

Mestrado em Engenharia Civil

Engenharia Sísmica Geotécnica

Prof. Jaime Santos

www.civil.ist.utl.pt/~jaime

jaime@civil.ist.utl.pt

1

Engenharia Sísmica Geotécnica

Programa

Sismologia e sismos. Propagação e atenuação de ondas sísmicas. Comportamento cíclico dos solos. Rigidez e amortecimento. Efeitos locais de amplificação sísmica. Funções de transferência. Fundações sob acções dinâmicas no topo. Funções de impedância dinâmica. Estacas sob acções sísmicas. Resposta sísmica de estruturas de suporte. Impulsos sísmicos. Resposta sísmica de taludes. Mobilidade cíclica e liquefacção. Avaliação da susceptibilidade à liquefacção. Recomendações para análise e projecto. Referência ao RSAEEP e ao Eurocódigo 8.

2

Engenharia Sísmica Geotécnica

Avaliação

A avaliação é composta por duas partes:

- 1 – Avaliação contínua (exercícios, trabalhos, apresentação) – 50%
- 2 – Exame final – 50% (mín 8,0 em 20,0 val.)

Engenharia Sísmica Geotécnica

Bibliografia

- Geotechnical Earthquake Engineering , Kramer, S.L., 1996, Prentice Hall. ISBN 0 13 374943 6
- Regulamento de Segur. e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes , RSAEEP, 1986, Imprensa Nacional, Casa da Moeda, E.P., Lisboa
- Eurocode 8 - Design provisions for earthquake resistance of structures, EC8, 2002, Final Draft, European Prestandard
- Outros elementos

Sismos

Algumas definições

- **Sismos** – processo de rotura; movimentos da falha
- **Sismologia** – ciência que estuda os fenómenos de natureza sísmica, incluindo as suas causas, manifestações e fenómenos naturais associados
- **Perigo sísmico** – qualquer manifestação de origem sísmica cujo efeito seja entendido como negativo para a sociedade
- **Risco sísmico** – Valor expectável de um grandeza associada ao perigo sísmico, por exemplo: valor, vidas ou número de feridos
- **Engenharia sísmica** – conjunto de técnicas, métodos e normas de carácter pluridisciplinar tendentes à caracterização e mitigação do risco sísmico

5

Sismos

Fenómenos associados à actividade sísmica

Além do efeito directo das vibrações sísmicas, ocorrem outros fenómenos associados capazes de gerar danos significativos nas edificações:

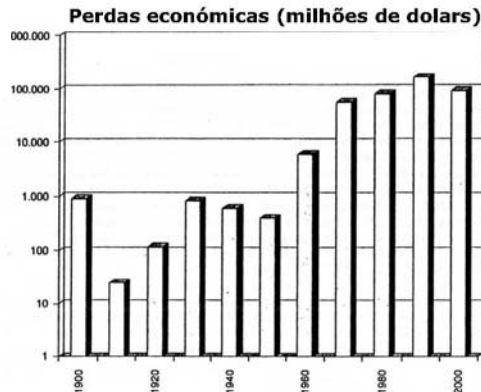
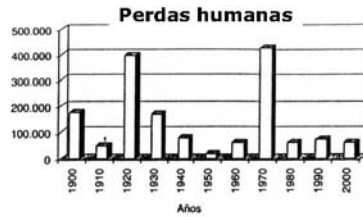
- **Rotura superficial**
- **Inundação por subsidência (imersão)**
- **Levantamento (emersão)**
- **Rotura do solo (mobilidade cíclica / liquefacção)**
- **Escorregamentos de terreno**
- **Tsunamis**

6

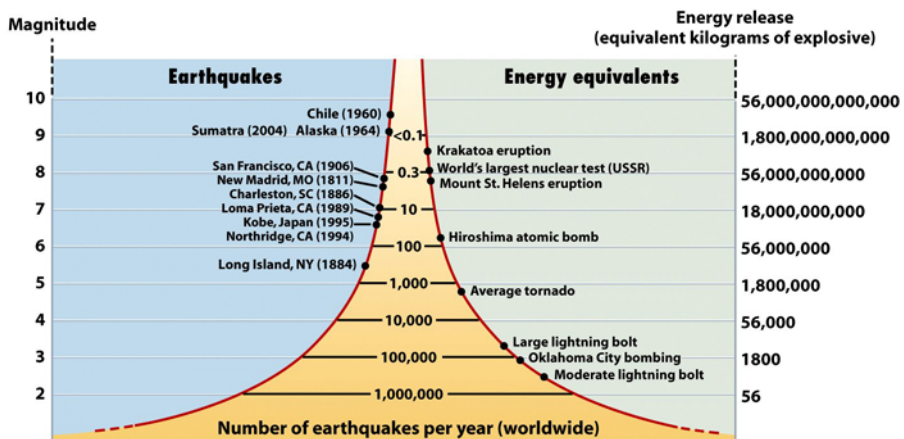
Perdas associadas aos sismos

3 milhões de vítimas mortais desde o séc. XVIII. Metade no séc. XX.

