

A REGULAMENTAÇÃO SÍSMICA

E CANSADO CARVALHO
Chairman do CEN/TC250/SC8
Coordenador do GT EC8

SUMÁRIO

- > Aspectos gerais do Eurocódigo 8
 - Exigências fundamentais
 - Definição da acção sísmica
- > Anexo Nacional (NP EN1998-1)
 - Zonamento sísmico
 - Período de retorno da acção sísmica de projecto
 - Configuração dos espectros de resposta e efeito dos solos
 - Edifícios de Betão Armado
- > Comparação entre actual regulamentação (RSA e REBAP) e futura NP EN1998-1

EUROCÓDIGO 8 (EN1998)

- > Projecto de estruturas sismo-resistente
- > Complementar dos restantes Eurocódigos
- > 6 partes (publicadas pelo CEN 2004/2006):
 - Parte 1: Regras gerais, **acções sísmicas** e regras para **edifícios** (EN1998-1)
 - Parte 2: **Pontes** (EN1998-2)
 - Parte 3: **Avaliação e reforço** de edifícios (EN1998-3)
 - Parte 4: **Silos, reservatórios** e condutas enterradas (EN1998-4)
 - Parte 5: **Fundações, estruturas de contenção e aspectos geotécnicos** (EN1998-5)
 - Parte 6: **Torres, mastros e chaminés** (EN1998-6)

EN1998-1

> Inclui 56 parâmetros de Determinação Nacional (NDPs)

• Aspectos gerais e definição da acção sísmica:	11
• Modelação, análise e dimensionamento de edifícios:	7
• Edifícios de Betão:	11
• Edifícios de Aço:	6
• Edifícios mistos Aço-Betão:	4
• Edifícios de Madeira:	1
• Edifícios de Alvenaria:	15
• Isolamento de Base:	1
TOTAL	56

EN1998-1 - Objectivos

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

EN1998-1 - Exigências de desempenho

> EXIGÊNCIA DE NÃO COLAPSO

Acção sísmica de projecto (“design seismic action”)

- Definida nos Anexos Nacionais de cada País (Parâmetros de Determinação Nacional)
- Valor recomendado 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 recomendado para casos correntes: 10% de probabilidade em 10 anos (período de retorno de 95 anos)

EN1998-1 – Exigências de desempenho

- > Introdução do conceito de **Classes de Importância** das construções (coeficiente de importância – γ_I)
 - 4 Classes de Importância com valores de γ_I recomendados variar entre **1,4** e **0,8**
 - γ_I mais elevado – edifícios fundamentais para socorro pós-sismo (hospitais)
 - γ_I mais reduzido – edifícios de importância reduzida (edifícios agrícolas)
 - Edifícios correntes - $\gamma_I = 1,0$

Conceito semelhante no REBAP (diminuição dos coeficientes de comportamento)

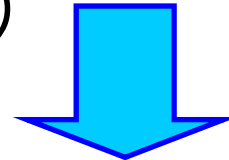
RSA vs NP EN1998-1

- Acção sísmica considerada acção variável
- Probabilidade de excedência de 5% em 50 anos
- Acção sísmica de referência correspondente a um período de retorno de 975 anos
- Acção é majorada (coeficiente parcial = 1,5) na combinação com outras acções
- Não é explicitada qualquer verificação sísmica a efectuar para um “estado limite de serviço”

Diferença conceptual importante entre os dois documentos

EN1998-1 – Zonamento Sísmico

- > Definido pelas Autoridades Nacionais (Parâmetro de Determinação Nacional – Anexo Nacional)
- > Estabelecido em termos da aceleração máxima de projecto de referência a_{gR} (compatível com a definição da acção sísmica)



