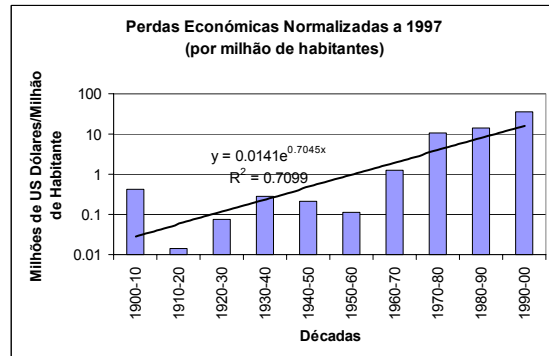
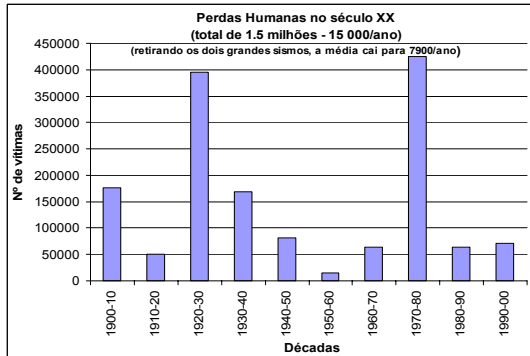


Os Sismos e as Construções

Carlos Sousa Oliveira*

Os sismos são fenómenos naturais de grande impacto sobre as comunidades, tendo nos últimos cem anos provocado para cima de milhão e meio de vítimas. Cinquenta por cento destas vítimas provieram de dois enormes sismos, um no Japão em 1923 e outro na China em 1976; as restantes ocorreram em sismos à média de três por ano, alguns com mais de 20.000 vítimas. Sómente entre Agosto e Dezembro de 1999 ocorreram 5 grandes eventos, dos quais resultaram mais de 30.000 vítimas, mais de meio milhão de desalojados e prejuízos superiores ao PIB de Portugal.

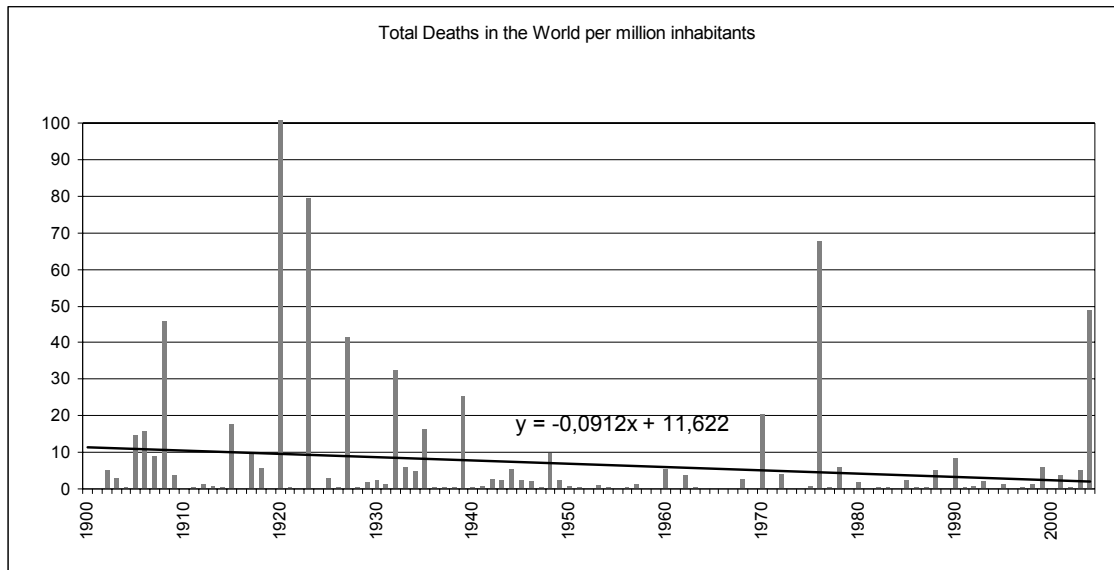


Os sismos que desde 1900 causaram mais de 10.000 vítimas encontram-se no Quadro abaixo, onde já se inclui o sismo de Sumatra a 26 de Dezembro de 2004, cujo tsunami causou para cima de 300.000 mortos.

Year	Region	Deaths	Magnitude	Year	Region	Deaths	Magnitude
1905	India	19000	8.6	1960	Agadir, Morocco	12000	5.9
1906	Chile	20000	8.6	1962	Iran	12000	7.3
1907	Central Asia	12000	8.1	1968	Iran	10000	7.3
1908	Italy	70000	7.5	1970	Yunnan, China	10000	7.5
1915	Italy	29980	7.5	1970	Peru	67000	7.7
1917	Indonesia	15000	-	1972	Nicaragua	10000	6.2
1918	China	10000	7.3	1976	Guatemala	23000	7.5
1920	China	220000	8.5	1976	Tangshan, China	242000	7.8
1923	Japon	142807	7.9	1978	Tabas, Iran	25000	7.4
1927	China	80000	8	1985	Mexico	10000	8.1
1932	China	70000	7.6	1988	USSR (Armenia)	25000	6.8
1933	China	10000	7.4	1990	Manjil, Iran	40000	7.7
1934	India	10700	8.4	1999	Izmit, Turquia	30000	7.4
1935	Pakistan	30000	7.5	2001	Gujará, India	20000	7.7
1939	Chile	28000	8.3	2003	Bam, Iran	26796	6.6
1939	Turkey	32700	8	2004	NW Sumatra	300000	8.9
1948	Ashkhabad	19800	7.3				

Na Figura seguinte apresentam-se as vítimas dos sismos desde 1900 por ano e por milhão de habitante, notando-se uma ligeira diminuição com a passagem dos anos, devida essencialmente ao enorme aumento da população mundial ao longo do século XX.

* Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura e Instituto da Engenharia de Estruturas, Território e Construção, Instituto Superior Técnico



(data from Coburn and Spence, 2002; Samardjieva and Badal, 2002 and USGS web site)

Mas não são só os edifícios que sofrem a acção forte dos sismos. Também as pontes e viadutos, as redes de água, electricidade, etc., o parque industrial, as estruturas de natureza geotécnica, os monumentos e outras estruturas especiais podem ser afectadas pelos sismos.

As principais causas destes números resultam: (i) do deficiente comportamento estrutural de edifícios, pontes, estruturas industriais, etc., (ii) de deslizamentos de terrenos e (iii) do impacto de tsunamis nas costas ou bacias do litoral. O melhor conhecimento de todos estes fenómenos não tem sido suficiente para compensar o aumento

Enquanto alguns edifícios de betão armado sofreram colapso total durante o sismo da Turquia de 17 de Agosto de 1999, outros mantiveram-se no seu lugar. Diferenças na qualidade da construção, no tipo de solo, no sistema construtivo, ou na variabilidade espacial da acção sísmica estarão na origem deste comportamento tão selectivo.



geral da vulnerabilidade do parque construído, devido a erros cometidos a diversos níveis: (i) na localização de centros urbanos em zonas de maior incidência sísmica, (ii) na definição das acções sísmicas, (iii) na escolha do tipo estrutural mais apropriado, (iv) na qualidade da prática construtiva e (v) na falta de campanhas para reforço das estruturas mais debilitadas.

Os sismos actuam sobre as fundações, fazendo-as acompanhar o movimento que aí se faz sentir, proveniente da propagação das ondas desde a sua origem na falha que rompeu até ao local da sua implantação. Para além da magnitude e distância à falha, o movimento na fundação depende de um conjunto de parâmetros, de entre os quais se salienta o tipo e características dos solos superficiais em que a fundação assenta. Em

geral, quanto mais brandos e espessos os solos, maior a ampliação do movimento nas frequências baixas.

O movimento na fundação actua sobre a super-estrutura (tudo o que se encontra acima da fundação) de acordo com as leis da mecânica dos meios deformáveis, e que, de uma forma simplificada, segue a 2ª lei de Newton aplicada a um sistema de um ou mais graus de liberdade. A resposta da estrutura é obtida por integração das equações diferenciais que regem o fenómeno, permitindo calcular os esforços máximos sobre cada um dos elementos resistentes e as deformações máximas. São estes os elementos fundamentais para verificar a segurança estrutural e determinar o nível de danos que a estrutura pode sofrer.

O grande problema dos sismos sobre as construções é que a energia que actua nas fundações se situa numa gama de frequências coincidente com as frequências de vibração das estruturas, o que conduz a fenómenos de ressonância, com consequências desastrosas.

Do ponto de vista prático para minimizar tal comportamento, deve proporcionar-se resistências nos locais que vão ser mais solicitados, evitar a concentração de tensões em pontos mais fracos e permitir a redistribuição de esforços por um maior número de elementos. Existe ainda um conjunto de pequenas regras a observar a nível da estrutura e ligações entre os seus elementos.

Uma outra filosofia de ataque a este problema, e que hoje começa a congregar alguns apoios, passa pelo estudo de sistemas que permitem o isolamento da estrutura relativamente à fundação e pela introdução de amortecedores que dissipem a energia transmitida.

A regulamentação existente para as novas construções define o patamar mínimo para um comportamento sem colapsos, associado a uma acção sísmica com “baixa probabilidade” de ocorrência.

