

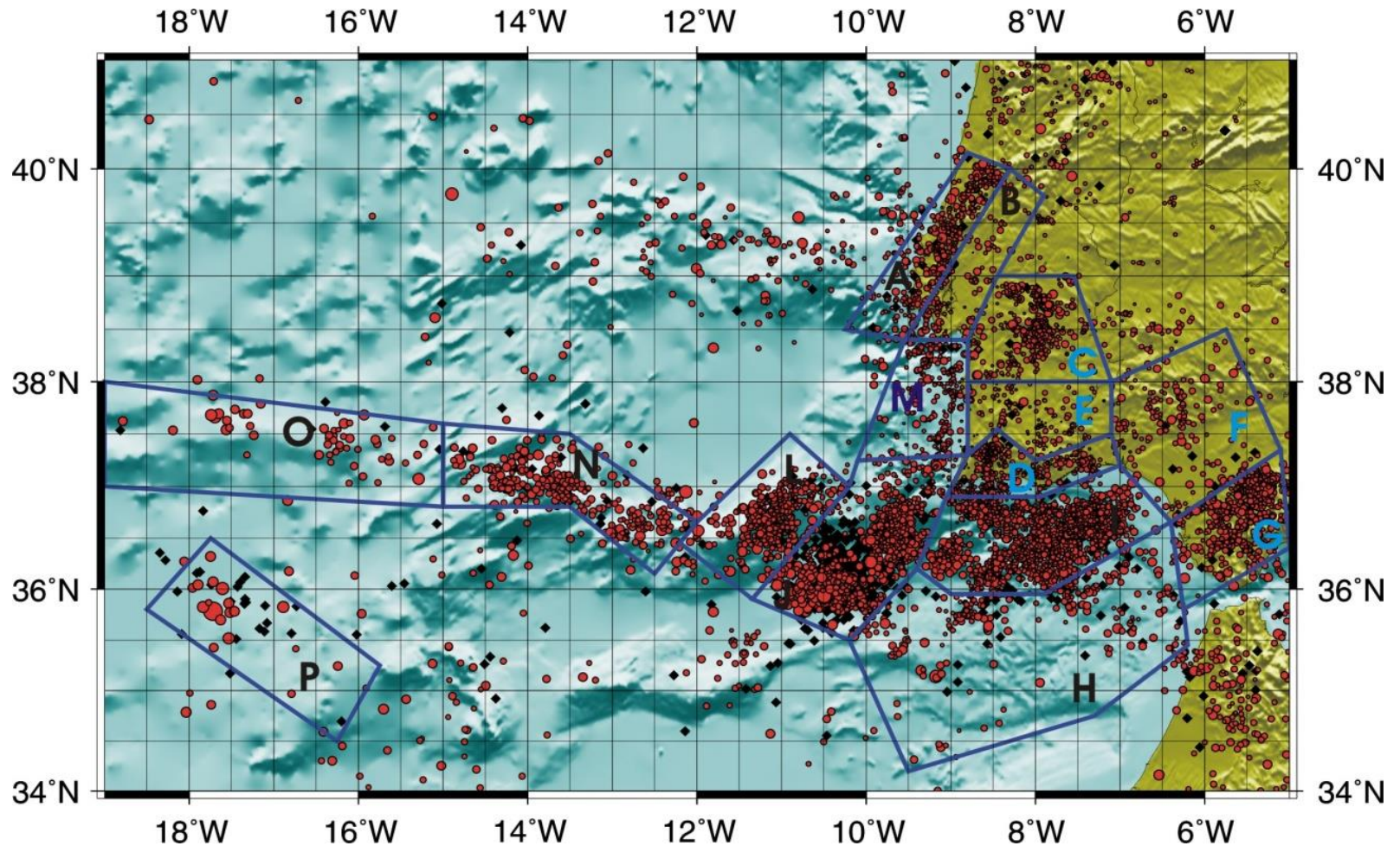
RISCO SÍSMICO EM PORTUGAL E SUA MITIGAÇÃO

**E. CANSADO CARVALHO
GAPRES SA**

Sismos Históricos em Portugal Continental

- 60 BC afetou Portugal e Galiza. Grande tsunami.
- 382 AC
- 1344 Vale inferior do Tejo
- 24 de Agosto de 1356 com grande destruição em Lisboa
- 26 de Janeiro de 1531 Vale inferior do Tejo
- **1 de Novembro de 1755 Grande Terramoto de Lisboa**
- 11 de Novembro de 1858, $I_{MM} = IX$ em Setúbal
- 23 de Abril de 1909, $M=6,0$ no Vale inferior do Tejo. Destruição de Benavente a 40 km de Lisboa

Sismos em Portugal

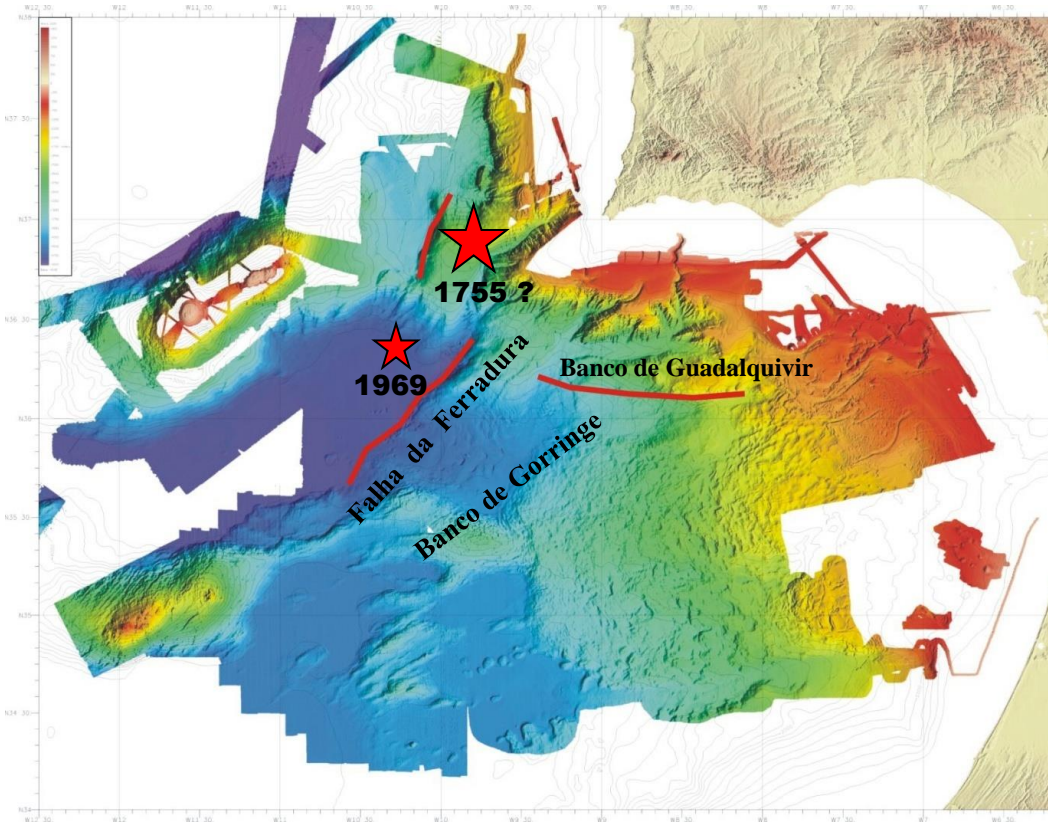


O Terramoto de 1755

- 1 de Novembro de 1755, Dia de Todos os Santos
- Magnitude $M = 8,5 - 8,8$
- Sequência de 3 choques
- Grande duração (9 minutos ?)
- Sentido com grande intensidade em Espanha e Marrocos
- Sentido em toda a Europa e no outro lado do Atlântico (Antilhas)
- 10.000 a 30.000 mortes