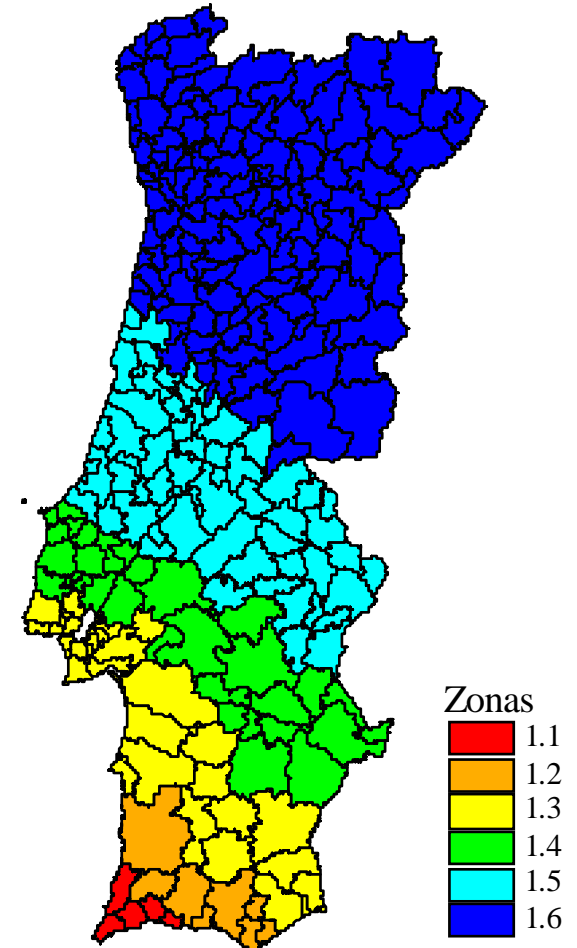
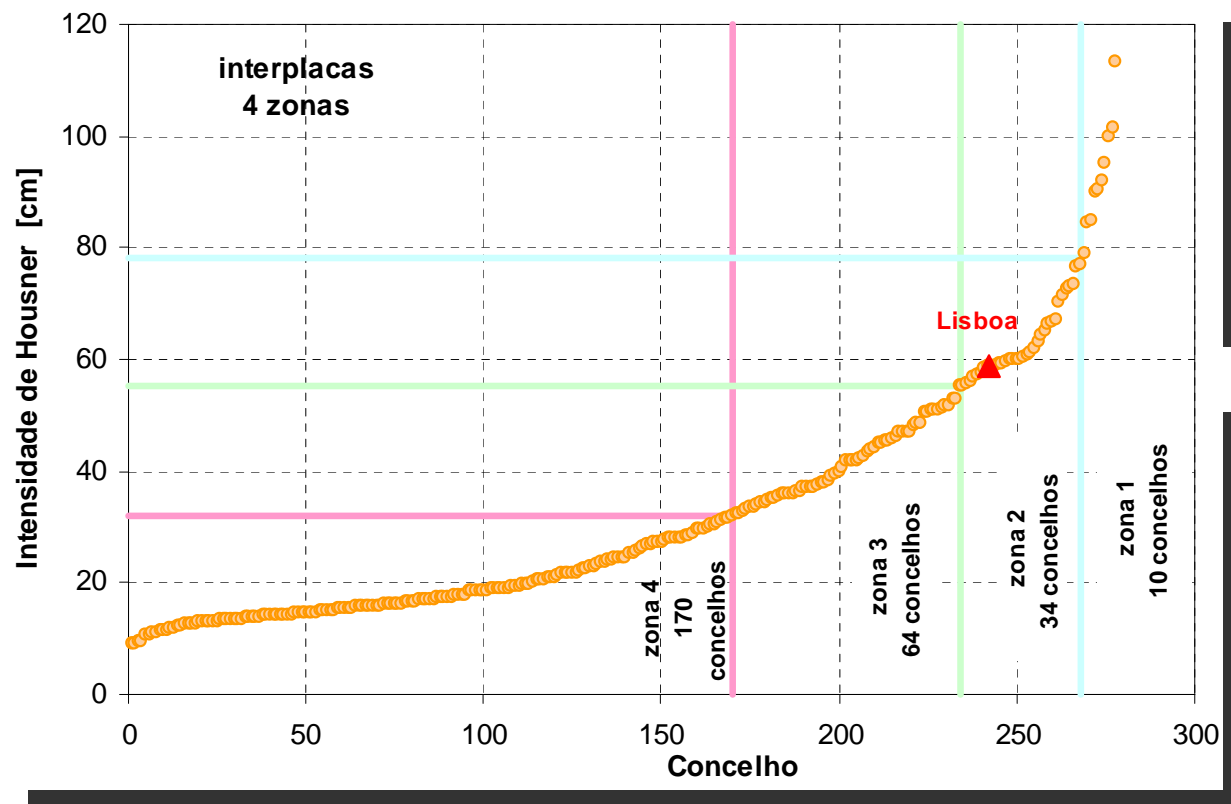
Divisão do território em zonas sísmicas

NP EN1998-1: Duplo cenário de acção sísmica em Portugal Continental (sismo afastado e próximo).

Dois zonamentos do território (diferente do RSA)