Para uma minimização dos riscos sísmicos que reduza significativamente o impacto negativo dos sismos sobre a segurança das pessoas e sobre a economia em geral, torna-se indispensável proceder a políticas de prevenção que envolvem o reforço das construções mais vulneráveis à acção sísmica e à preparação para a eventualidade da ocorrência de um desastre. A política de reforço das construções é tarefa delicada, difícil e que demora várias décadas, mas cujos resultados irão certamente ser compensados a médio/longo prazo. Ela exige a aderência da população e a participação de inúmeros parceiros da Sociedade Civil e do Estado, e deverá ser lançada com a brevidade possível. A preparação para o desastre tem efeitos a curto prazo e deve ser levada a cabo no mínimo prazo de tempo pelas Autoridades Nacionais e Locais.

INTERNET

<http://www.meteo.pt> ----- Instituto de Meteorologia, Portugal
<http://www.geo.ign.es> ----- Instituto Geográfico Nacional, Espanha
<http://www.emsc-csem.org> ----- European-Mediterranean Seismological Centre
<http://www.spes-sismica.org> ----- Sociedade Portuguesa de Engenharia Sísmica
<http://www.seismo.ethz.ch/GSHAP/> ----- Cartas de “Hazard” para todo o Mundo
<http://www.civil.ist.utl.pt/icist/nucleos/index.html> ----- Programa para a “Redução da Vulnerabilidade Sísmica do Edificado”
<http://www.isesd.cv.ic.ac.uk/ESD/frameset.htm> ----- Internet-Site for European Strong-Motion Data
<http://www.snpc.pt/> ----- Serviço Nacional de Protecção Civil
<http://peer.berkeley.edu/> ----- Universidade Calif. Berkeley, USA
<http://earthquake.usgs.gov/neis/bulletin/bulletin.html> ----- US Geological Survey, USA
<http://www.fema.gov> ----- Federal Emergency Management Agency, USA
<http://www.neic.cr.usgs.gov/> ----- US Geological Survey, USA
<http://www.eeri.org> ----- Earthquake Research Institute, USA

Alguns Documentos Normativos

- RSA – Regulamento de Segurança e Acções nas Estruturas de Edifícios e Pontes, Decreto-Lei 235/83, que estabelece as normas de projecto que atendem, entre outros aspectos, ao problema sísmico em Portugal.
- Euro-Código 8 – Projecto de Regulamento Europeu dedicado especificamente aos problemas sísmicos ⇒ a versão sobre “A Acção Sísmica e o Comportamento de Edifícios” deve estar pronta em 2003.

Livros

Os livros em português sobre estas matérias são muito orientados para os investigadores e os profissionais ligados à construção, do projecto à fiscalização e control da obra, à monitorização, etc.

A síntese dos principais trabalhos desenvolvidos em Portugal pode ser encontrada nas Actas dos Encontros Nacionais sobre Sismologia e Engenharia Sísmica ou dos Simpósios de Meteorologia e Geofísica, organizados sob a chancela da SPES e da APMG, respectivamente. Outros textos de interesse:

- *Construção Anti-Sísmica – Edifícios de Pequeno Porte*, E. Cansado Carvalho & C. S. Oliveira, edição LNEC, ICT/DIT 13, 1983.
- *O Sismo de Northridge – Los Angeles, 17 de Janeiro de 1994, Ensinaamentos para Portugal*, C. S. Oliveira et al., edição conjunta IC/IST, IC/FEUP, 1995.
- *Programa para a “Redução da Vulnerabilidade Sísmica do Edificado”* – edição SPES/GECORPA, 2001.

Na literatura internacional há inúmeros textos publicados, sobretudo orientados para o mesmo tipo de investigadores ou profissionais acima descritos. Contudo, começam a aparecer alguns títulos para nível intermédio, e que se recomendam vivamente:

- *Earthquakes* – Bruce A. Bolt, 4th ed. W. H. Freeman and Co., New York, 1999.
- *Earthquake Protection* – Andrew Coburn & Robin Spence, 2nd ed. John Wiley & Sons, LTD., Chichester, 2002.
- *Dynamics of Structures, Theory and Applications to Earthquake Engineering* – Anil K. Chopra, 2nd ed. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, 2001.

Livros publicados por altura da evocação dos 250 Anos da Ocorrência do Terramoto de 1755:

- *Terramotos e Tsunamis* – Maria Ana Baptista, João Cabral, Paula Teves Costa, Luis Matias, Miguel Miranda e Pedro Terrinha, Livro Aberto.
- *1755*, 4 Vols, Edição FLAD/Jornal Público
- *Proceedings, International Conference on the 250 years after the 1755 Lisbon Earthquake.*

Sociedades Portuguesas

Apresentam-se algumas das sociedades portuguesas com mais expressão nas matérias dos sismos:

- SPES – Sociedade Portuguesa de Engenharia Sísmica – Sede no LNEC, Av. Brasil, Lisboa. (<http://www.spes-sismica.org>)
- APMG – Associação Portuguesa de Meteorologia e Geofísica – Sede no IM, Rua C Aeroporto de Lisboa.
- SPG – Sociedade Portuguesa de Geotecnia – Sede no LNEC, Av. Brasil, Lisboa.
- GPEE – Grupo Português de Engenharia de Estruturas – Sede no LNEC, Av. Brasil, Lisboa.

ACÇÃO DOS SISMOS SOBRE AS CONSTRUÇÕES, A COMUNIDADE, ETC.

- Deformações permanentes no plano de falha ou em grupos de falhas – proibição de implantação numa zona de segurança em torno do traço da falha.
- Movimento do solo a impor nas fundações das estruturas que se traduz em forças de inércia na superestrutura – Regulamentos, RSA, EC-8.
- Fenómenos de liquefacção de areias causando afundamento das construções, compactação dos solos, movimentos laterais, cones de areia, etc. – Regulamentos, EC-8, ordenamento do território, processos correctivos locais.
- Deslizamentos de terrenos, desmoronamentos – Regulamentos, EC-8, ordenamento do território, processos correctivos locais.
- Tsunami ou maremoto que originam ondas “gigantes” que quebram nas arribas, entram pelas costas baixas transportando grandes massas de água que funcionam como autênticas enxurradas, e provocam marés rápidas em estuários – definição de zonas que possam ser afectadas.

O IMPACTO QUE PODEM CAUSAR

- Efeitos sobre a população: mortos; feridos graves e ligeiros; desalojados.
- Efeitos directos sobre o parque habitacional, industrial, infra-estruturas e redes de abastecimento.
- Efeitos indirectos dos sismos: Rotura de barragens que podem provocar cheias a jusante; incêndios urbanos e industriais como ocorreu em Lisboa em 1755 e na Turquia em 1999; interrupção de actividades económicas (indústria, comércio, turismo).
-

REDUÇÃO DOS EFEITOS DOS SISMOS

- Cumprimento da legislação existente, especificamente a Regulamentação Sísmica: RSA, REBAP, etc., com vista a garantir a qualidade do projecto das obras novas.
- Cumprimento dos procedimentos vigentes na legislação, de modo a garantir a qualidade da obra final – verificação do projecto, e fiscalização da obra.
- Cumprimento da legislação aquando de obras de manutenção ou alteração da estrutura.
- Estabelecimento de Planos de Urbanização com condicionantes devidas a sismos.
- Reforço das construções existentes – utilização de obras de beneficiação, promoção incentivos, política de seguros, etc., para reforçar as construções mais vulneráveis.
- Acções de Protecção Civil – preparação para o Desastre, definindo Planos de Emergência que incluem o socorro, a evacuação e realojamento das populações, etc. Acções de aconselhamento da população com vista ao comportamento das pessoas, antes, durante e após um sismo.

CARACTERIZAÇÃO DO SISMO

Informação contida nos catálogos sísmicos:

- Tempo - Data, hora, minuto, segundo, ..., da ocorrência.
- Espaço - Localização epicentral, do foco.
- Tamanho – Magnitude (Richter) – valor obtido a partir de registos instrumentais, e mede a energia libertada na fonte (origem).
 - Intensidade (Mercalli Modificada, MSK, EMS-2000, etc.) – escala de efeitos sobre as pessoas, construções e a natureza. Para cada localidade é possível atribuir uma *intensidade* que, com o conjunto das intensidades nas outras localidades permite o traçado de cartas com curvas de igual *intensidade* (cartas de isossistas). I_0 é a intensidade na zona epicentral.
- Outros parâmetros relevantes:
 - Outras medidas da energia libertada pelo sismo; geometria da falha e cinemática da rotura da falha; forma e extensão da rotura, etc..
 - Grau de precisão nas determinações efectuadas.

Informação mais detalhada:

Fonte sísmica – maior pormenorização da cinemática do contacto dos dois bordos (lados) da falha, com a definição das diferentes zonas de rotura ao longo do plano de falha e sua evolução temporal, bem como a quantidade de deslocamento em cada zona. Toda esta avaliação do processo de rotura deverá ser feita a partir de diversos informações complementares como seja da chegada de ondas sísmicas a várias estações, da movimento em torno da falha visto de satélite e da inspecção da geologia local.