Sismo de 28 de Fevereiro de 1969



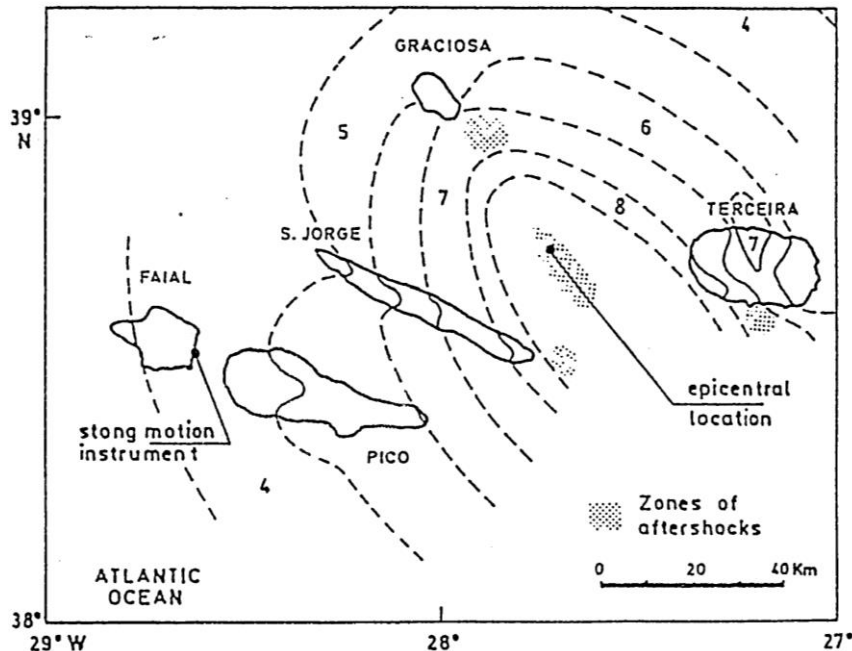
Batimetria do fundo oceânico SW Cabo São Vicente



Sismo de 1 de Janeiro de 1980 nos Açores

Maior evento nos Açores no século XX

- Evento na crista media do Atlântico
- $M = 6,7$ a 40 km de Angra do Heroísmo, 70 mortos, $I_{MM} = VIII$
- Danos muito severos nos edifícios antigos de alvenaria nas ilhas Terceira, Graciosa e S. Jorge, em particular nas zonas rurais
- Danos ligeiros nos edifícios (poucos) recentes em Betão Armado



Sismo do Faial, 9 de Julho de 1998, Açores

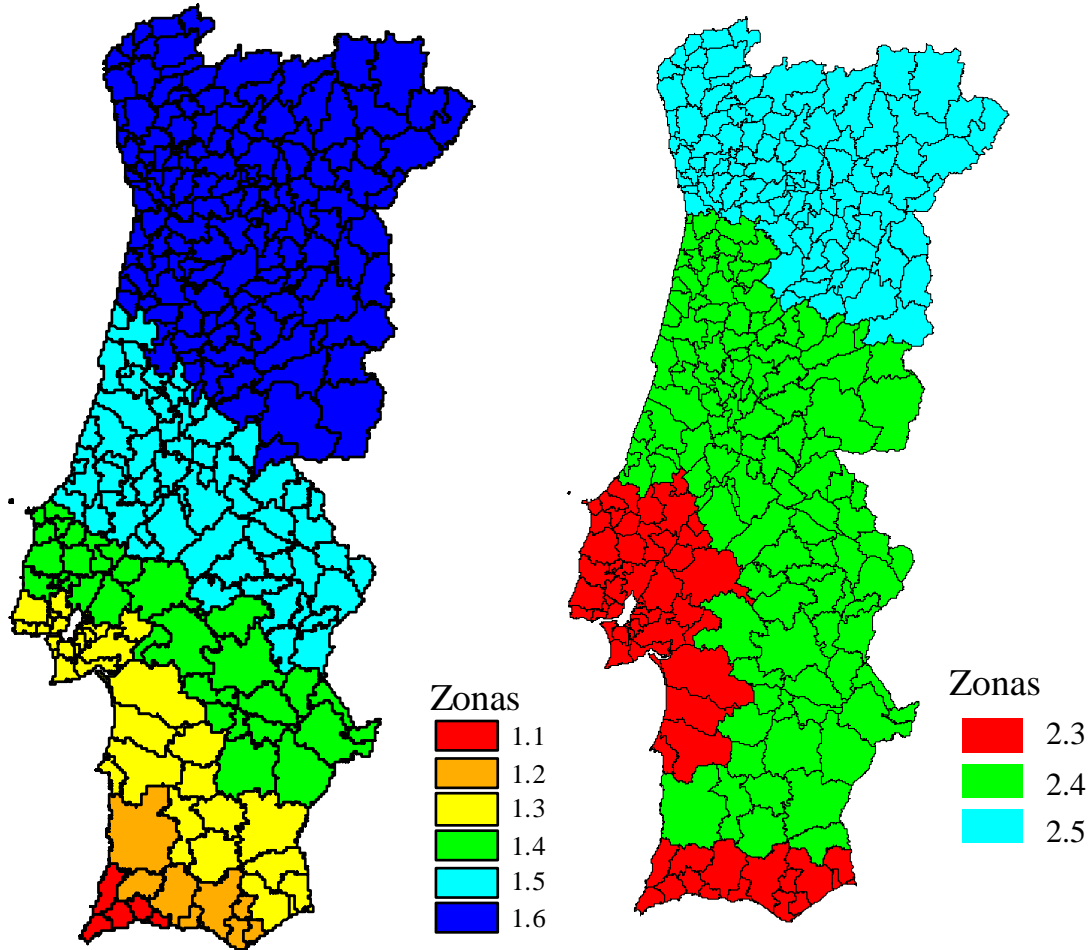
- $M = 5,9$, 15 km NE da Horta, 8 mortos
- $I_{MM} = VIII$ na ilha do Faial e $I_{MM} = VI$ na ilha do Pico
- Acelerograma registado na Horta:
 $a_{\max \text{ E-W}} = 0,37g$; $a_{\max \text{ N-S}} = 0,40g$;
 $a_{\max \text{ Vert}} = 0,33g$
- Danos severos nas construções antigas de alvenaria
- **Poucos danos nos edifícios recentes em betão armado**