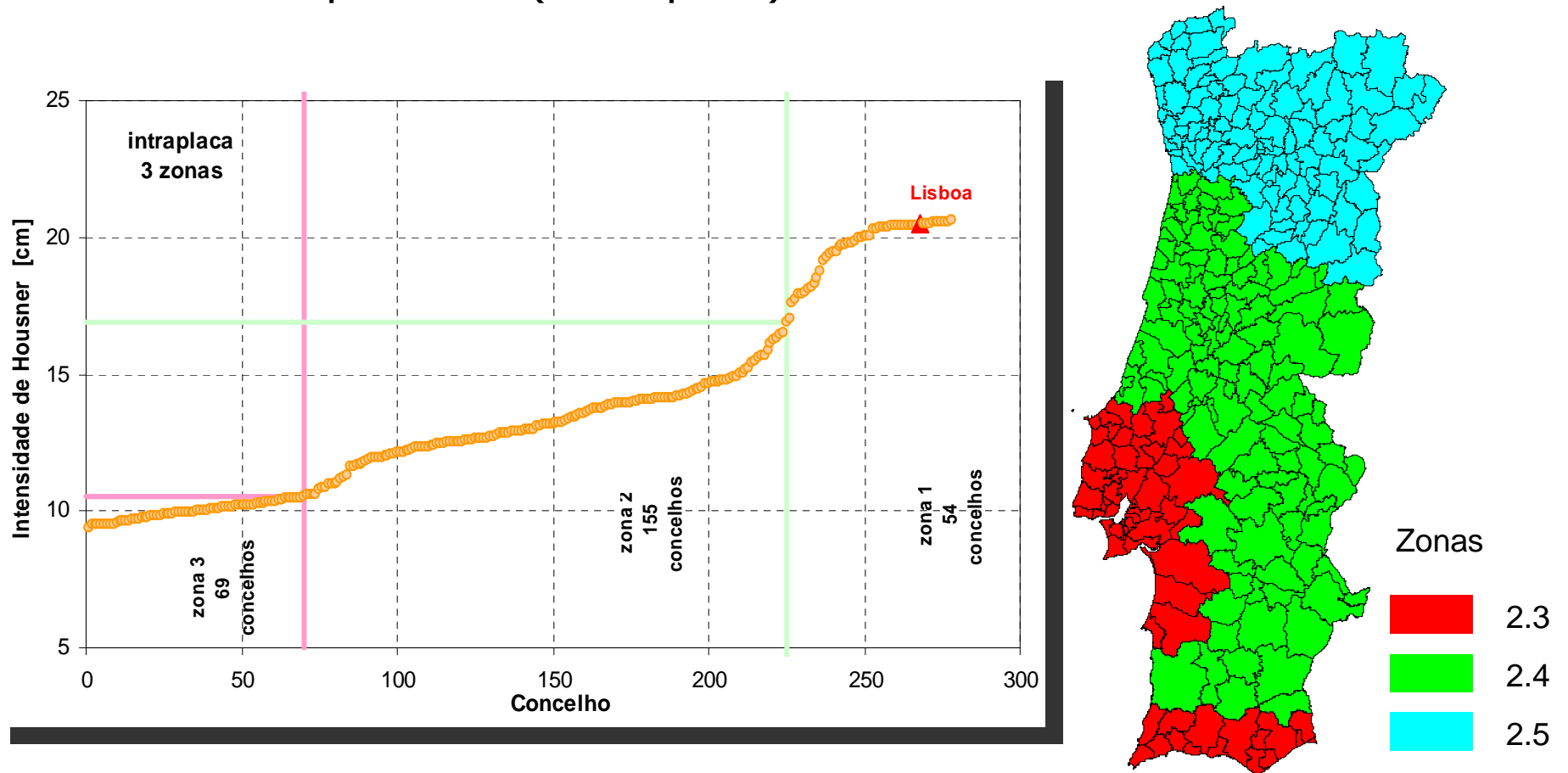
NP EN1998-1 – Zonamento Sísmico

Sismicidade afastada (AS Tipo 1)



NP EN1998-1 – Zonamento Sísmico

Sismicidade próxima (AS Tipo 2)



NP EN1998-1 – Zonamento Sísmico

> Aceleração máxima de referência a_{gR} (cm/s²)

Zona Sísmica	Sismo afastado (AS1)	Sismo próximo (AS2)
x.1	250	250
x.2	200	200
x.3	150	170
x.4	100	110
x.5	60	80
x.6	35	-

NP EN1998-1 – Coeficientes de Importância γ

Classe de Importância	Período de retorno (T_L)	AS1 $k = 1,5$	AS2	
			Continente $k = 2,5$	Açores $k = 3,6$
I	243	0,65	0,75	0,85
II	475	1,00	1,00	1,00
III	821	1,45	1,25	1,15
IV	1.303	1,95	1,50	1,35

Valores de γ calculados para a sismicidade de Portugal (reflectida nos valores do expoente k da relação $\gamma \sim (T_{LR}/T_L)^{-1/k}$) considerando que os valores recomendados para γ na EN1998-1 são consistentes com o valor de $k = 3$ aí referido como valor habitual.

EN1998-1 - Definição Acção Sísmica

> Espectro de Resposta Elástico

$$0 \leq T \leq T_B : \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot \beta_0 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot \beta_0$$

$$T_C \leq T \leq T_D : \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot \beta_0 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

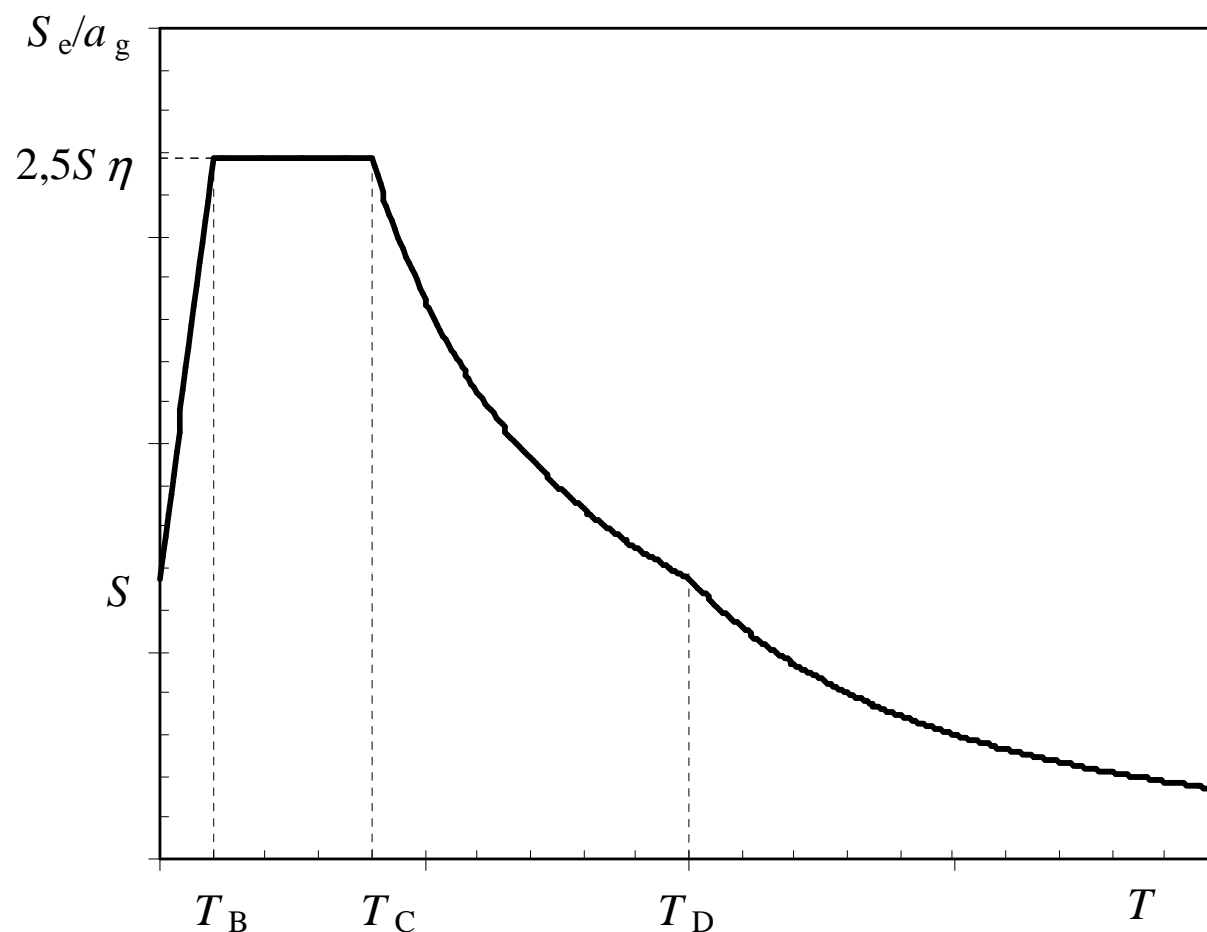
$$T_D \leq T : \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot \beta_0 \cdot \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]$$