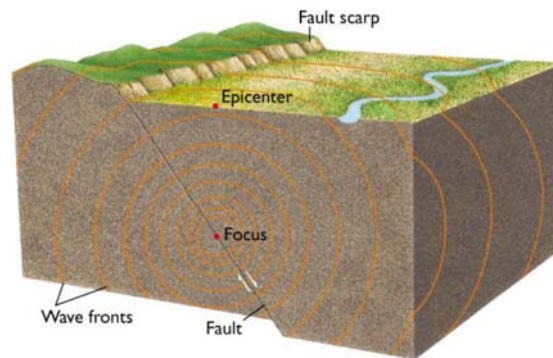
Segundo Pinto (1998)
In Oliveira (1999)



Energia dos sismos

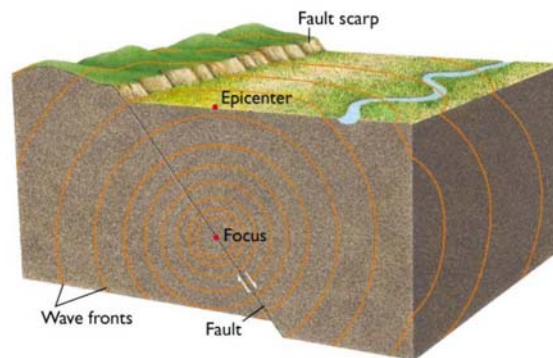


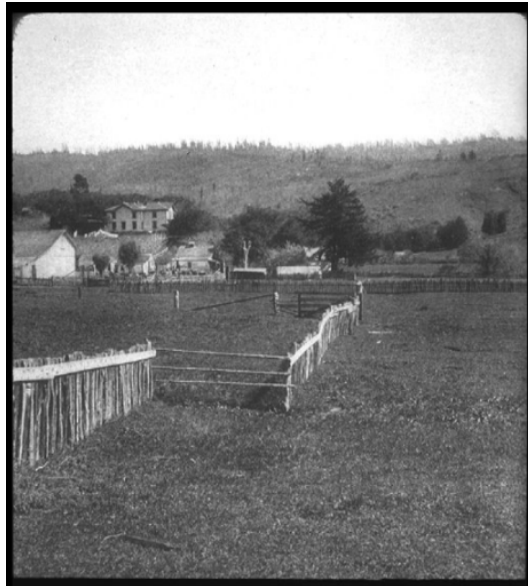
Sismo → ondas elásticas geradas numa fonte sismogénica (falha activa) e que se propagam pelas rochas



Foco superficial (< 15 – 20 km de prof.):

- $M_w \geq 6$ → rotura na crosta propaga-se até à superfície topográfica deslocando-a
- ocorre rotura superficial



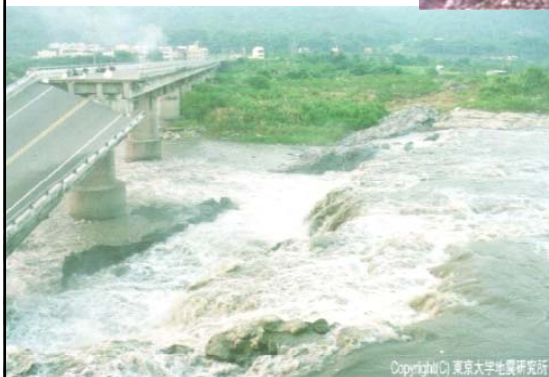


Rotura superficial na
falha de Santo André

Sismo de S. Francisco
de 1906.

A vedação sofreu um
movimento relativo de
cerca de 3m

Turquia 1999
rot. sup. 60 km



Taiwan, 1999
2000 mortos
4000 feridos



Movimento de falha
(Turquia, 1999)

*"According to official figures
17,480 people died and
23,983 were injured,
600,031 were homeless and
200,010 were living on the
streets"*



Movimento de falha (Turquia, 1999)



Subsidência
(Turquia, 1999)



Mobilidade
cíclica/Liquefacção

Grandes
Movimentos
(Turquia, 1999)





Earthquake damage in
Los Angeles, 1994



"Approximately 6,434 people (final estimate as of 2006). It was the worst earthquake in Japan since the Great Kantō earthquake in 1923, which claimed 140,000 lives. It caused \$200 billion USD in damage"

Earthquake damage in
Kobe, Japan, 1995



"The reported death toll from the earthquake and avalanche totalled 47,194 people, although some estimates place it as high as 66,000. About 19,600 went missing and 143,331 were injured. Over 500,000 people were left homeless. In Yungay, 17,000 people died due to the landslide, and only 400 survived"

Earthquake landslide in Yungay and Ranrahirca, Peru, 1970



Escorregamento de terrenos (Faial, 1998)