Propagação das ondas – as ondas que chegam a determinado local, independentemente da situação particular deste local (que é analisada no ponto seguinte) dependem de inúmeros parâmetros difíceis de quantificar, como seja o tipo de fonte sísmica, rotura, etc. e das características do meio elástico atravessado desde a zona de rotura até ao local (geometria, propriedades mecânicas, etc.). Para tornar o problema exequível e uma vez que não existem dados suficientemente conhecidos, a propagação de ondas tem sido tratada de forma simplificada com a intervenção de apenas duas variáveis principais, a magnitude e a distância epicentral. A função que permite calcular o movimento do terreno, ou algumas características deste movimento intenso, dadas aquelas duas variáveis chama-se *atenuação*, e tem sido desenvolvida para diversos locais da Terra onde possa ter havido registos instrumentais de movimentos intensos, usando métodos empíricos recorrendo ao princípio dos mínimos quadrados que permitem o acerto de valores registados a leis de modelos matemáticos muito simples.

Efeitos locais devidos ao solo e/ou topografia – os solos e a topografia do local em estudo podem alterar significativamente a amplitude e a composição espectral do movimento à superfície, função da geometria, características das diversas camadas de solos, angulo de incidência, nível freático, e nível da acção incidente. O estado da ciência actual separa normalmente os dois efeitos, conhecendo-se o primeiro de forma muito mais pormenorizada que o segundo. Observações feitas durante a ocorrência de sismos, bem como ensaios *in-situ* e em laboratório confirmam esta tese que está consagrada de forma bem explicita em regulamentos actuais (exemplo, EC-8).

CATÁLOGOS EM PORTUGAL

O Instituto de Meteorologia (IM) é a instituição portuguesa que gere a rede sismográfica do país (Continente e Açores em colaboração com o SIVISA), produzindo informação mensal e anual sobre todos os fenómenos sísmicos ocorridos no Continente e região vizinha e Açores e região vizinha. Para consulta da carta dos sismos registados na semana anterior ao dia da consulta, no Continente, ver www.meteo.pt ; para informação mais detalhada consultar o Instituto Geográfico Nacional de Espanha, www.geo.ign.es ou uma organização em Estrasburgo que junta toda a informação sísmica europeia www.emsc-csem.org/ . O Boletim Sísmico Mensal ou o Anuário Sismológico de Portugal, publicações do IM contem muita informação dos sismos ocorridos, não só reportando os parâmetros mais importantes como também os tempos de chegada das várias ondas às diferentes estações sísmicas da rede.

Existem outras publicações que fornecem por períodos mais alargados as ocorrências sísmicas, constituindo Catálogos Sísmicos com toda a informação existente sobre os principais parâmetros. O Catálogo de (Sousa et al, 1992) contém todos os eventos de que há memória histórica desde o princípio da Era Cristã até 1991, com $M > 3$, um conjunto de cerca de 14 000 sismos.

Para os Açores o Catálogo de (Sousa et al, 2000) contém todos os eventos de que há memória histórica desde 1500 até 1998, com $M > 3$, um conjunto de cerca de 15 000 sismos.

PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA

A probabilidade de ocorrência dos sismos numa dada zona pode ser obtida a partir de estudos realizados sobre as ocorrências do passado, convenientemente ponderadas através de uma análise da qualidade dos dados e da observação de outros sinais de sísmicos como a identificação de falhas potencialmente activas e avaliação das respectivas taxas de actividade.

Para os Açores é possível referenciar para todo o território uma actividade de magnitude 5.5-6.5 cerca de cada 5 anos e 6.5-7.5 cerca de cada 20 anos. Para o território do Continente, na zona a SW do cabo de São Vicente (Banco de Gorringe) onde os grandes sismos tem tido o seu epicentro, as magnitudes 6.5-7.5 são de esperar com uma periodicidade de cerca 140 anos e as de 7.5-8.5 cada 900 anos. Já para o Vale Inferior do Tejo os números apontam para magnitudes 5.5-6.5 cada 100-200 anos. Estes valores parecem indicar taxas de recorrência relativamente baixas; contudo, se se pensar em horizontes temporais de 50 anos, neste período de tempo, a probabilidade de ocorrência de um sismo de magnitude 7 no Banco de Gorringe é de 30% e uma magnitude 6 no Vale do Tejo é de 20-25%, o que se pode considerar de algum valor probabilístico. (Rios et al, 2000).

CARTAS DE PERIGOSIDADE (CASUALIDADE) SÍSMICA PARA O PAÍS

A acção sísmica está expressa através de cartas onde se assinalam as zonas de maior incidência sísmica. Numa primeira carta mostram-se as intensidades máximas históricas (Mercalli Modificada) observadas por todo o Continente, indicando as regiões do sul o junto a Lisboa com intensidades X, provenientes do terramoto de 1755. Caminhando para norte as intensidades vão progressivamente diminuindo com a excepção do Vale Inferior do Tejo que apresenta valores mais elevados devido à maior exposição sísmica de que são exemplos os sismos de 1531 e de 1909 em Benavente. Uma segunda carta, estabelecida após estudos de casualidade sísmica, em que se entra com a histórica sísmica de diversas áreas e com a atenuação das ondas dessas áreas até aos diferentes

locais do País, constitui a base da Regulamentação vigente (RSA,1985). Também nesta carta se observam quatro regiões com sismicidade decrescendo de sul para norte, e em que a relação de valores de aceleração entre eles é de 1→0.7→0.5→0.3. As zonas tem um traçado mais regular estando estabelecidas por concelhos. Os valores de referência tem por base uma probabilidade de excedência de 10% num horizonte temporal de 50 anos.

O COMPORTAMENTO SÍSMICO DAS CONSTRUÇÕES

O comportamento sísmico das construções depende de um enorme conjunto de parâmetros dos quais, pela sua importância, sobressaem os seguintes:

- *Valor da acção sísmica* actuante na fundação – definida pela carta de casualidade e pelo tipo de solo na zona de implantação.
- *Tipologia construtiva* – definida essencialmente pela época da construção, pelo tipo de material empregue, e pela altura (nº de andares).
- *Qualidade da construção* – definida pela boa prática construtiva, pela existência de regulamentação adequada, pela manutenção e reforço da estrutura inicial.
- *Conjunto de pormenores construtivos* – alguns aspectos dos pormenores construtivos, como por exemplo deficientes ligações entre paredes, ou deficientes ancoragens de armaduras (de vigas para vigas ou pilares, de pilares para fundações, etc.), podem ser suficientes para causar colapsos generalizados de edifícios.

O comportamento sísmico pode ser agravado pela existência de zonas de maior enfraquecimento como em andares onde paredes foram retiradas, pilares a apoiarem a meio de vigas sem continuidade para baixo, edifícios muito irregulares em planta que permitem a torção mais fácil do edifício, etc.

Prespassa por todo o comportamento das estruturas o facto de o “conteúdo da energia” das ondas incidentes se distribuir por frequências de vibração que se podem encontrar nas proximidades das frequências das próprias estruturas. Quando tal coincidência se estabelece está-se em face de fenómenos de ressonância que provocam grandes amplitudes do movimento na estrutura, com o conseqüente desenvolvimento de grandes esforços nos elementos resistentes. Por esta razão se torna indispensável conhecer bem as frequências de vibração quer das estruturas quer da acção sísmica incidente.

Para compreender o fenómeno de vibração das estruturas a representação mais simples do edifício é através do sistema de um grau de liberdade (1 gdl) que se obtém colocando uma massa (m) no topo de uma consola (pilar ou grupo de pilares) que funciona como uma mola de constante (k) A frequência desta estrutura de 1 gdl é dada por

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (\text{Hz})$$

Aquando da actuação de acelerações provocadas pela passagem das ondas na base da estrutura surgem forças de inércia na massa actuando em sentido contrário ao da aceleração. Estas forças, que para os edifícios são mais importantes em geral as que surgem devido à componente horizontal do movimento, provocam esforços no interior do pilar e ao nível da fundação que tem de ser bem suportados pelo material que os compõe.

Para uma estrutura representada não por uma única massa mas por um conjunto de massas, uma por andar no caso de um edifício, ligadas entre si por outro conjunto de pilares, vigas, etc. formando molas, o sistema passa a ser de vários graus de liberdade, apresentando então N frequências sendo N o número de gdl. O cálculo das frequências é feito à custa da determinação de valores e vectores próprios associados às matrizes M e K que representam o sistema de N gdl. Neste caso, muito mais próximo da realidade de um edifício, a actuação da aceleração na base cria forças de inércia em cada uma das massas de acordo com relações mais complexas que envolvem aquelas matrizes, os valores e vectores próprios e a aceleração na base. Essas forças horizontais provocam, semelhantemente ao caso de 1 gdl, esforços nas peças resistentes.