$$\beta_0 = 2,5$$

S, T_B, T_C e T_D : *Parâmetros de Determinação Nacional*

EN1998-1 – Definição Acção Sísmica

> Espectro de Resposta Elástico



NP EN1998-1 – Definição Acção Sísmica

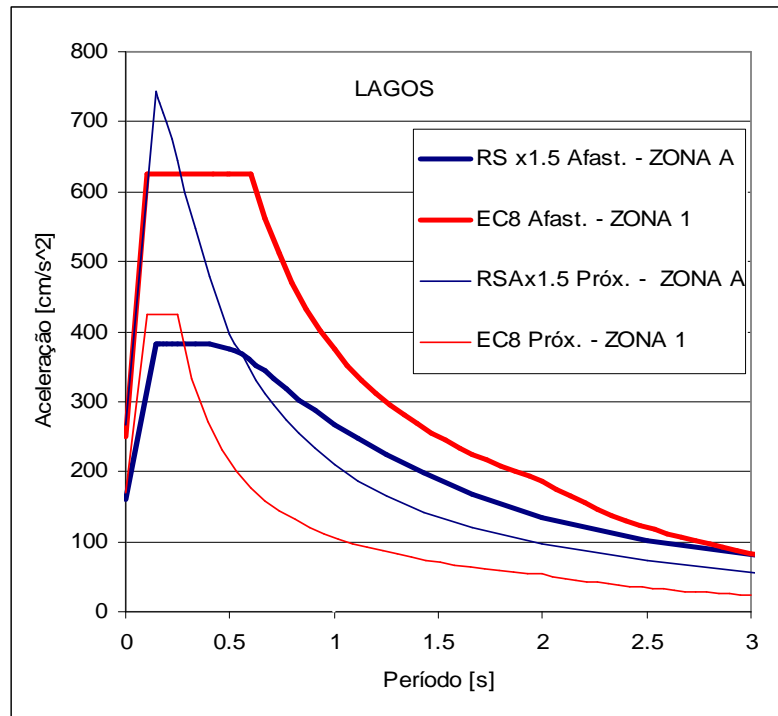
Espectro de Resposta Elástico (Rocha)

Acção sísmica Tipo 1		
T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]
0,10 (0,15)	0,60 (0,40)	2,00 (2,00)

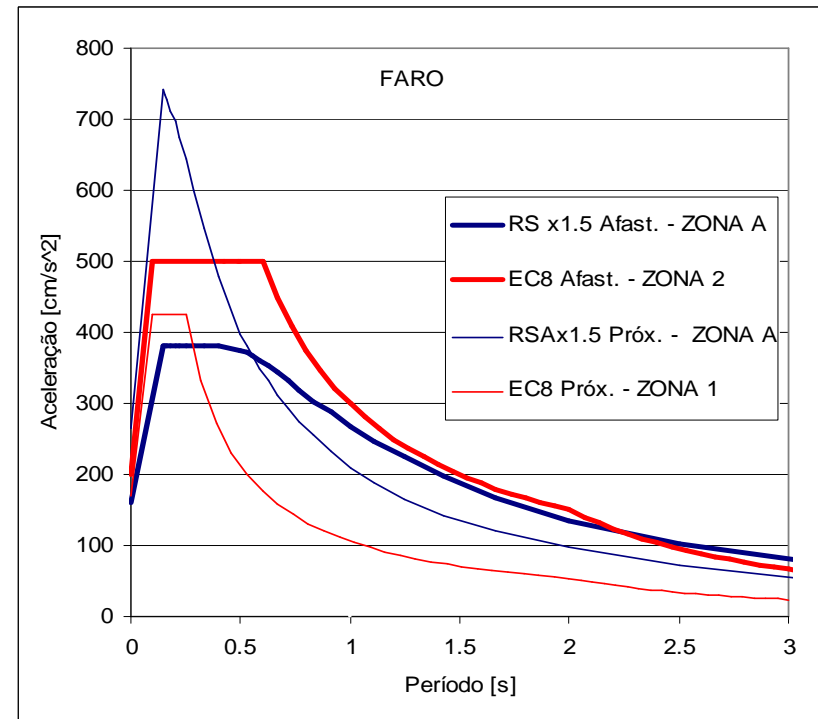
Acção sísmica Tipo 2		
T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]
0,10 (0,05)	0,25 (0,25)	2,00 (1,20)

