)

ETAPA 3
MOVIMIENTO FUERTE
DEL SUELO



4)

ETAPA 4
PROBABILIDAD DE
EXCEDENCIA

INTERVENÇÃO DA GEOLOGIA

➤ Para além da influência na **atenuação** das ondas sísmicas e nos **efeitos de sítio**, a **Geologia – Neotectónica** e **Sismotectónica** - intervêm:

- Na **identificação** e **caracterização** das **fontes sismogénicas** (**falhas activas** e **zonas sismogénicas**);
- No aperfeiçoamento do **modelo de sismicidade** :
 - ✓ **ampliando** a **escala cronológica dos registos** - para o tempo geológico ↔ **Paleosismicidade**;
 - ✓ melhorando o **modelo de recorrência**
 - ✓ identificando os **sismos máximos** que as estruturas activas presentes têm o potencial de gerar.

FALHAS ACTIVAS

- **Avaliação** da **actividade das falhas** → no âmbito de:
 - **estudos aplicados à segurança de empreendimentos sensíveis**, p. ex. centrais nucleares, barragens;
 - **estudos de risco sísmico** à escala **regional** (mais ou menos alargada):
 - ✓ **planeamento urbano** (**microzonagem sísmica**);
 - ✓ **inventariação de cenários** em caso de sismo e estabelecimento de **planos de emergência**.
- Em **estudos de perigosidade** → avalia-se **capacidade** das **falhas** para gerarem:
 - **movimentos do solo** (vibrações sísmicas) **fortes**, ou seja, **sismos** de **magnitude elevada**,
 - **ruptura superficial** (geralmente acompanhando sismos superficiais de $M > 6$).

NOÇÃO DE FALHA ACTIVA

➤ consideram-se **activas**:

- **falhas** com evidências de **deslocamentos** **suficientemente recentes** para que seja **expectável** a **ocorrência** de **novos deslocamentos** durante o tempo de vida dos empreendimentos em causa, ou num futuro relativamente próximo (com impacto na comunidade).

➤ **estudo** das **falhas activas** – enquadra-se nos **estudos** regionais de **Neotectónica**:

- estudo das **deformações tectónicas** ocorridas desde o estabelecimento do **regime tectónico corrente** (ou vigente) na região.

CLASSIFICAÇÃO DICOTÓMICA DE ACTIVIDADE NAS FALHAS

- Existem **numerosas definições de falha activa**, sempre ligadas a uma dada **referência cronológica de observação**.
- Admitem-se geralmente **duas situações para cada falha**:
 - **activa** ou **inactiva** (ou **extinta**), com base na **idade dos últimos movimentos** identificados na falha.
- Considera-se, por vezes, a classificação de **falha potencialmente activa** e/ou de **falha não provada**:
 - falha com evidências de deslocamento relativamente recente (no Regime Tectónico Corrente, ou no Quaternário, p. ex.), mas para a qual não é possível aplicar objectivamente critérios de actividade.

FALHA CAPAZ

➤ Em estudos de neotectónica aplicados à segurança de **centrais nucleares** é norma recuar-se aos últimos **500.000 anos** para a definição de falhas activas — neste caso denominadas **falhas capazes**:

▪ A *capable fault* is a fault, which has exhibited one or more of the following characteristics:

(1) *Movement at or near the ground surface at least once within the past 35,000 years or movement of a recurring nature within the past 500,000 years.*

(2) *Macro-seismicity instrumentally determined with records of sufficient precision to demonstrate a direct relationship with the fault.*

(3) *A structural relationship to a capable fault according to characteristic (1) or (2) of this paragraph such that movement on one could be reasonably expected to be accompanied by movement on the other.*