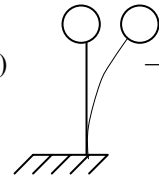
Os Regulamentos actuais consideram forças horizontais da ordem dos 20 a 30% dos pesos instalados em cada andar, para regiões de moderada a alta sismicidade. O RSA aplica valores um pouco abaixo dessa gama na região sul do País.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- RSA (1985) “Regulamento de Segurança em Estruturas de Edifícios e Pontes”, Dec-Lei 235-83, Imprensa da Casa da Moeda.
- Sousa, M. L.; Martins, A.; Oliveira, C. S. (1992) “Compilação de Catálogos Sísmicos da Região Ibérica”, Relatório 36/92 – NDA, LNEC.
- Sousa, M. L.; Martins, A. (2000) “Compilação de um Catálogo Sísmico para a Região dos Açores”, Relatório 260/18/13343 – C3ES, LNEC.
- 1999 IFRC World Disaster Report. (<http://www.cred.be>)

ANEXO: Frequências e modos de vibração

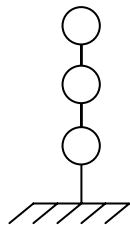
- 1) Frequência de sistema de **1- grau de liberdade** (1 gdl)



$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}} \text{ (Hz)}$$

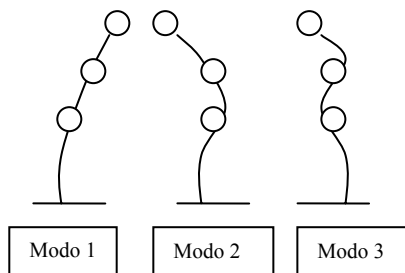
M - Massa; K - Rigidez

- 2) Frequências de sistema de **n - graus de liberdade** (n gdl)

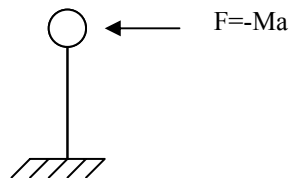
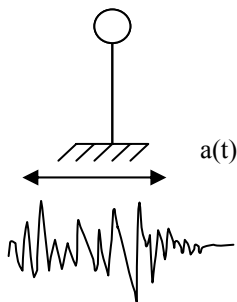


$f_1 \rightarrow$ modo 1
 $f_2 \rightarrow$ modo 2
 \vdots
 \underline{K} e \underline{M}
 $f_n \rightarrow$ modo n

“valores e vectores próprios” associados às matrizes

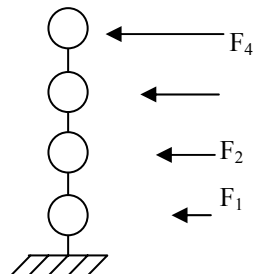
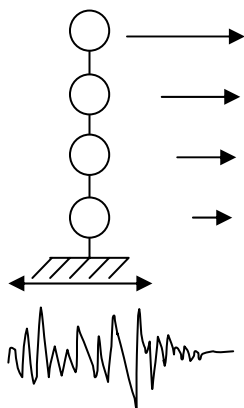


- 3) Conceito de força aplicada: (1 gdl)



$a_{\text{máx}} \approx 15$ a 25% g
 $a_{\text{máx}} =$ função da frequência, f

- 4) Conceito de força aplicada: (n gdl)



as forças F_i aplicadas são função dos modos de vibração e respectivas frequências, f_1, f_2, \dots

RISCOS E A SOCIEDADE MODERNA

- Naturais
 - ⇒ Sismos
 - ⇒ Ventos ciclónicos (tufão ou furacão)
 - ⇒ Chuvas intensa
 - ⇒ Trombas de água
 - ⇒ Secas
 - ⇒ Alta/baixa temperatura
 - ⇒ Deslizamentos –
 - ⇒ Escoamento sólidos “Mud-flow”; “Flash debries”
 - ⇒ Envelhecimento do parque – materiais degradados; usos diferentes dos inicialmente concebidos
 - ⇒ Ondulação no mar
 - ⇒ Tsunamis
 - ⇒ Cheias
 - ⇒ Ondas solitárias
 - ⇒ Impacto meteoritos
 - ⇒ Queda de raios (relâmpagos)
 - ⇒ Fogos florestais
 - ⇒ Avalanches

- Tecnológicos
 - ⇒ Poluição – urbana; distribuída e concentrada
 - ⇒ Maré Negra
 - ⇒ Riscos industriais – libertação de gases; contaminação de águas; contaminação da atmosfera
 - ⇒ Desastres envolvendo grande número de viaturas – acidentes em cadeia nas auto-estradas
 - ⇒ Choques de grandes dimensões: navios; combóios; aviões
 - ⇒ Centrais nucleares
 - ⇒ Depósitos de material perigoso
 - ⇒ Rotura de barragens e outras obras de grande vulto – pontes, metro

- Da sociedade em geral
 - ⇒ Guerras
 - ⇒ Epidemias – sida, cancro; doença das “vacas loucas” ou da “gripe das aves”
 - ⇒ Aglomeração de pessoas – estádios; espectáculos; centros comerciais; comícios
 - ⇒ Actos de terrorismo – Antrax; varíola; 11 de Setembro 2001; 11 de Março 2003
 - ⇒ Depressão política/económica – roturas sociais; desemprego; pobreza; lutas étnicas e raciais

Interessa para qualquer destes casos determinar a probabilidade de ocorrência do fenómeno com base no historial existente e noutras relações ou modelos físicos, medida através de um dado parâmetro ou parâmetros que possam traduzir o efeito daquele evento sobre os objectos em análise. Para o caso do sismo este parâmetro pode ser a Intensidade (Mercalli Modificada) ou a aceleração máxima do solo. Para a cheia será a

altura das águas em determinada secção de um rio ou o caudal máximo gerado. Para um furacão será a sua Intensidade (**Saffir-Simpson Hurricane Scale 1 a 5**). Para um temporal oceânico será a altura da onda. Para uma seca será o número de dias sem precipitação, etc.

Em função do objecto em análise (edifícios, pontes, área inundada, área florestal, etc.), deverá avaliar-se a sua vulnerabilidade para suster o efeito do evento em estudo, passando-se posteriormente a uma análise do risco envolvido, pela “convolução” da probabilidade da acção com a vulnerabilidade do objecto. O resultado final será o número de edifícios com danos severos, a área agrícola destruída ou a área ardida.

A REGULAMENTAÇÃO SÍSMICA

Regulamentação Nacional

- Normas – RSEP (1973), RSA(1983).
- Recomendações.
 - Reconstrução nos Açores pós-de 1980
 - Reconstrução nos Açores pós-de 1998
 - Reconstrução do parque monumental

- Regulamentação comunitária:

- Foi aprovada pelo Comité Técnico do CEN-TC250, em Julho passado, a versão final do Euro-Código 8 (EC-8) “Projecto de Estruturas Sismo-Resistentes”, Parte 1 (Regras Gerais, Acções Sísmicas e Regras para Edifícios) e Parte 5 (Disposições específicas para Fundações, Muros de Suporte e Aspectos Geotécnicos).
- Utilização dos Euro-Códigos em Portugal. Espera-se a publicação a curto prazo de um Decreto-Lei que permitirá que os projectos de estruturas possam ser elaborados de acordo com os Euro-Códigos nas versões ENV (Normas Europeias Provisórias) publicadas pelo IPQ. Entre estas normas incluem-se as partes do EC-8 relativas a Edifícios (NP ENV 1998-1-1; NP ENV 1998-1-2; NP ENV 1998-1-3) e relativas a Fundações e Aspectos Geotécnicos (NP ENV 1998-5).
- Cumprimento da legislação existente, especificamente a Regulamentação Sísmica: RSA, REBAP, etc., com vista a garantir a qualidade do projecto das obras novas.

POLÍTICAS DE INTERVENÇÃO

- Protecção Civil
- Prevenção através do Reforço
- Reconstrução após sismo
- Nova Construção – Regulamentos; Planeamento Urbano; Qualidade
- Educação e Cultura dos Riscos
- O Programa de Redução da Vulnerabilidade do Edificado, SPES/GECORPA

PROBLEMA DOS SISMOS – Incertezas nas quantificações

- Quantificação das Acções
- Quantificação das Resistências

Que podemos calcular para avaliar os riscos e vulnerabilidades

A avaliação das vulnerabilidades dos parques construídos envolve o conhecimento dos sismos ocorridos e que podem voltar a ocorrer e as tipologias existentes