NP EN1998-1 e RSA (majorado)

Comparação dos espectros de resposta em rocha (2 acções)



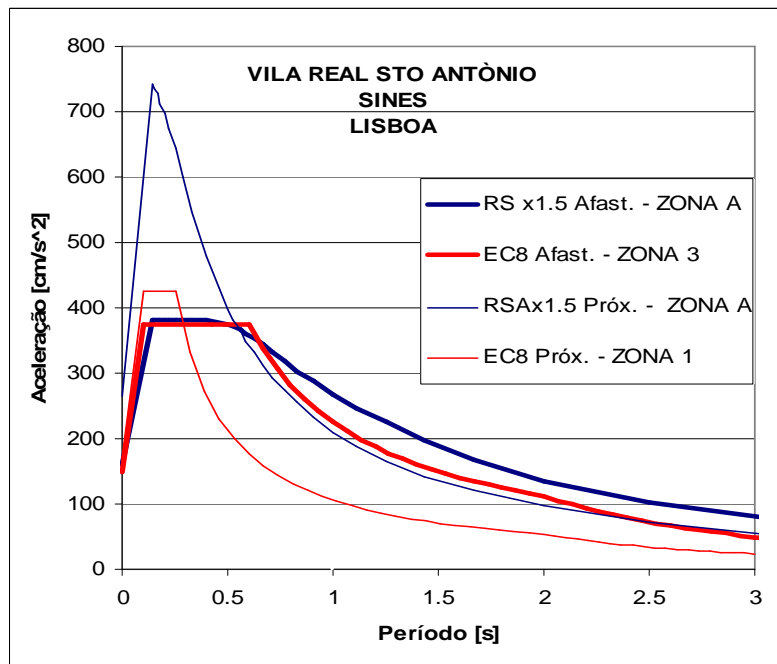
Lagos



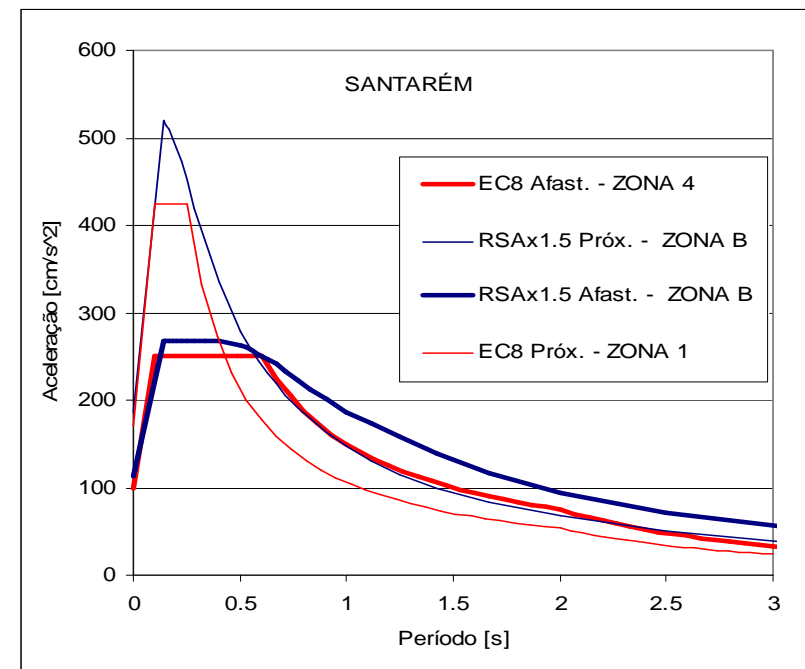
Faro

NP EN1998-1 e RSA (majorado)

Comparação dos espectros de resposta em rocha (2 acções)