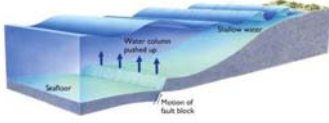


Escorregamento de terrenos (Faial, 1998)



Escorregamento de terrenos (Turquia, 1999)

TSUNAMIS



“United Nations lists a total of 229,866 people lost, including 186,983 dead & 42,883 missing”



Earthquake tsunami at Banda Ache, Sumatra, Dec. 26, 2004



Earthquake tsunami at Phuket, Thailand, Dec. 26, 2004

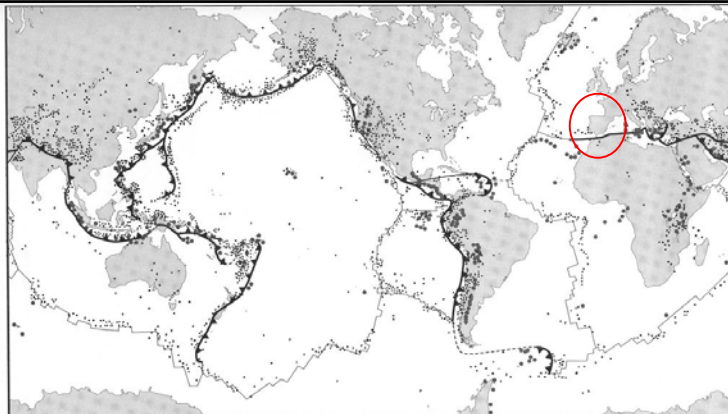
Sismicidade

Algumas definições

Sismicidade - frequência de ocorrência de sismos numa dada região: distribuição estatística, cronológica e geográfica, das ocorrências sísmicas expressas quantitativamente por uma dada variável (aceleração, velocidade, deslocamento ...)

Sismicidade histórica - a recolha e tratamento de índole histórica dos registos de ocorrências sísmicas (data e hora de ocorrência, registos históricos dos efeitos dos sismos ...)

Sismicidade instrumental – utilização de aparelhos para o registo de movimentos sísmicos (localização do epicentro, data e hora, registos instrumentos de movimentos (aceleração, velocidade ...)



Portugal localiza-se em regiões de média actividade sísmica.

Portugal continental situa-se a norte da fronteira entre as placas Euro-Asiática e Africana. Os Açores situam-se na crista média do Atlântico, na proximidade da junção das placas Euro-Asiática, Africana e Americana.0

Sismo de Benavente 1909



Sismo de Lisboa 1755

Magnitude > 8

Uma das maiores observadas e a maior de entre os sismos que afectaram a Europa (entre 8,5 e 9, para alguns autores). Mais recentemente, surge a tese de que se terá tratado de mais do que um evento sísmico



Sismo de Lisboa

1 de Novembro de 1755
dia de todos os Santos



Estima-se o número de vítimas entre 60000 e 80000 dos quais 20000 mortais (população da Lisboa de então era cerca de 200000 habitantes)

Destruição quase total das 20000 casas então existentes (sobraram 3000)

Foram totalmente destruídas 32 igrejas, 60 capelas, 31 mosteiros, 15 conventos e 53 palácios.

O tsunami foi sentido não só nas costas portuguesas mas também a sudoeste de Espanha, norte de África nas Ilhas Britânicas e na Holanda. Também nas costas do continente americano o tsunami se fez sentir.

Os dados históricos do continente referem a ocorrência em Lisboa de sismos catastróficos em 1009, 1344, 1531 e 1755 ... ???

Relatos históricos

Lisboa, 1755

“Durante os dois abalos violentos do terramoto, o cais principal da cidade, ..., afundou-se todo em conjunto e tão fundo que nenhuma vara o conseguiu alcançar ... vários montes de sal nas margens do rio, muitas léguas acima de Lisboa, afundaram-se no chão quase a toda a altura e assim ficaram. A terra abriu em bastantes locais do reino, como em Alcântara, uma légua a Oeste de Lisboa; em Sacavém ...; em Azeitão, e em Setúbal. Algumas fendas permanecem abertas, outras voltaram a fechar-se, de algumas brotou água, de outras veio um vapor sulfuroso e de outras, proveio apenas vento ...”

“Terreiro do Paço ... bem como o afundar do grande cais de pedra adjacente a esta praça ... a cada convulsão sucessiva nós nos afundássemos; ... mas por todo o lado rachas inumeráveis, de muitas das quais água e areia eram atiradas para fora”

Relatos históricos

Lisboa, 1755

"... do outro lado do rio ... imediatamente apareceram um número elevado de pequenas brechas em vários terrenos vizinhos de onde jorraram, como de uma cascata, grandes quantidades de areia branca e fina até alturas prodigiosas ..."

"... observei uma das melhores ruas afundar-se na terra e todas as pessoas nela ... "