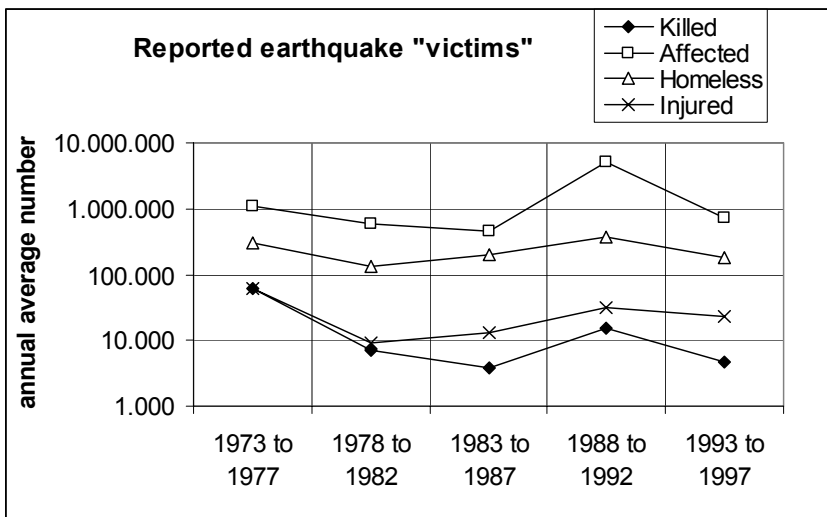
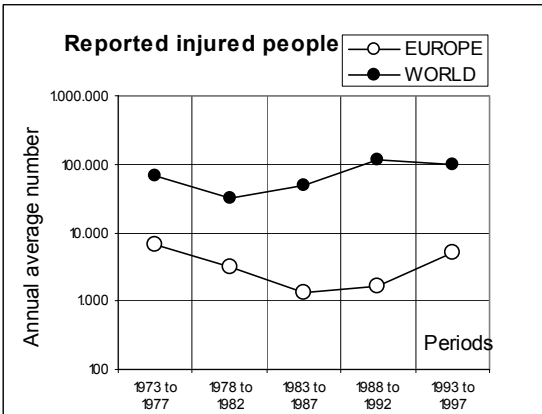
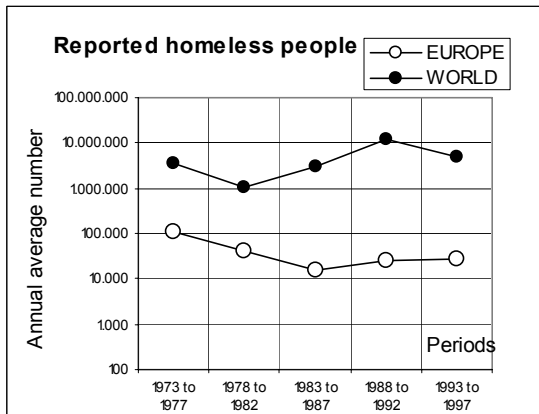
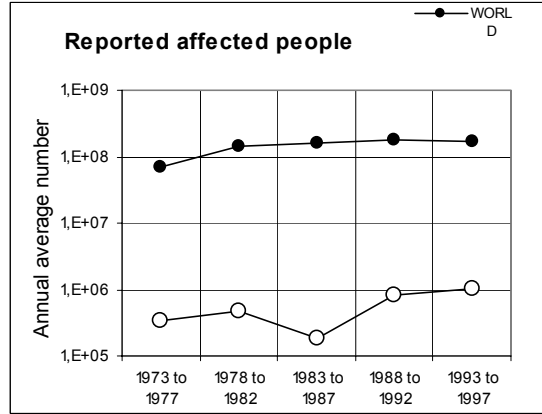
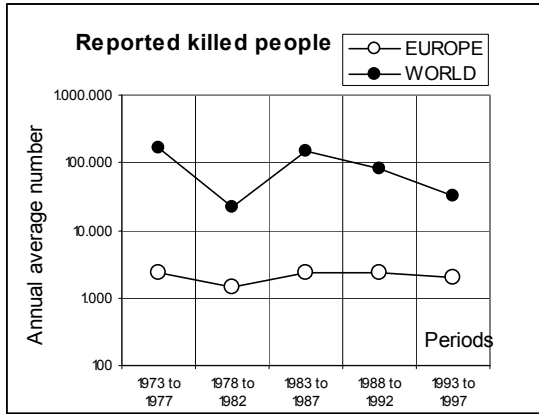
⇒ Sismos em Portugal

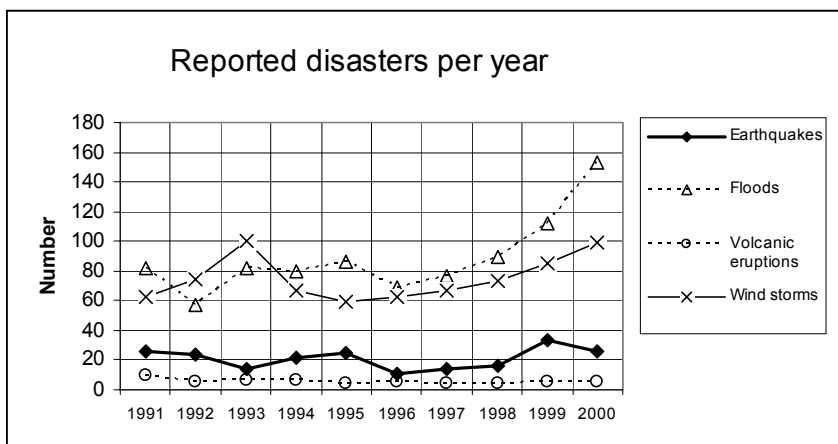
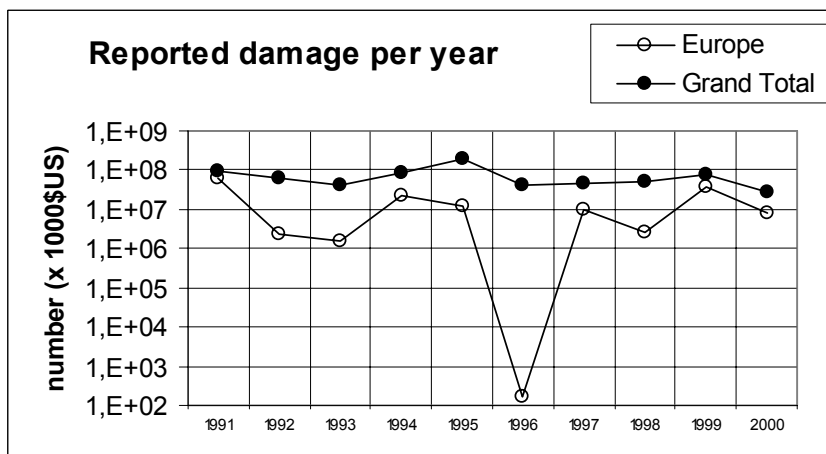
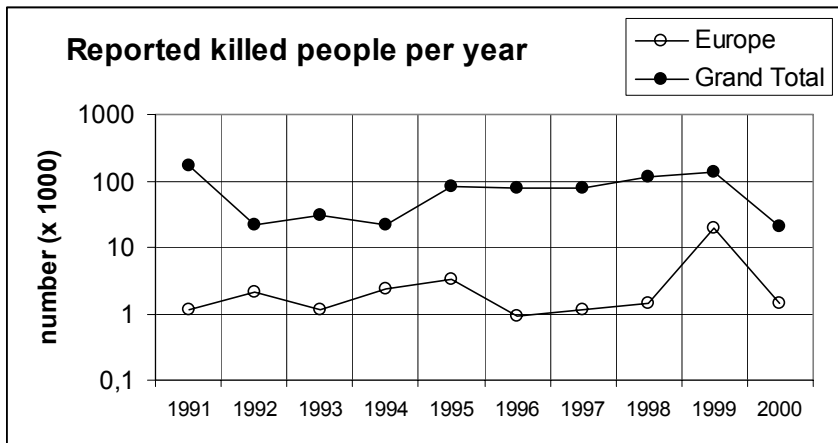
⇒ Construção em Portugal

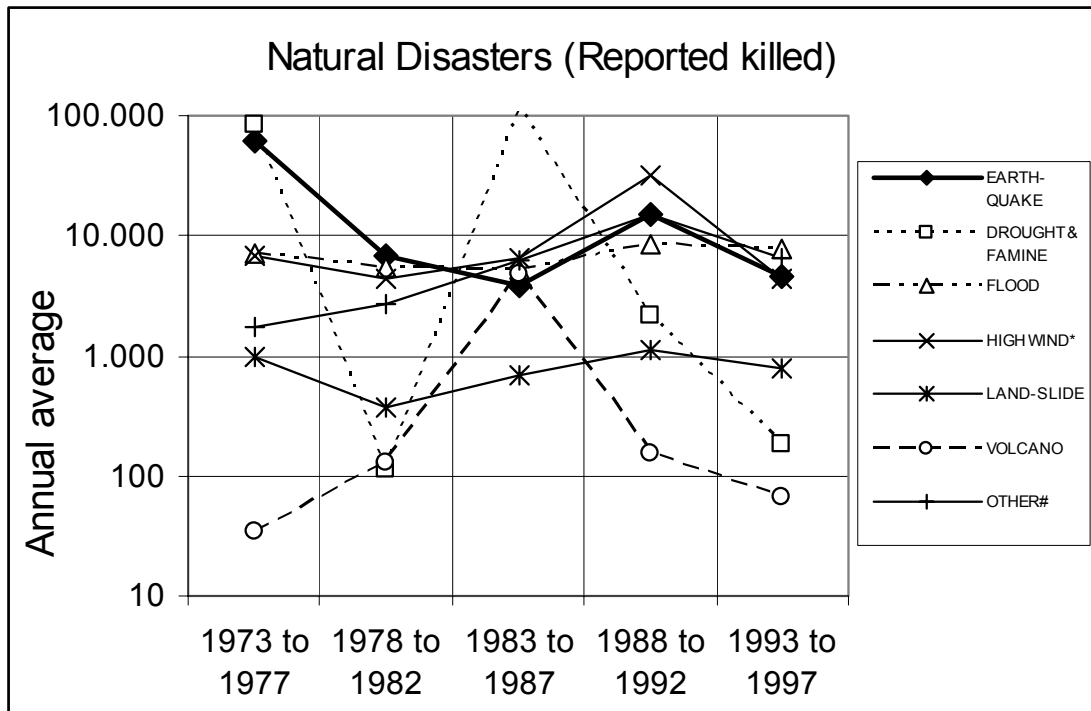
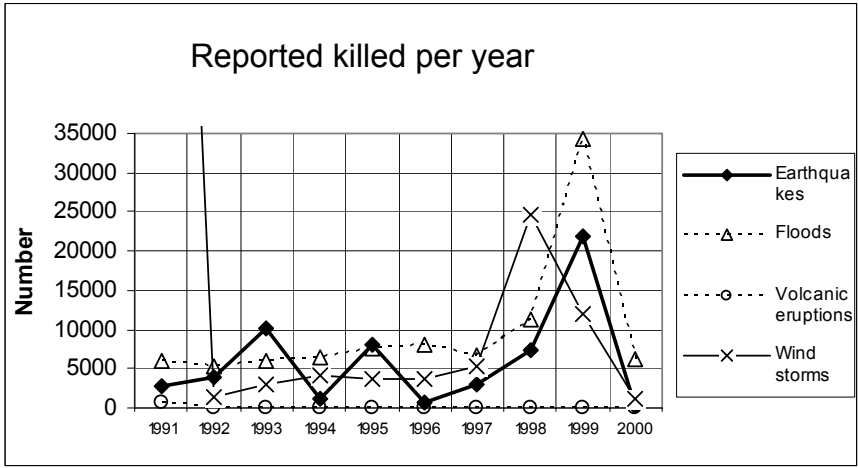
ALGUMAS ESTATISTICAS

Apresentam-se seguidamente alguns gráficos com informação dos danos infligidos pelos mais diversos tipos de desastres naturais e tecnológicos organizados por todo o Mundo e pela Europa. Número de mortos, feridos, desalojados, danos económicos, número de eventos, número de vítimas por evento, etc. estão apresentados para períodos referentes aos últimos anos.