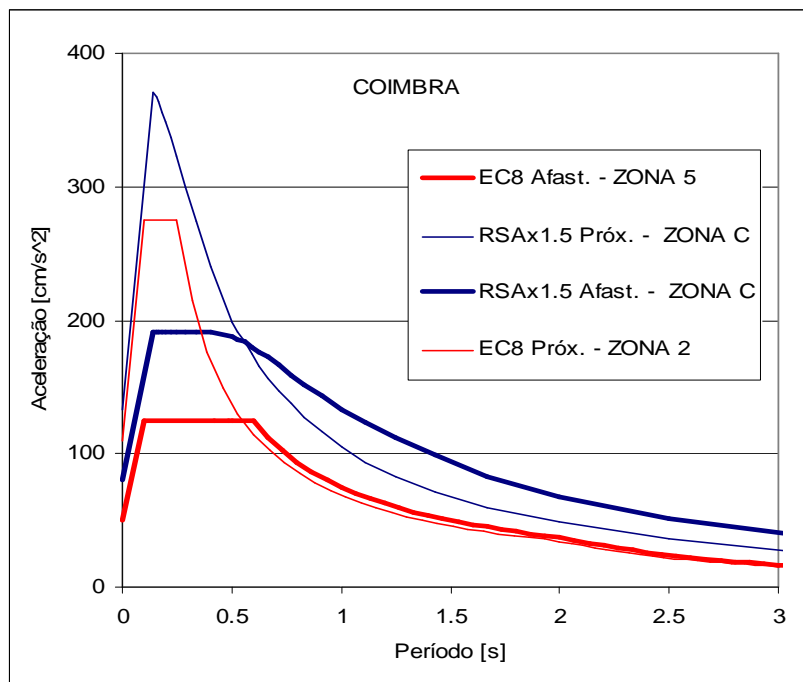
**V.R.S. António,
Sines, Lisboa**



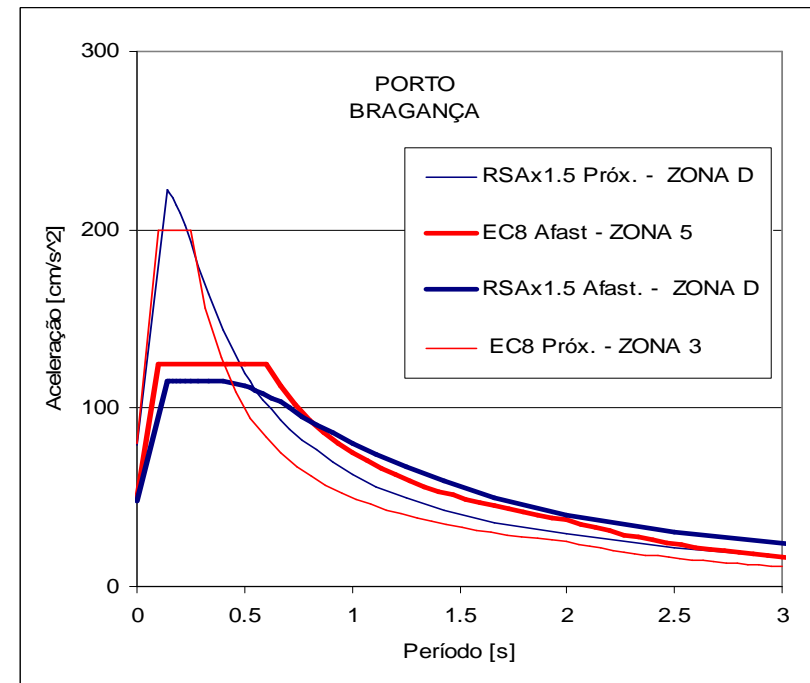
Santarém

NP EN1998-1 e RSA (majorado)

Comparação dos espectros de resposta em rocha (2 acções)