PERIGOSIDADE SÍSMICA

Zonamento Sísmico (NP EN1998-1)

Período de retorno: 475 anos (10% de probabilidade em 50 anos)



Aceleração máxima de referência

Zona	AS Tipo 1 a_{gR} (m/s ²)	AS Tipo 2 a_{gR} (m/s ²)
x.1	2,50	2,50
x.2	2,00	2,00
x.3	1,50	1,70
x.4	1,00	1,10
x.5	0,60	0,80
x.6	0,35	-

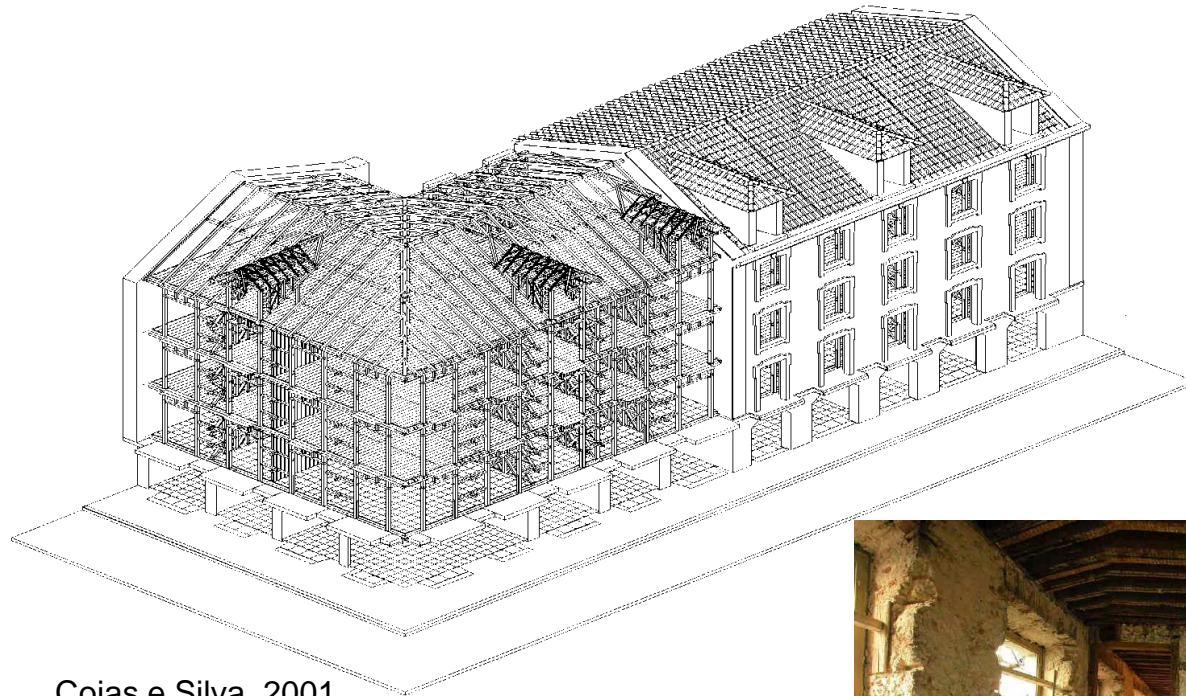
Acção Sísmica Tipo 1
Cenário afastado

Acção Sísmica Tipo 2
Cenário próximo

EVOLUÇÃO DA REGULAMENTAÇÃO SÍSMICA

A reconstrução de Lisboa pós Terramoto de 1755

Aplicação sistemática na construção dos edifícios de uma **estrutura sismo-resistente de madeira** (Gaiola pombalina) com paredes de fachada em alvenaria eficazmente ligadas à estrutura interior de paredes contraventadas (frontal) e pavimentos de madeira



Coias e Silva, 2001

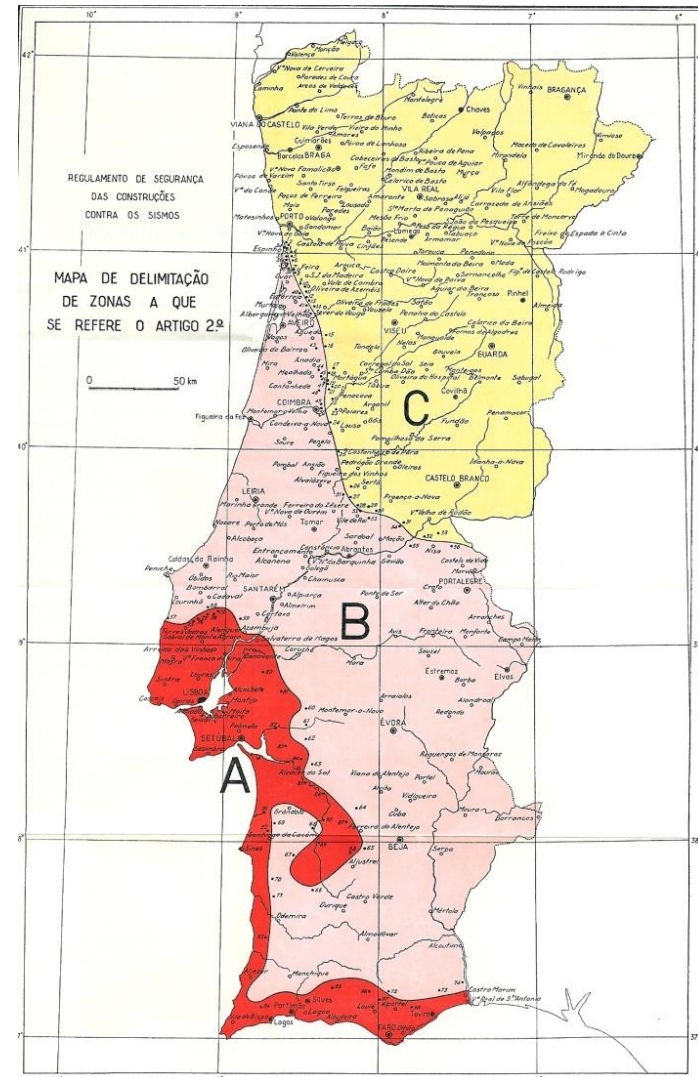


1951 - Regulamento Geral de Edificações Urbanas

“Nas zonas sujeitas a sismos violentos deverão ser fixadas **condições restritivas** especiais para as edificações, ajustadas à **máxima violência provável** dos abalos ...

1958 - Regulamento de Segurança das Construções contra os Sismos

Primeiro mapa de **zonamento sísmico do País**



1961 - Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes – RSEP

...atualização tendo em conta “os ensinamentos colhidos pela observação do comportamento das construções durante o **sismo de Agadir...**”

1. Introdução do conceito de “**construções com reserva de resistência** conferida por elementos não estruturais de travamento”
2. Separação entre “casos correntes de **terrenos de fundação (1)**” e “**terrenos de fundação que apresentem características particularmente desfavoráveis (2)**..”