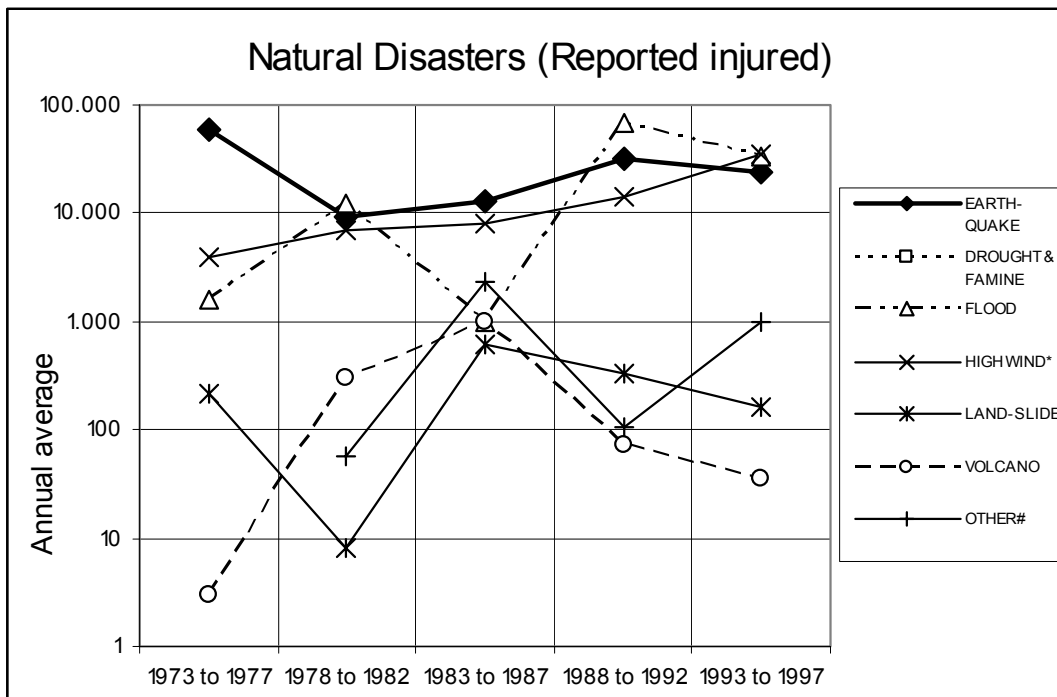
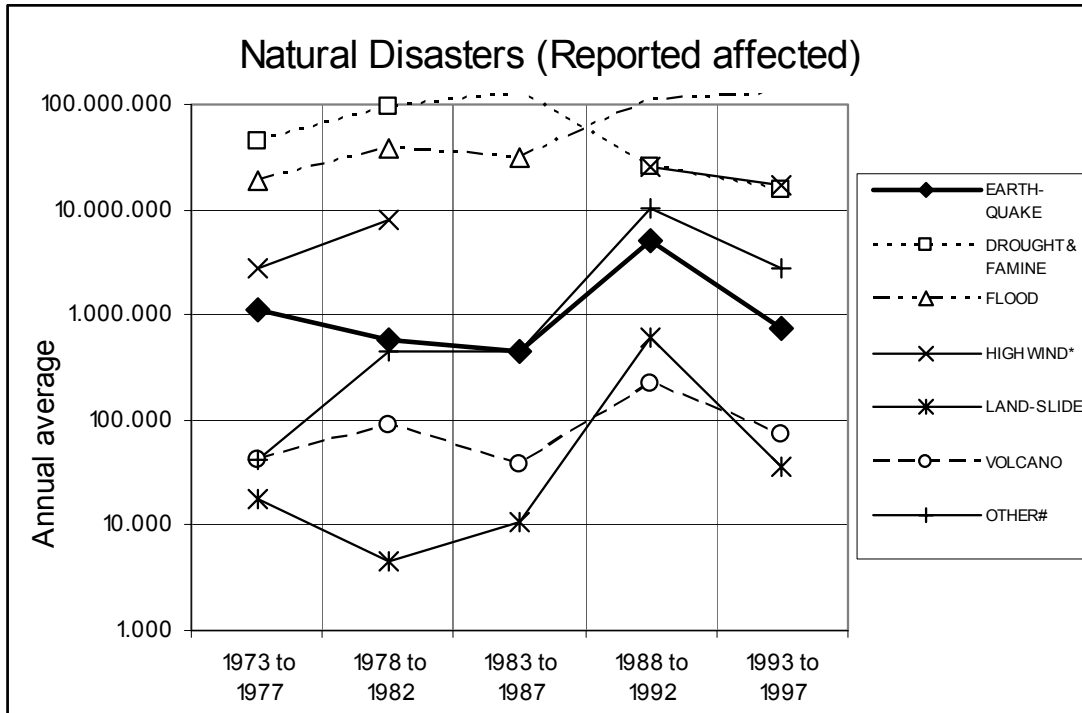
Apresentam-se também os níveis dos diferentes riscos e probabilidades associadas e a distribuição geográfica dos danos ocorridos durante o século XX.



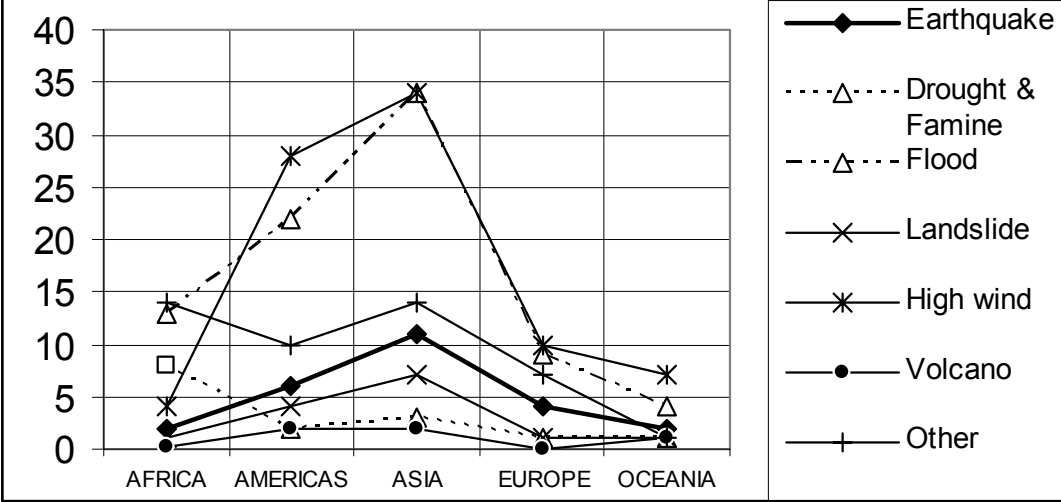




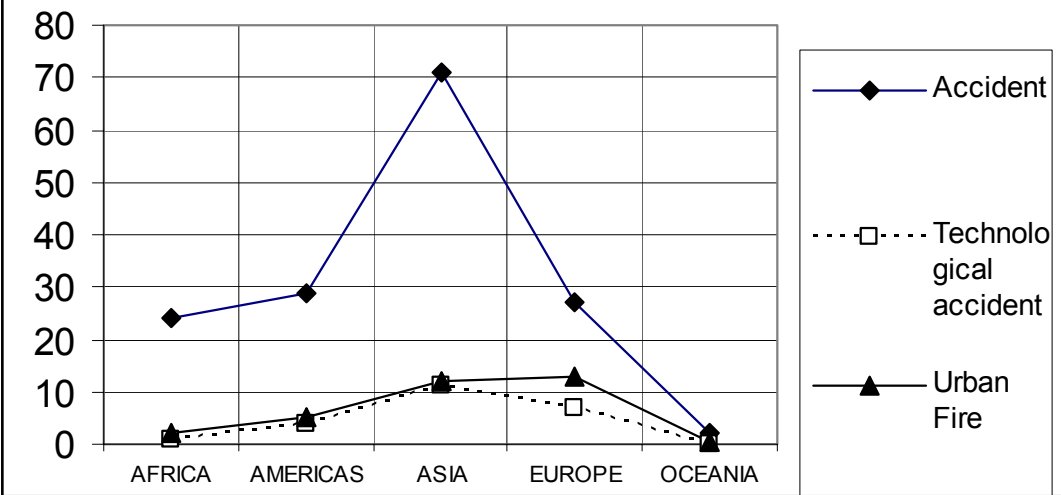
"Other" consists of avalanches, tsunamis, hot and cold waves, insect infestations & epidemics, and forest fires