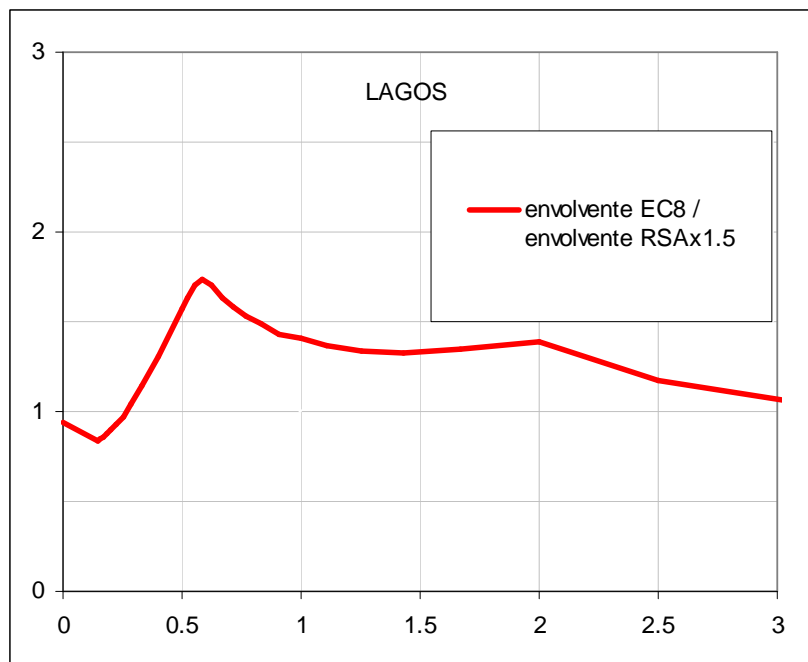
Coimbra



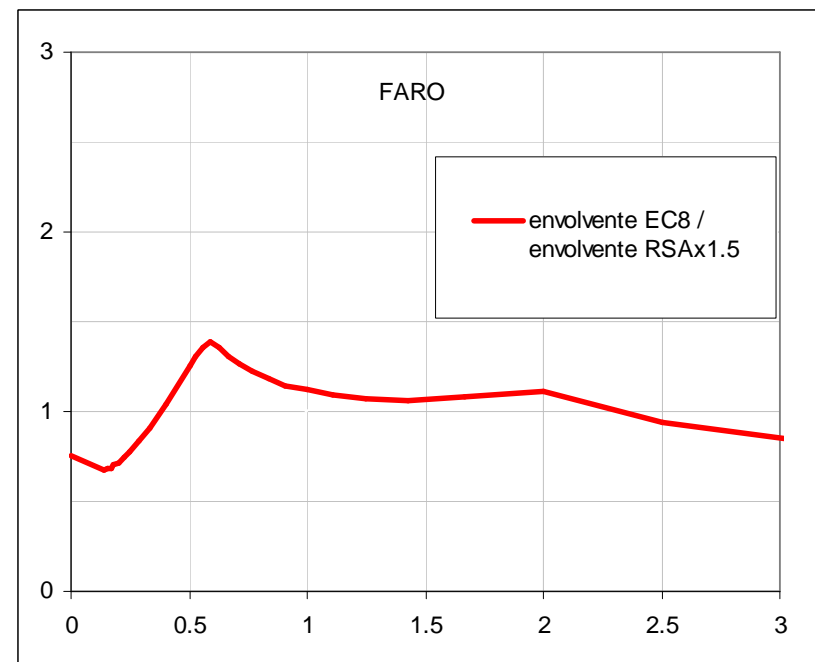
Porto, Bragança

NP EN1998-1 e RSA majorado

Razão entre envolventes dos espectros de resposta em rocha



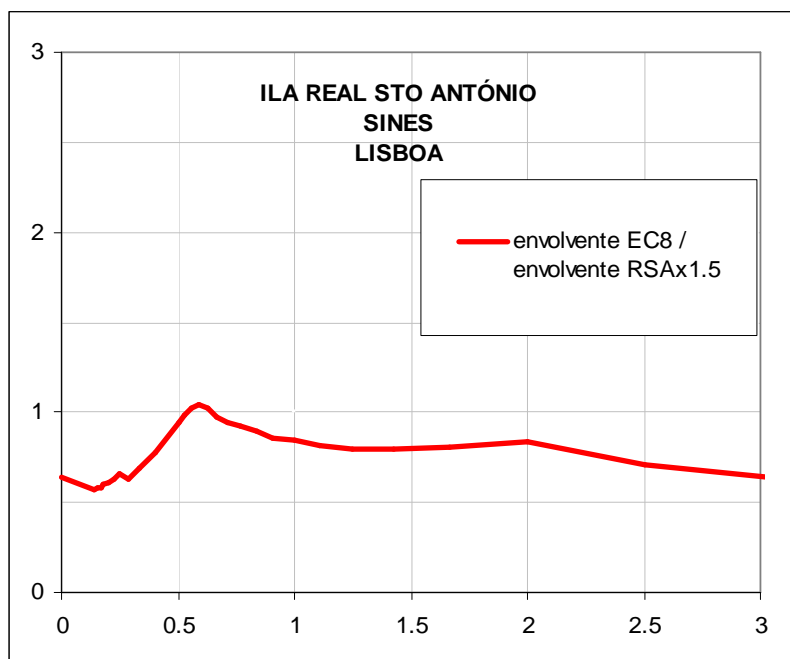
Lagos



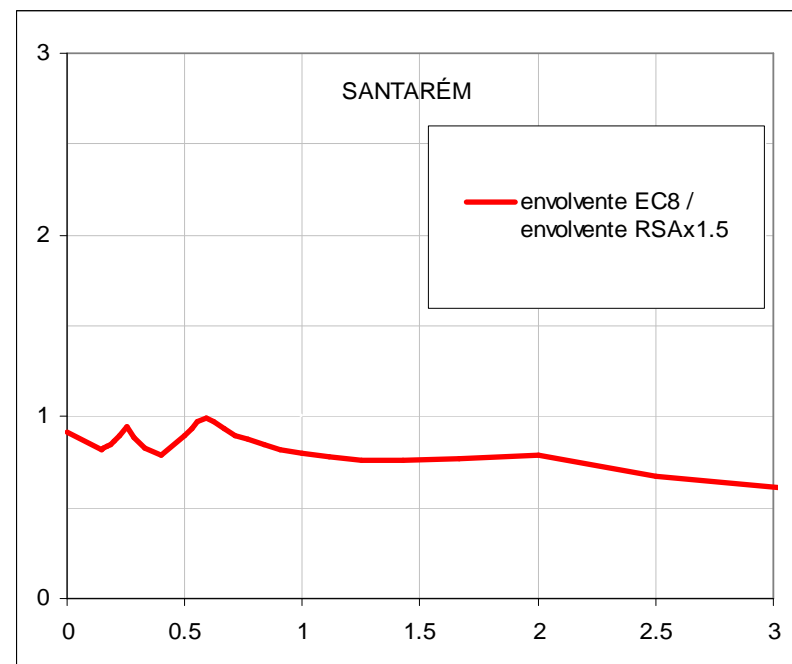
Faro

NP EN1998-1 e RSA majorado

Razão entre envolventes dos espectros de resposta em rocha



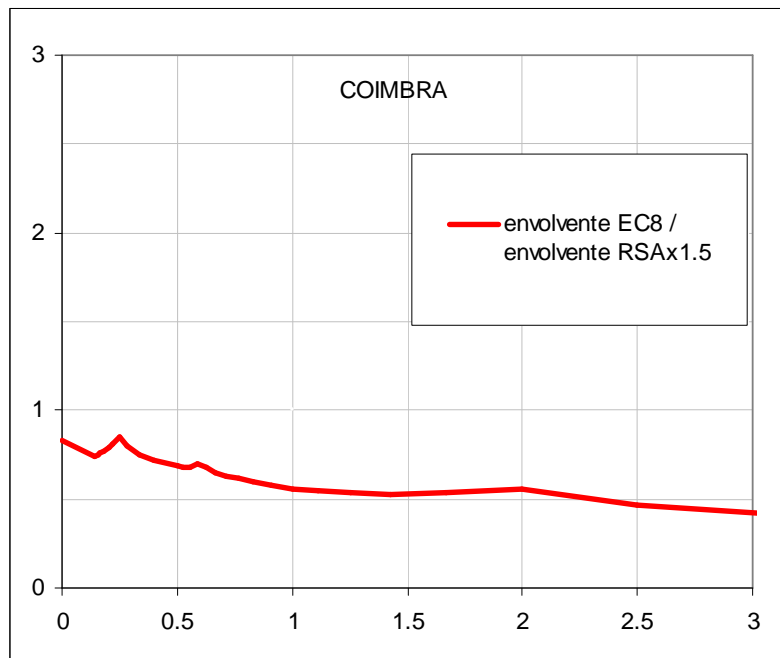
**V.R.S. António,
Sines, Lisboa**



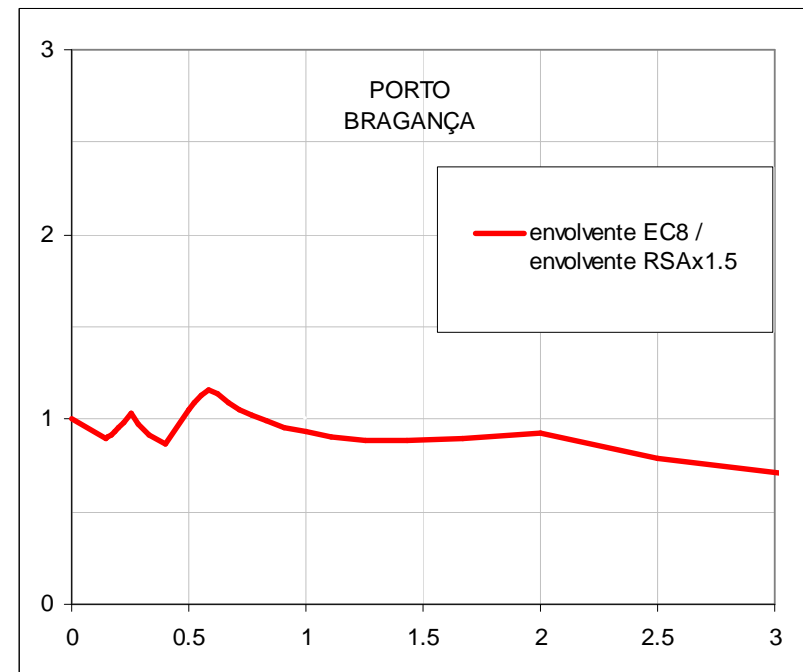
Santarém

NP EN1998-1 e RSA majorado