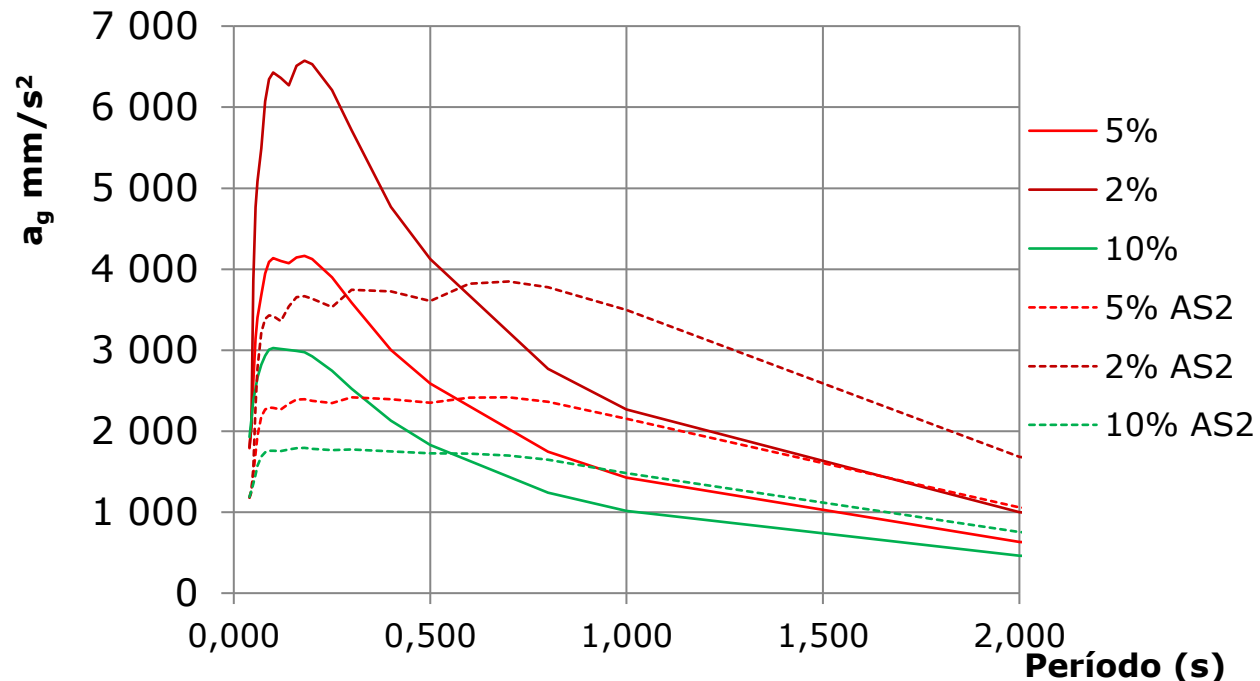
Coeficientes Zona A:

- Com reserva de resistência:
 - 0,10 (em geral)
 - 0,15 (condições de fundação desfavoráveis)
- Sem reserva de resistência:
 - 0,15 (em geral)
 - 0,20 (condições de fundação desfavoráveis)

1983 - Regulamento de Segurança e Acções em Estruturas de Edifícios e Pontes (cont.)

- Introdução do conceito de **resposta dinâmica** das estruturas
- Método **estático e dinâmico**
- Reconhecimento da inevitabilidade de projetar para uma **resposta não linear** no caso de sismos intensos
- Introdução do conceito de **ductilidade** e de **dissipação de energia**
- Maior proteção para “*edifícios e pontes cuja operacionalidade tenha que ser assegurada, após a ocorrência de um sismo intenso..*”

Espectro de
resposta RSA
Zona A
Terreno II



2010 - NP EN 1998-1 (Eurocódigo 8)

Objetivos

- > Proteger as vidas humanas
- > Limitar as perdas económicas
- > Assegurar a manutenção em funcionamento das instalações de proteção civil importantes

Norma Portuguesa

NP
EN 1998-1
2010

Eurocódigo 8 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos Parte 1: Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios

Eurocode 8 – Calcul des structures pour leur résistance aux séismes
Partie 1: Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments

Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance
Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings

ICS
91.120.25

DESCRIPTORIOS

Eurocódigo; sismos; estruturas; estruturas resistentes aos sismos; fundações; resistência dos materiais; cálculos matemáticos; estabilidade; edifícios; betões

CORRESPONDÊNCIA

Versão portuguesa da EN 1998-1:2004 + AC:2009

HOMOLOGAÇÃO

Termo de Homologação n.º 73/2010, de 2010-03-23
A presente Norma resulta da revisão das NP ENV 1998-1-1:2000, NP ENV 1998-1-2:2000 e NP ENV 1998-1-3:2002

ELABORAÇÃO

CT 115 (LNEC)


EDIÇÃO

Março de 2010

CÓDIGO DE PREÇO

XEC058

© IPQ reprodução proibida

Instituto Português da  Qualidade

Rua António Gilo, 2
2829-513 CAPARICA PORTUGAL

Tel. + 351-212 948 100 Fax + 351-212 948 101
E-mail: ipq@mail.ipq.pt Internet: www.ipq.pt

2010 - NP EN 1998-1 - Exigências de desempenho

EXIGÊNCIA DE NÃO COLAPSO

Acção sísmica de projecto (“design seismic action”)

- Valor adotado em Portugal para casos correntes: 10% de probabilidade em 50 anos (período de retorno de 475 anos)

EXIGÊNCIA DE LIMITAÇÃO DE DANOS

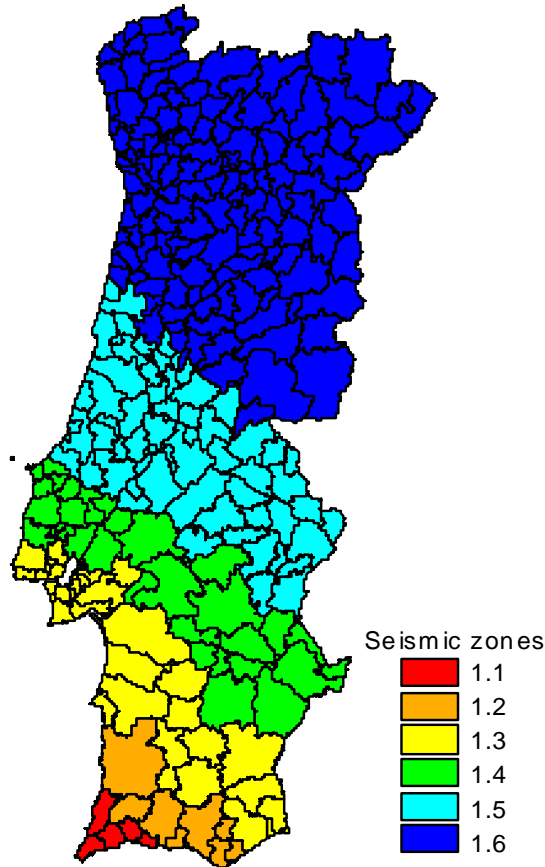
Acção sísmica de serviço

- Valor adotado em Portugal para casos correntes: 10% de probabilidade em 10 anos (período de retorno de 95 anos)