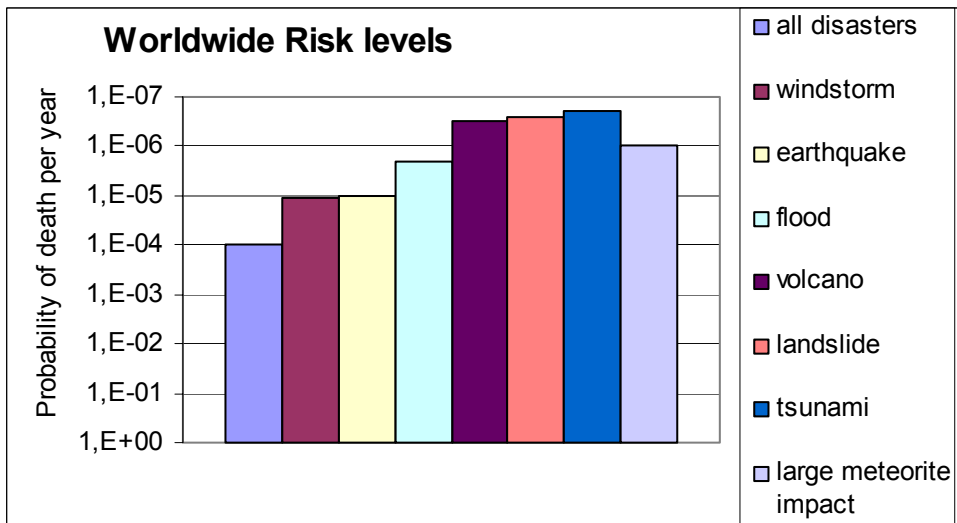
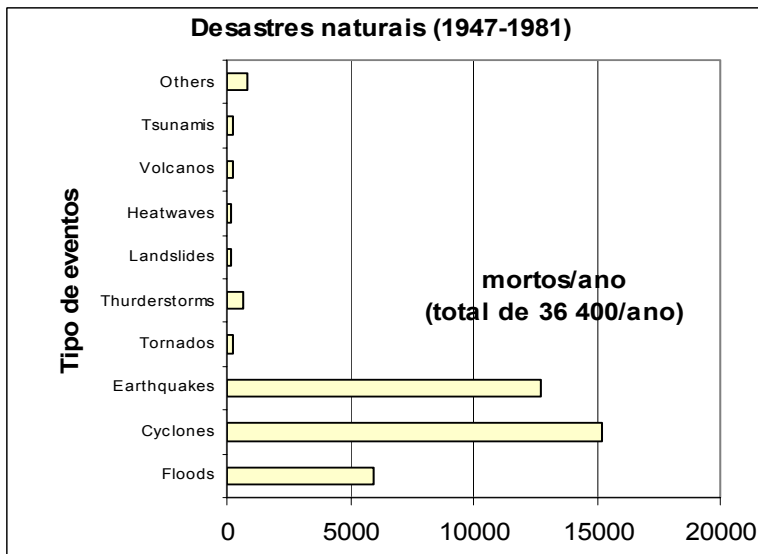
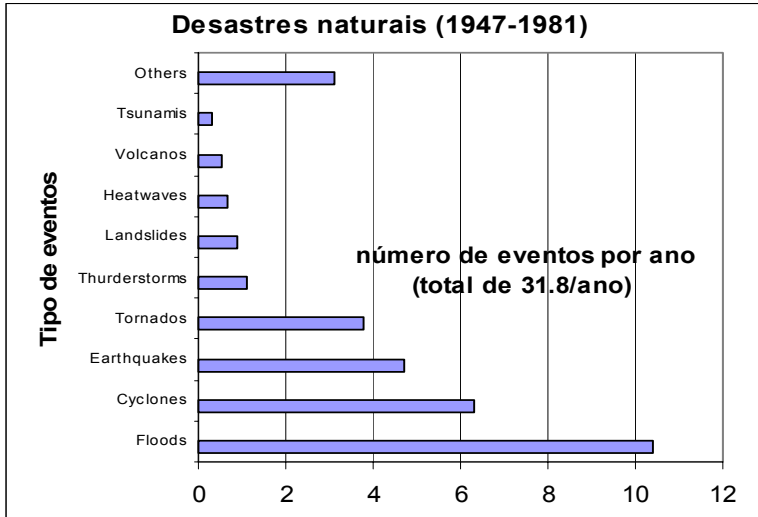


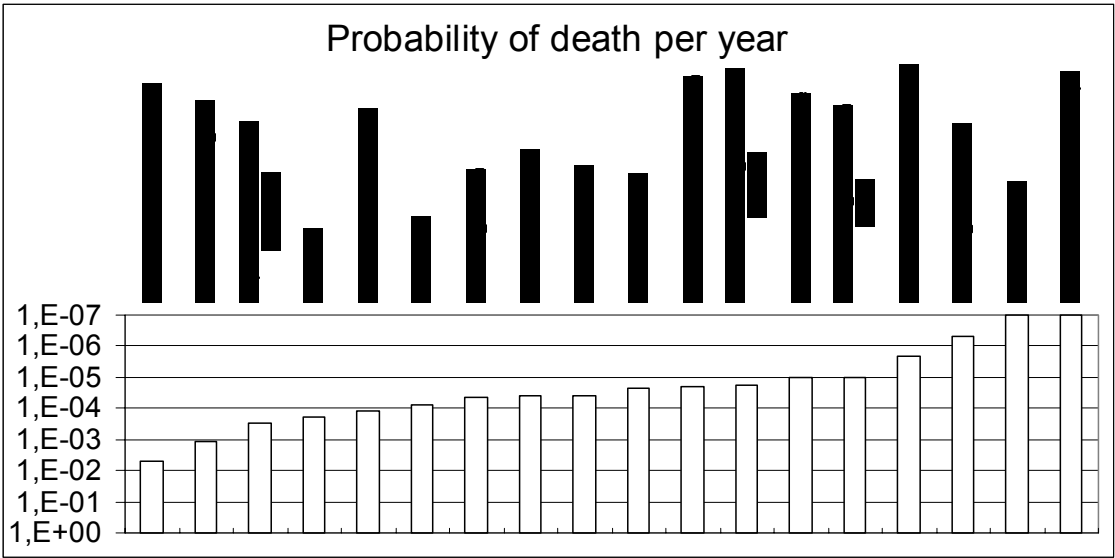
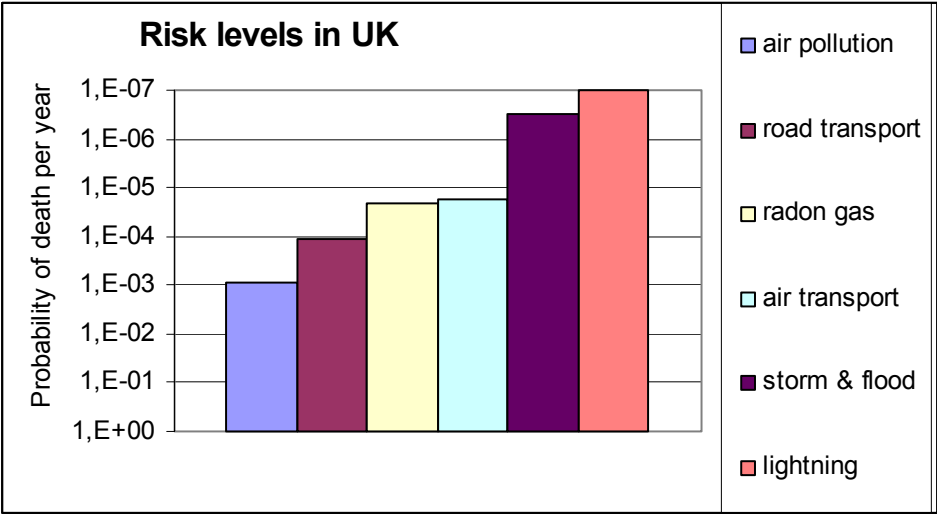
Annual Average Number of Disasters (1988-1997)