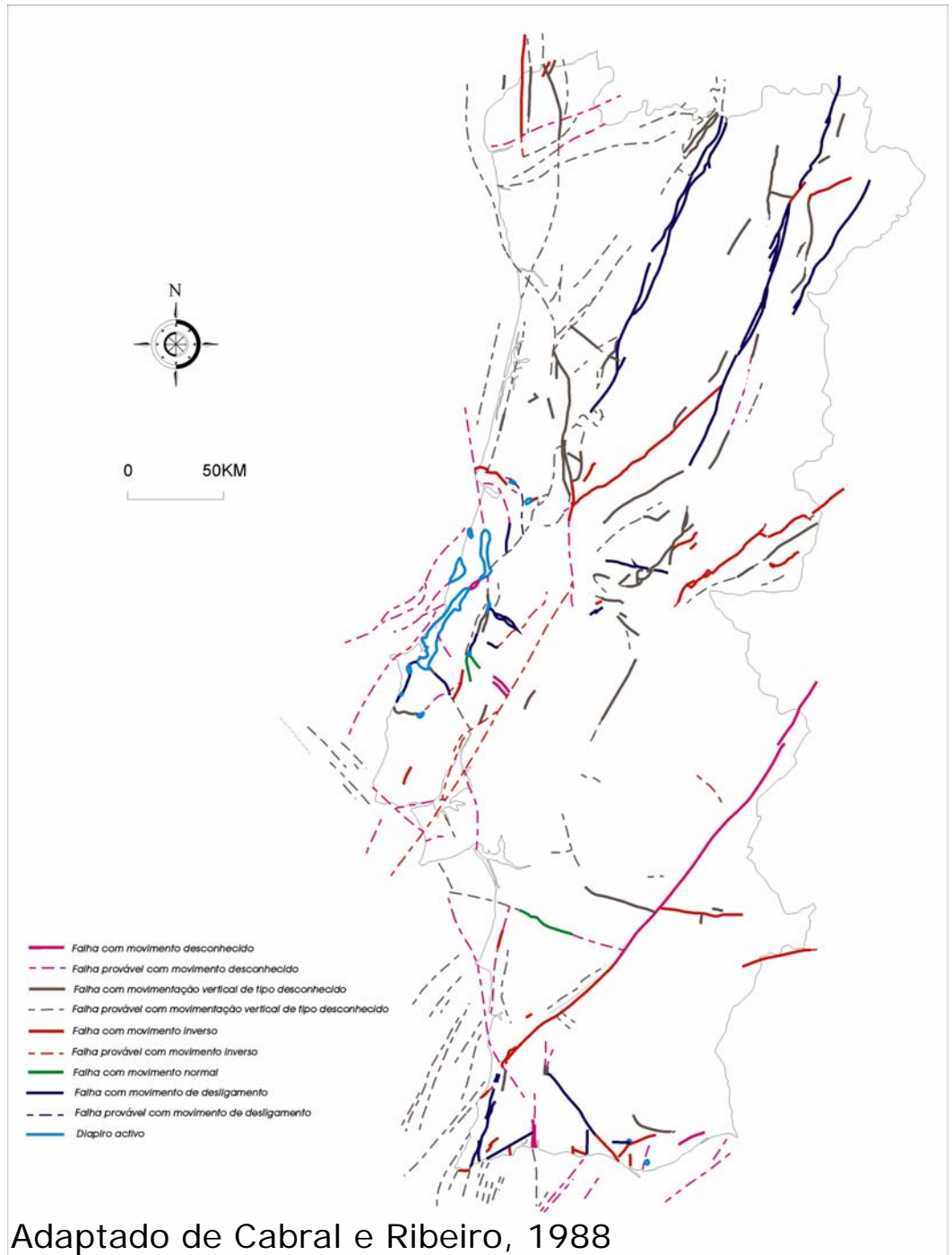
(U.S. Nuclear Regulatory Commission, Appendix A to Part 100 -- Seismic and Geologic Siting Criteria for Nuclear Power Plants, 1997)

FALHA ACTIVA – ESTADO DA CALIFÓRNIA

- No Estado da Califórnia, região de elevada actividade tectónica, utiliza-se a seguinte definição de **falha activa** para **zonamento sísmico** (*California State Mining and Geology Board Classification, 1973, in Keller e Pinter, 2002*):
- **falha** apresentando evidências de movimentação na época holocénica (últimos 10.000 anos);
 - uma **falha** que se movimentou no período Quaternário é classificada como **potencialmente activa**, enquanto que as **falhas** que não se movimentaram no Quaternário (1,8 Ma) se designam **inactivas**.

MAPA NEOTECTÓNICO DE PORTUGAL CONTINENTAL

- **Critério de actividade** abarcando **período de tempo muito longo** \approx **2 Ma** (aproximadamente o **Quaternário**)



Adaptado de Cabral e Ribeiro, 1988

MAPA NEOTECTÓNICO DE PORTUGAL CONTINENTAL

- **Critério de actividade** abarcando **período de tempo** muito longo **≈ 2 Ma** (aproximadamente o Quaternário):
 - trabalho elaborado parcialmente no âmbito de estudos de selecção de sítios para a instalação de centrais nucleares em Portugal;
 - percepção da ocorrência de taxas de actividade tectónica relativamente baixas;
 - fundamentado na transição para o Regime Tectónico Corrente – passagem do Pliocénico superior ao Quaternário marcada por incremento da actividade tectónica e por levantamento regional generalizado, em resposta a uma modificação do campo da tensão:
 - ❖ com rotação da tensão compressiva máxima horizontal de NW-SE para WNW-ESE na área litoral.