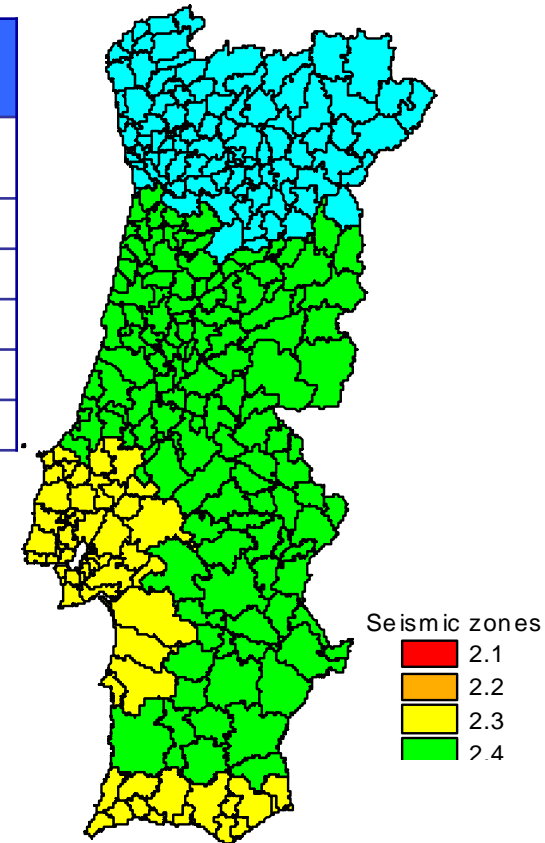
2010 - NP EN 1998-1 (Eurocódigo 8)

Zonamento sísmico - 475 anos de período de retorno (10% em 50 anos)

Ação Sísmica Tipo 1	
Zona	a_{gR} (m/s ²)
1.1	2.5
1.2	2.0
1.3	1.5
1.4	1.0
1.5	0.6
1.6	0.35