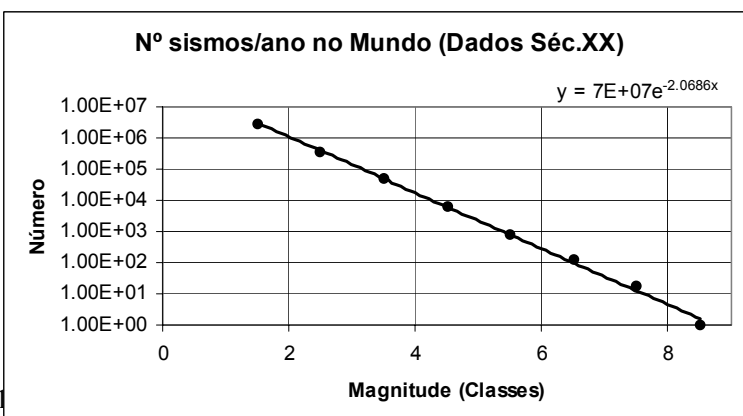
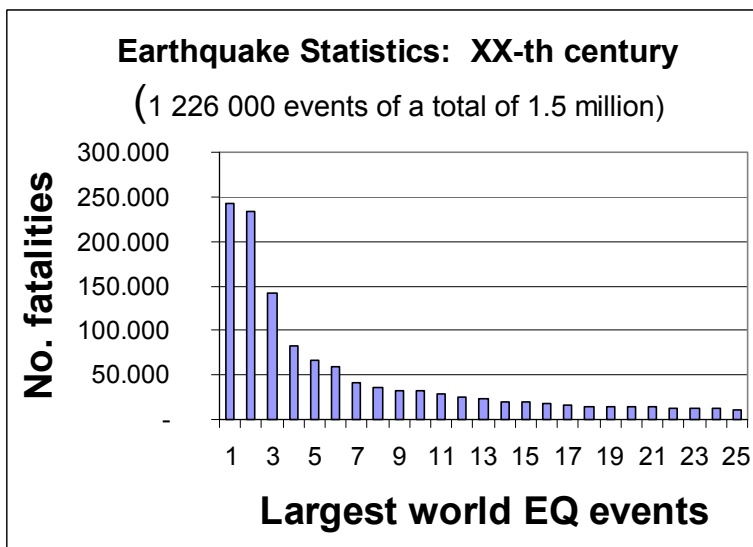
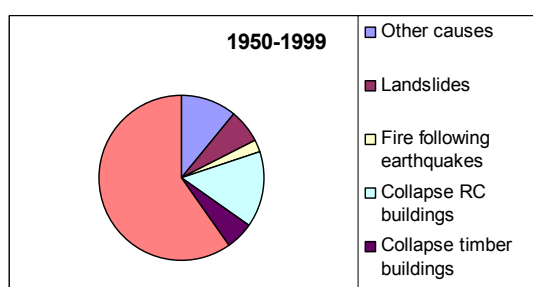
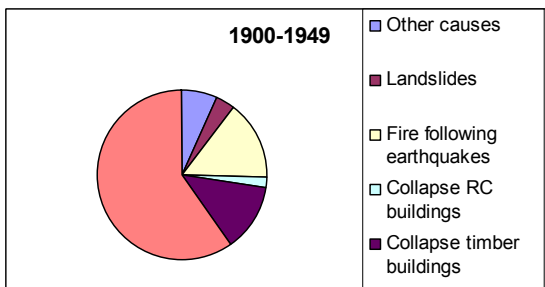
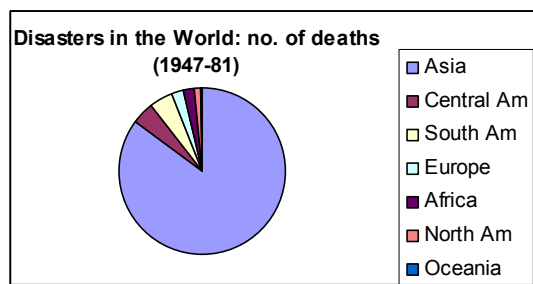
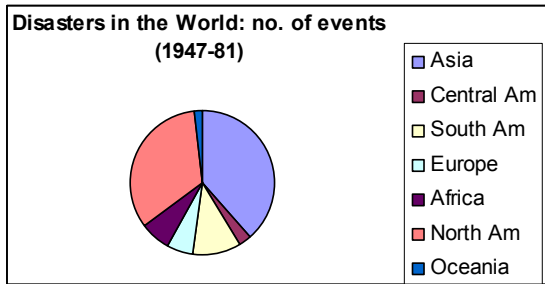


Annual Average of Non-Natural Accidents (1988-1997)









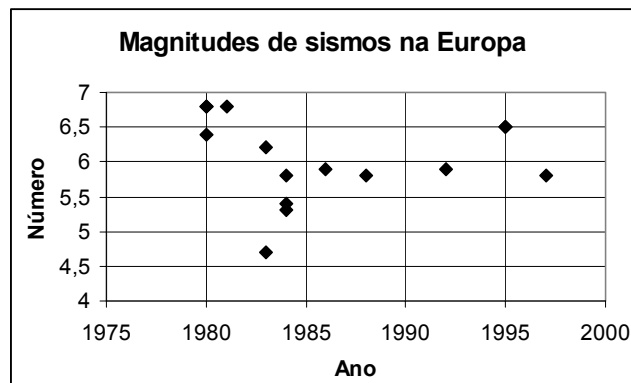
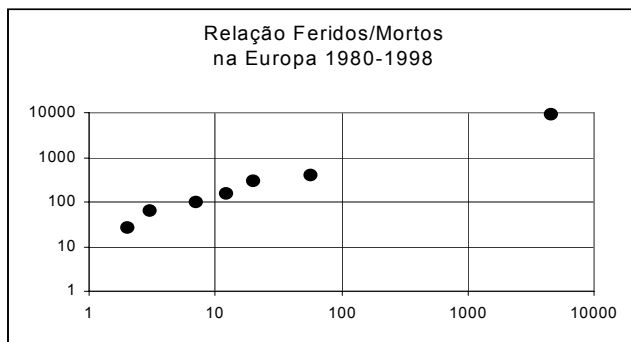
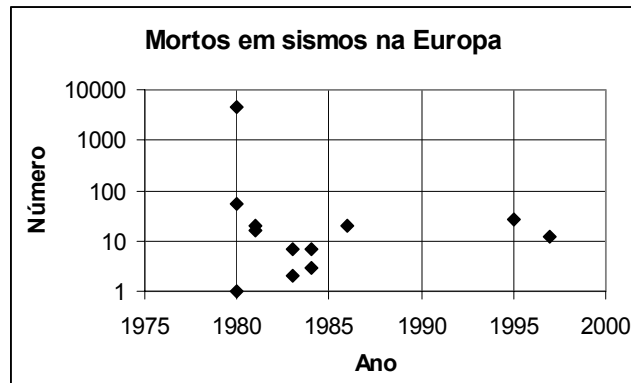
Por ano ocorrem em média 1 a 2 sismos de magnitude superior a 8 em toda a Terra (grandes sismos), 18 de magnitude entre 7 e 8, 120 de magnitude entre 6 e 7 e 800 entre 5 e 6. A lei de ocorrência a nível mundial conduz a um valor da constant $b=0.898$, correspondente à lei de Gutenberg e Richter

$$\log N = a + bM$$

em que N é o número de sismos com magnitude superior a M .

Natural hazard Insurance 2001 (Munich Re)

- at least 25,000 people lost their lives in natural catastrophes (year 2000: 10,000)
 - around 700 natural catastrophes was above the long-term average (650) (year 2000: 850)
 - economic losses at about US\$ 36bn (year 2000: US\$ 30bn)
- increase in insured losses to US\$ 11.5bn (year 2000: US\$ 7.5bn). *This is around 50% of the extraordinarily high level of 1999, whereas the economic losses totalled only around a third of the US\$ 100bn recorded in 1999.*



ACONTECIMENTOS RECENTES DE GRANDE IMPORTÂNCIA

O sismo de Sumatra a 26 de Dezembro de 2004, de magnitude $M_w=9.3$, causou um dos maiores tsunamis de que há memória, sómente comparável ao de 1755, provocando a morte a cerca de 275 000 pessoas numa região que se estendeu a toda a orla do Pacífico. Foi o acontecimento de origem natural que causou maior número de vítimas a cidadãos da Comunidade Europeia fora do seu espaço nos últimos 50 anos.

O furacão Katrina, de intensidade 5 (Escala Saffir-Simpson Hurricane), foi o evento de maior impacto na história dos furacões dos Estados Unidos, tendo causado a morte a pelo menos 1325 pessoas, um dano económico entre \$70 e \$130 biliões de US dolares e mais de 1 milhão de desalojados. A crise humanitária atingiu uma escala nunca vista depois da Grande Depressão nos Estados Unidos dos anos 1929-1939.

O sismo do Paquistão-administração Kashmir ocorrido a 8 de Outubro de 2005, de magnitude $M_w =7.6$, foi o acontecimento mais mortífero da história deste sub-continente com mais de 80 000 mortos, 200 000 feridos e mais de 4 milhões de desalojados. O impacto económico deste sismo pode ser considerado superior ao do tsunami de Sumatra.

Os ataques terroristas às Torres Gémeas em New York a 11 de Setembro de 2001, e a combóios a 11 de Março de 2003 em Madrid constituem uma viragem nos conceitos de risco pois introduzem novos paradigmas a tomar em consideração. Também, estes últimos anos foram férteis em acontecimentos de grande envergadura de vária natureza, tais como as tempestades de 26-27 de Dezembro de 1999; a catástrofe urbana em Toulouse (21 de Setembro de 2001); os “black-out” eléctrico que afectaram a parte nordeste dos Estados Unidos (14 de Agosto de 2003) e pouco tempo depois toda a Itália durante a noite; a canícula do Verão de 2003 na Europa, com 15 000 mortos em França; as cheias do norte e centro da Europa em 2002 e 2005, etc.