FALHAS ACTIVAS – PORTUGAL CONTINENTAL

➤ Portugal continental - ciclo sísmico médio para sismos de $M \geq 6,5$ → estimado entre 5.000 e 200.000 anos:

- período mínimo em que é expectável encontrarem-se evidências de falhamento activo no registo geológico superficial;
- necessários cerca de 50.000 a 2.000.000 de anos para acumular uma rejeição na superfície topográfica de cerca de 10 m.

ENQUADRAMENTO GEODINÂMICO

➤ Evolução geodinâmica

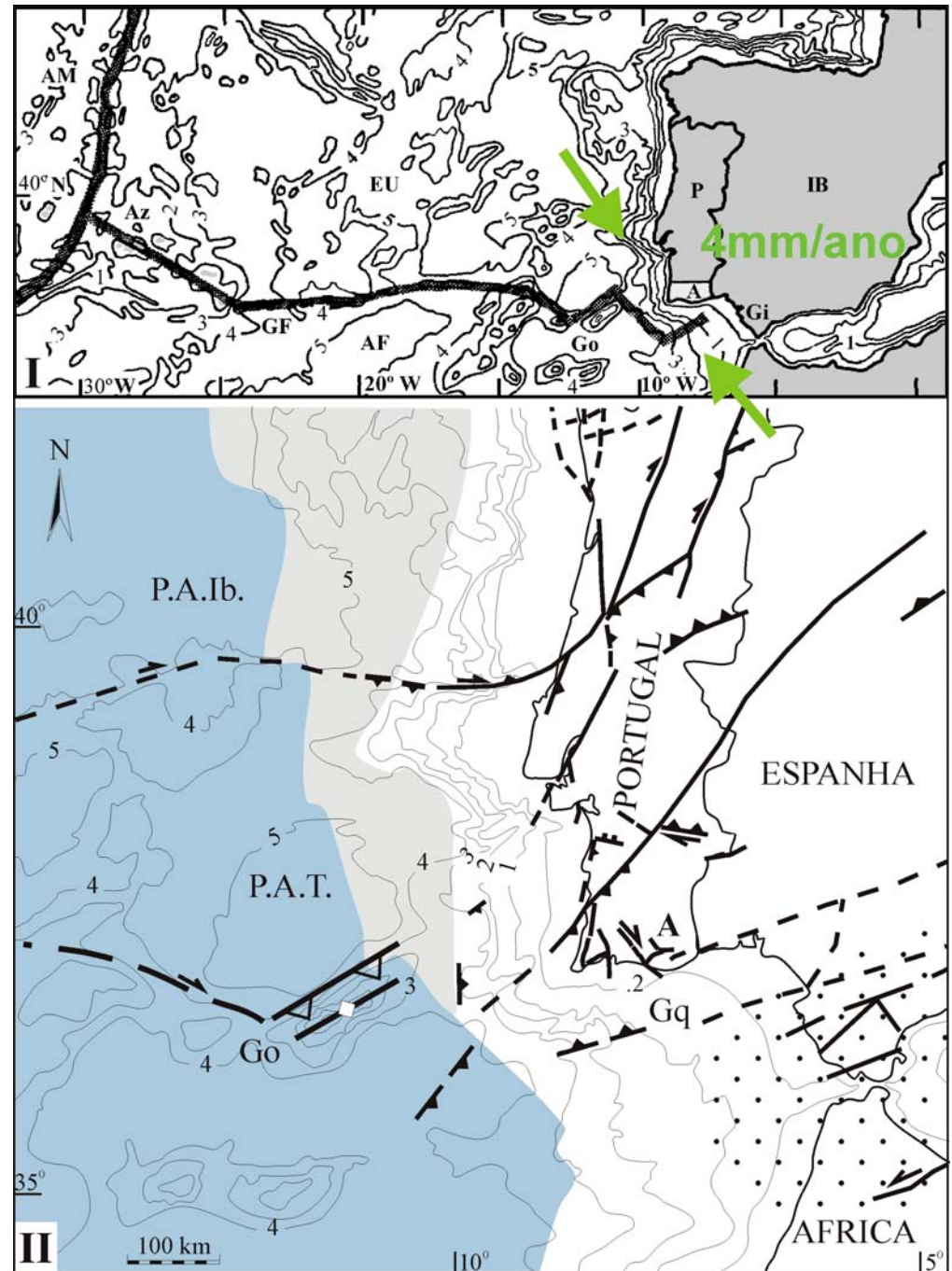
→ condicionada por:

- **localização** no contexto das **placas litosféricas**;
- **interacção** entre as **placas** →

➤ Convergência NW-SE

Ibéria – África

(4mm/ano)

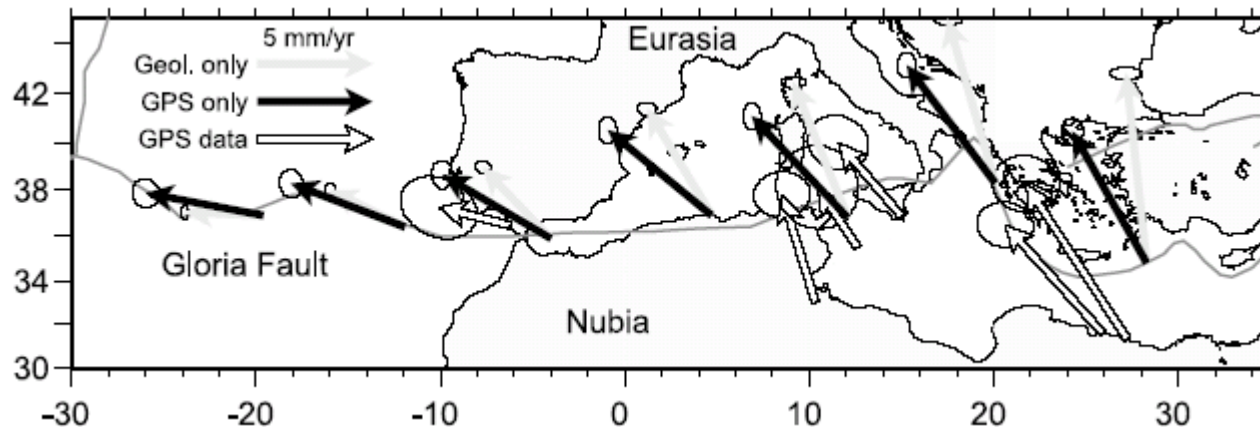
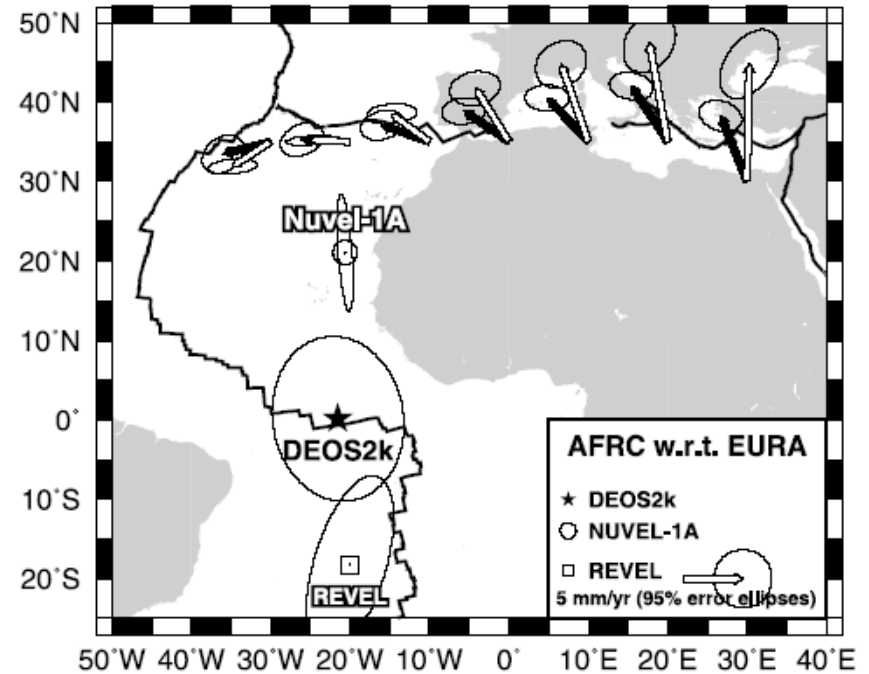


Adaptado de Cabral, 1995

REGIME TECTÓNICO CORRENTE

- Evidências de geodesia de satélite (GPS) de modificação do movimento relativo das placas pós- 3 Ma
 - efeito instantâneo ou à escala geol. (Q)?

Fernandes et al, Geophysical Research Letters, vol. 30, no. 16, 2003



E. Calais et al., Earth and Planetary Science Letters 216 (2003) 81-92