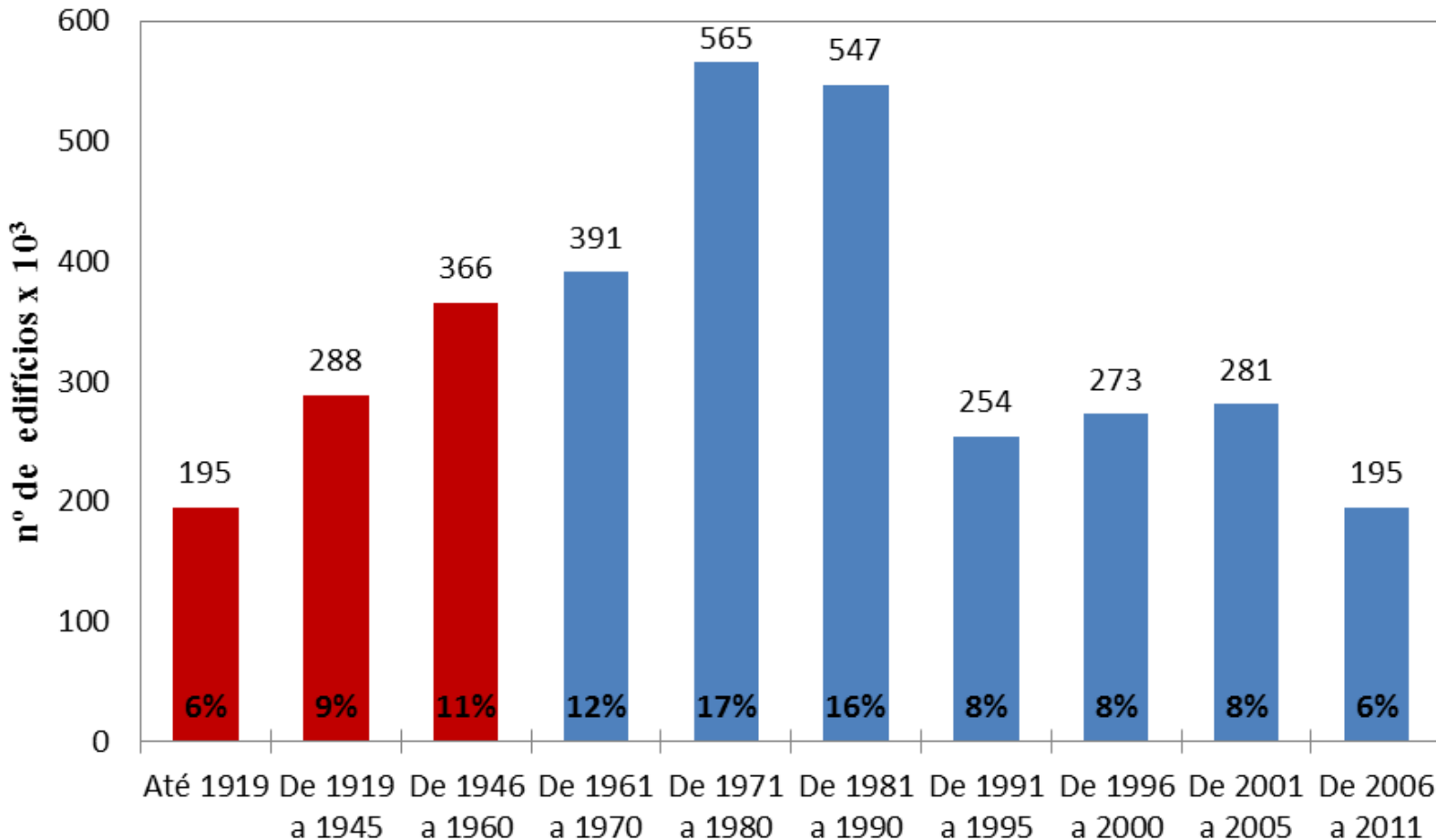


Ação Sísmica Tipo 2	
Zona	a_{gR} (m/s ²)
2.1	2.5
2.2	2.0
2.3	1.7
2.4	1.1
2.5	0.8



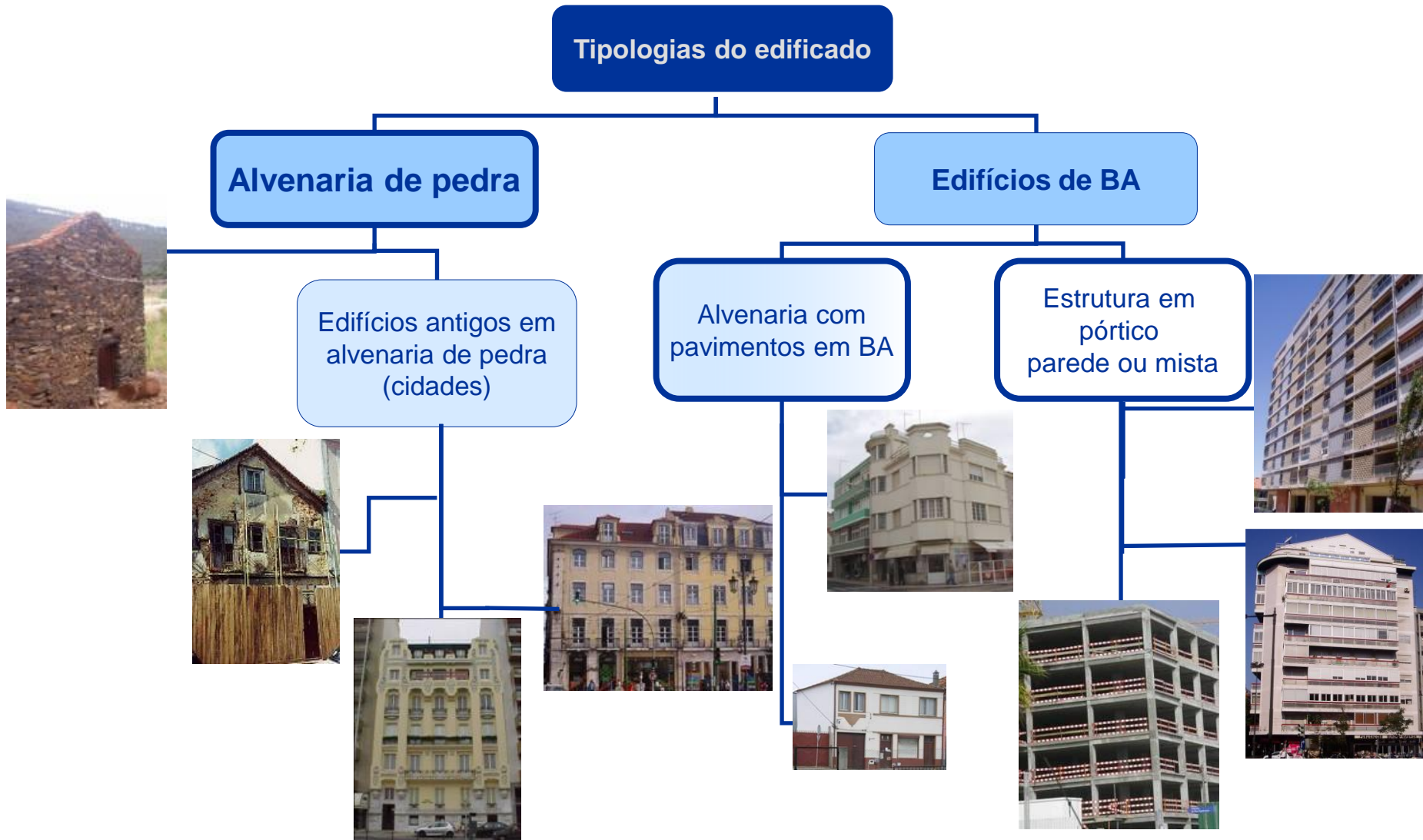
EXPOSIÇÃO

Distribuição do edificado em Portugal por data de construção (Censos 2011)

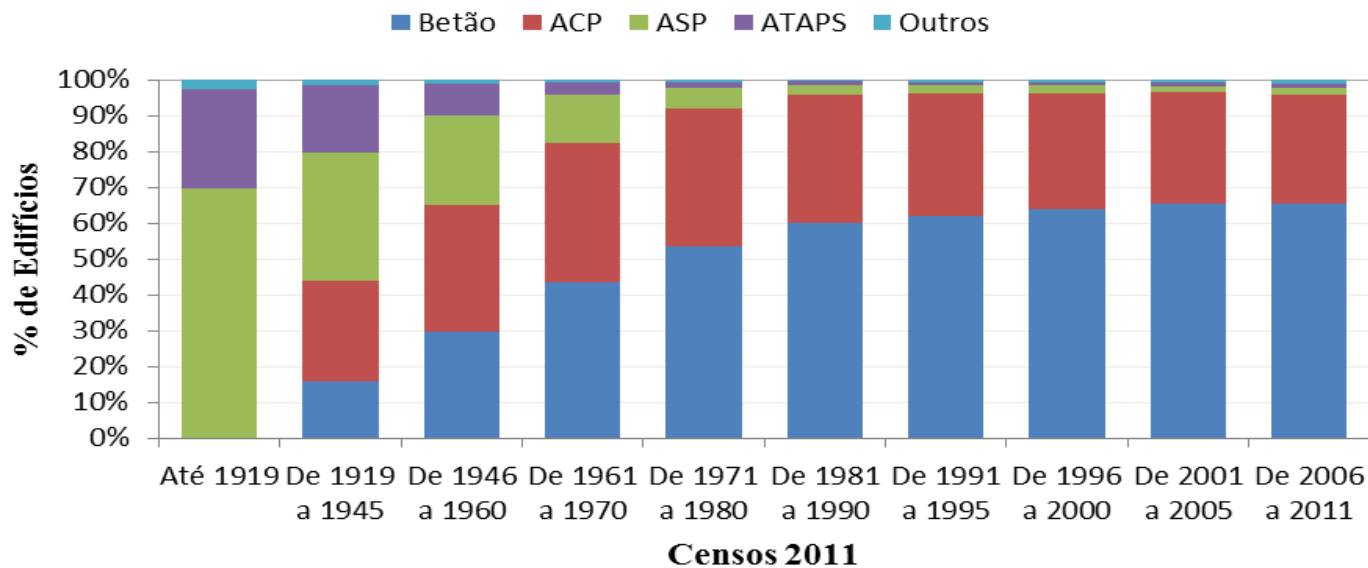
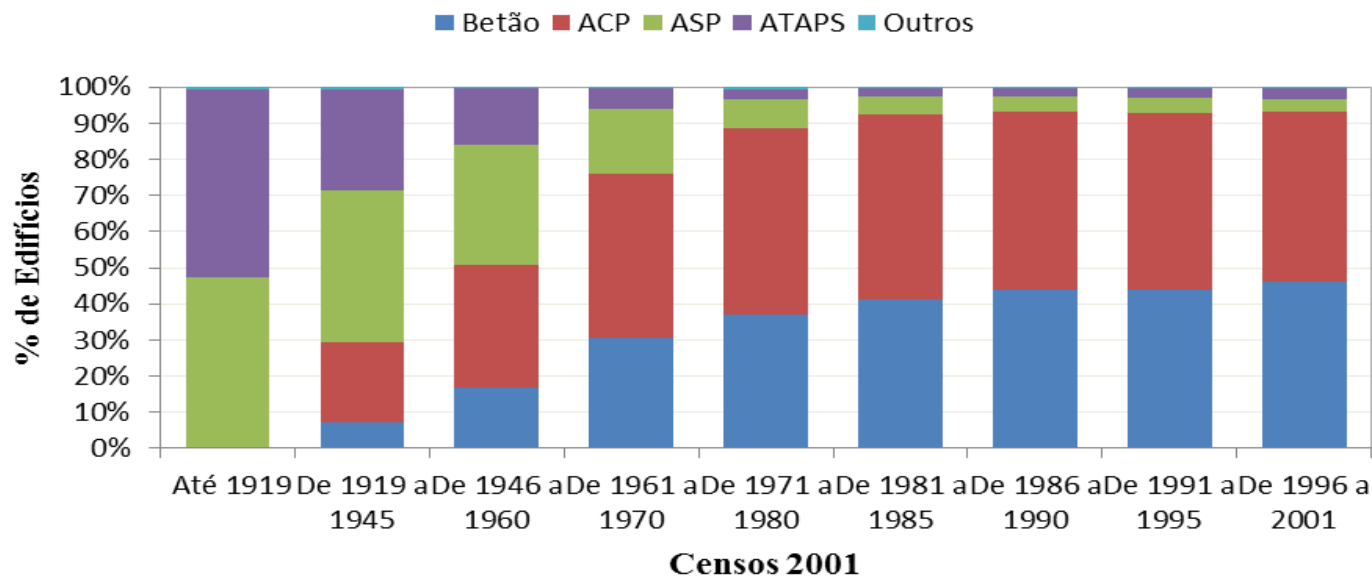


Número total de edifícios: 3.353.610

Inventários dos elementos em risco



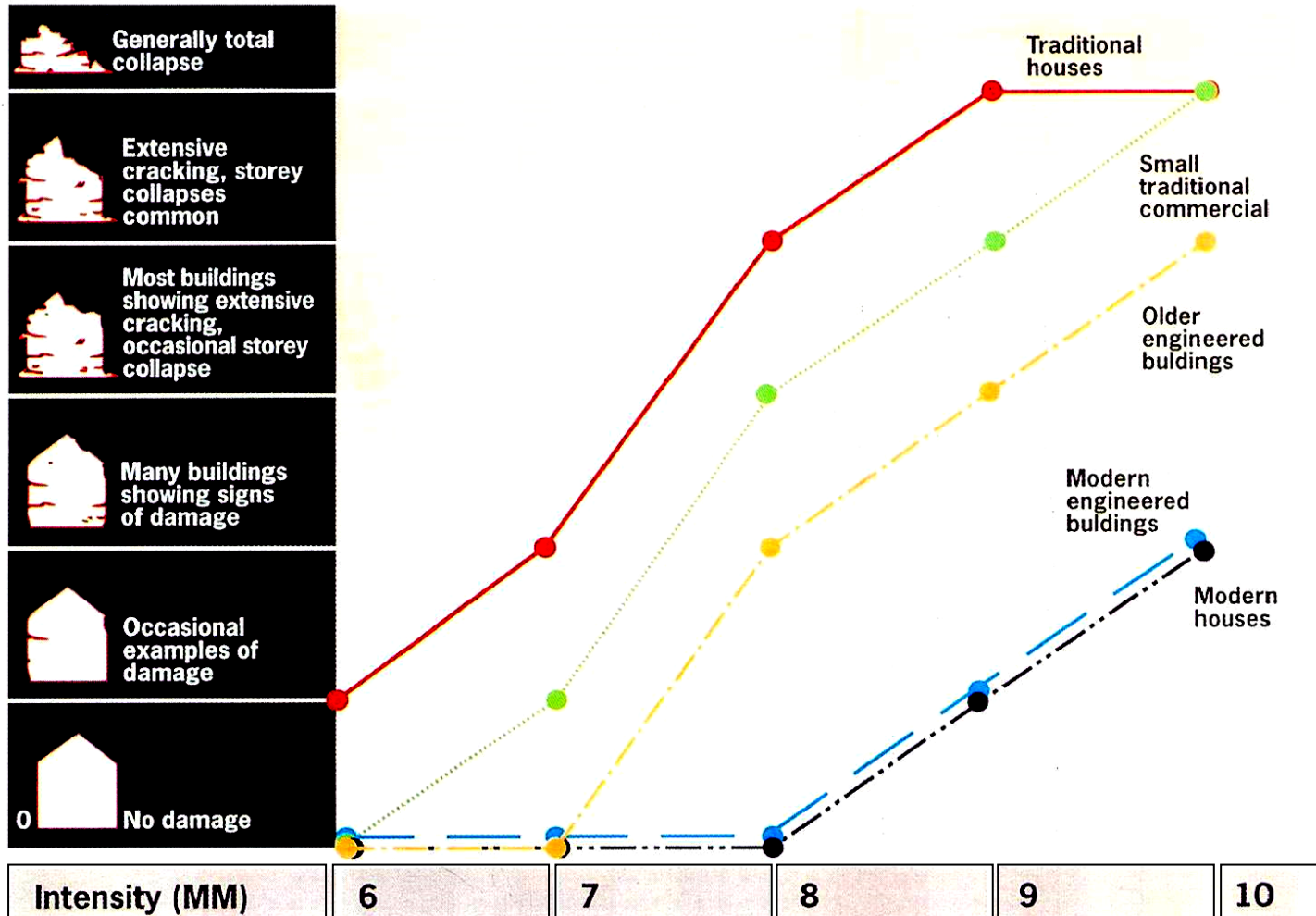
Distribuição do edificado em Portugal por tipo de estrutura (Censos 2001 e 2011)



VULNERABILIDADE SÍSMICA

Vulnerabilidade sísmica das construções

Variação dos danos com a variação da intensidade sísmica



Estatística dos danos observados durante o sismo de KOBE de 17 Jan. 1995

Source: Alexander Howden Group Ltd (1995), p. 6.

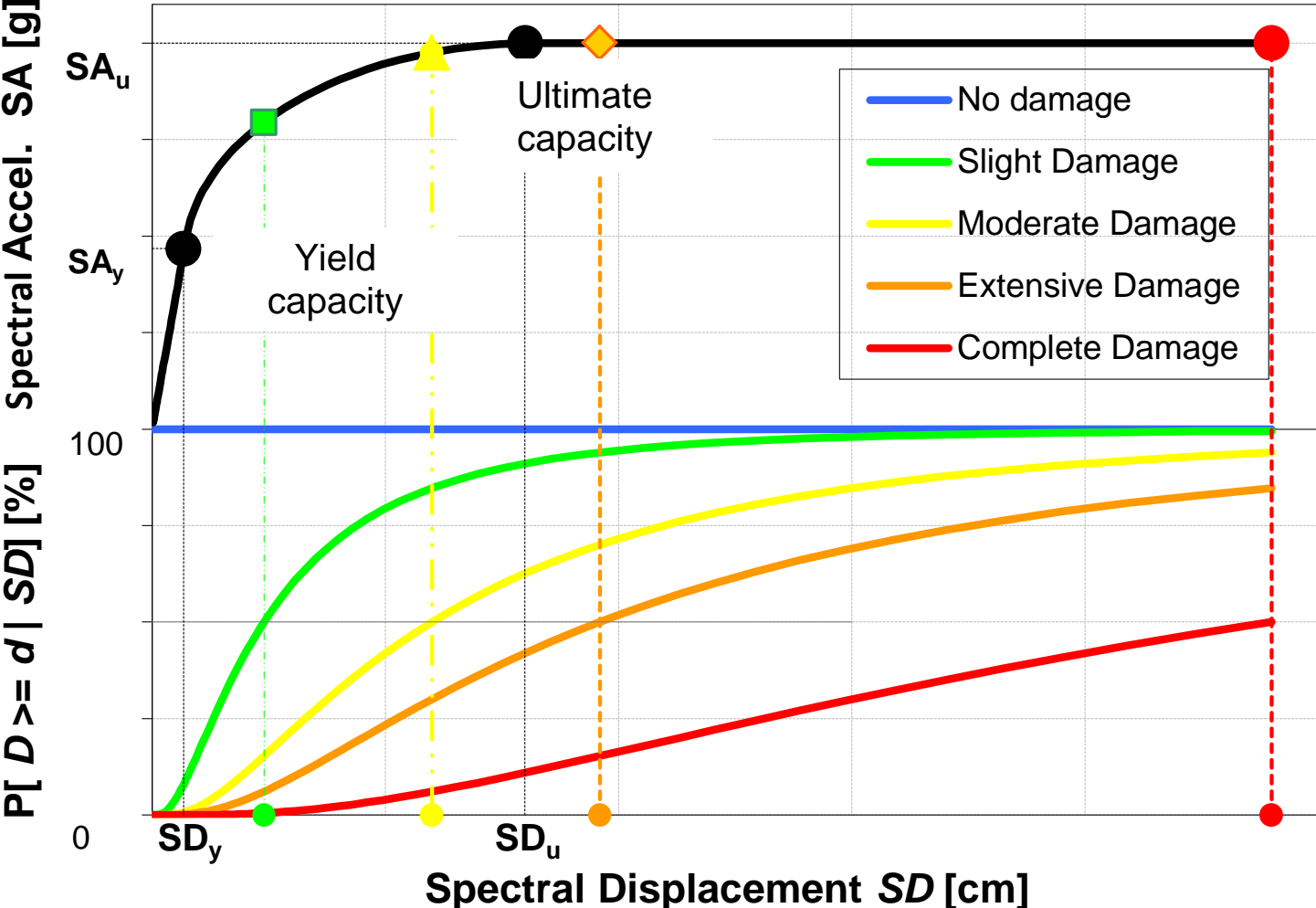
Efeito das técnicas de dimensionamento de estruturas na sua vulnerabilidade

Os edifícios não são todos iguais



Fragilidade sísmica das construções

Probabilidade de ocorrência de vários níveis de dano (para uma tipologia estrutural)



RISCO SÍSMICO

Fundamentos dos estudos de risco sísmico (perdas esperadas no futuro devidas a eventos sísmicos)

$$R_S = f(H, V, E)$$

Fotografia de Jorge Rodrigues [1998]



Fotografia Robert E. Wallace [U]



Vulnerabilidade, V

Perigosidade, H

Exposição, E

REDUÇÃO DO RISCO SÍSMICO

Como diminuir o risco no parque edificado existente

> Diminuir a Perigosidade? **Não é possível!**

> Diminuir a Vulnerabilidade? **Sim, é possível!**

**Construção nova sismo-resistente e
Reabilitação sísmica**

> Diminuir a Exposição? **Sim, é possível!**

Demolição total ou parcial. Limitação de uso

Reabilitação sem reabilitação sísmica?

- > Diminuiu a Perigosidade? **Não!**
- > Diminui a Vulnerabilidade? **Não! (Por vezes aumenta!)**
- > Diminui a Exposição? **Pelo contrário, aumenta-a!**

**Aumenta o Risco Sísmico
em termos humanos e económicos**

Não podemos cometer este erro

REDUÇÃO DO RISCO SÍSMICO

Evolução recente em Portugal

2017 - NP EN 1998-3 (Eurocódigo 8 – Parte 3)

Avaliação e reabilitação de edifícios

Diferente do projeto para edifícios novos

Permite a redução da ação sísmica, relativamente ao exigido para edifícios novos

Norma Portuguesa

NP
EN 1998-3
2017

Eurocódigo 8 – Projeto de estruturas para resistência aos sismos
Parte 3: Avaliação e reabilitação de edifícios

Eurocode 8 – Calcul des structures pour leur résistance aux séismes.
Partie 3: Evaluation et renforcement des bâtiments

Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance
Part 3: Assessment and retrofitting of buildings

ICS
91.120.25

CORRESPONDÊNCIA
Versão portuguesa da EN 1998-3:2005 + AC:2013


HOMOLOGAÇÃO
Termo de Homologação n.º 188/2017, de 2017-09-05

ELABORAÇÃO
CT 115 (LNEC)

EDIÇÃO
2017-09-15

CÓDIGO DE PREÇO
203C022

© DPO reprodução proibida

Instituto Português da  Qualidade

Rua Américo Gomes, 2
2029-512 CAPARICA - PORTUGAL
Tel. +351-212 948 100 Fax. +351-212 948 101
E-mail: ipq@ipq.pt www.ipq.pt

2017 - NP EN1998-3 (Eurocódigo 8 – Parte 3)

Coeficientes multiplicativos da ação sísmica (a aplicar aos valores definidos na NP EN 1998-1 – Edifícios novos)

Estado limite	Acção sísmica Tipo 1	Acção sísmica Tipo 2	
		Continente	Açores
Colapso iminente (NC)	1,62	1,33	1,22
Danos severos (SD)	0,75*	0,84*	0,89*
Limitação de dano (DL)	0,29	0,47	0,55

* Ajuste para probabilidade de excedência 15% em 50 anos

2019 - Decreto-Lei nº 95/2019

Estabelece o regime aplicável à **reabilitação de edifícios** ou frações autónomas

Impõe que se proceda à **avaliação da vulnerabilidade sísmica** quando houver alterações estruturais ou de utilização e em intervenções de grande envergadura. Exige o **reforço sísmico em certas situações** (condições definidas em Portaria).

Estabelece a aplicação dos **Eurocódigos Estruturais** em Portugal (condições definidas Despacho Normativo específico)

Entrada em vigor: **15 de Novembro de 2019**

2019 - Portaria nº 302/2019

Condições de obrigatoriedade de elaboração do relatório de avaliação de vulnerabilidade sísmica:

- Existência de sinais de degradação da estrutura
- Obras que alterem o comportamento estrutural do edifício
- Área intervencionada superior a 25% da área bruta de construção
- Custo da intervenção superior a 25% do custo de construção nova de edifício equivalente

Entrada em vigor: **15 de Novembro de 2019**

OS SISMOS SÃO INEVITÁVEIS

MAS AS CONSEQUÊNCIAS

NÃO !

Dependem da nossa ACÇÃO ou INACÇÃO



Fotografia de Jorge Rodrigues [1998]



Obrigado