Razão entre envolventes dos espectros de resposta em rocha



Coimbra



Porto, Bragança

EN 1998-1 – Efeito do terreno

5 tipos de condições de terreno

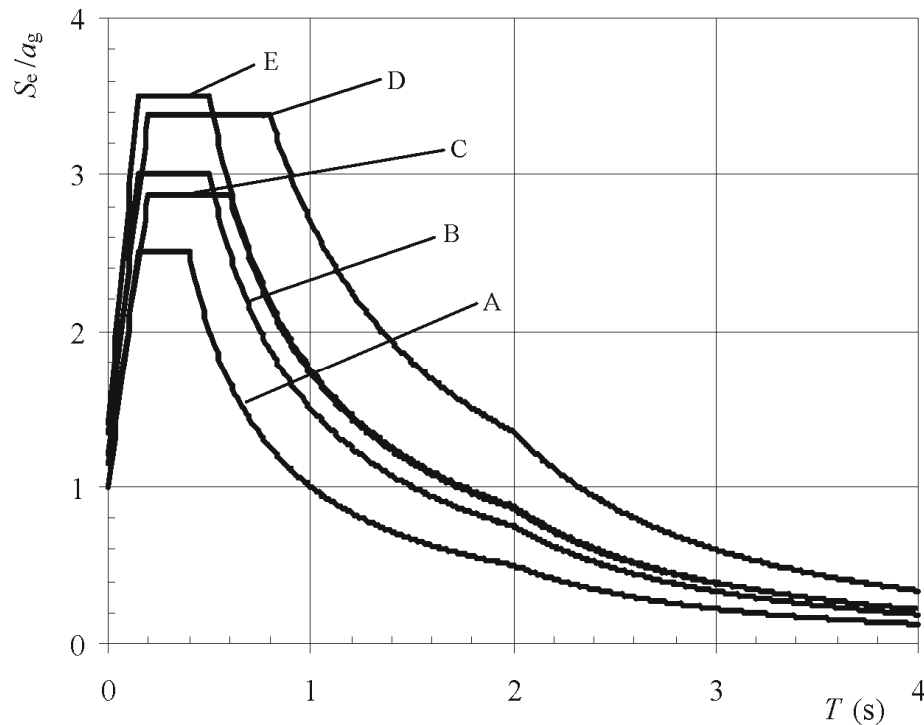
- Rocha (terreno Tipo A)
- Terrenos rijos (terreno Tipo B)
- Solos médios e brandos (terrenos Tipo C e D)
- Formações brandas de pequena espessura (5 a 20m) sobre formações rochosas ou quase rochosas com grande contraste de rigidez (terreno Tipo E).

Classificação dos terrenos não é um Parâmetro de Determinação Nacional mas

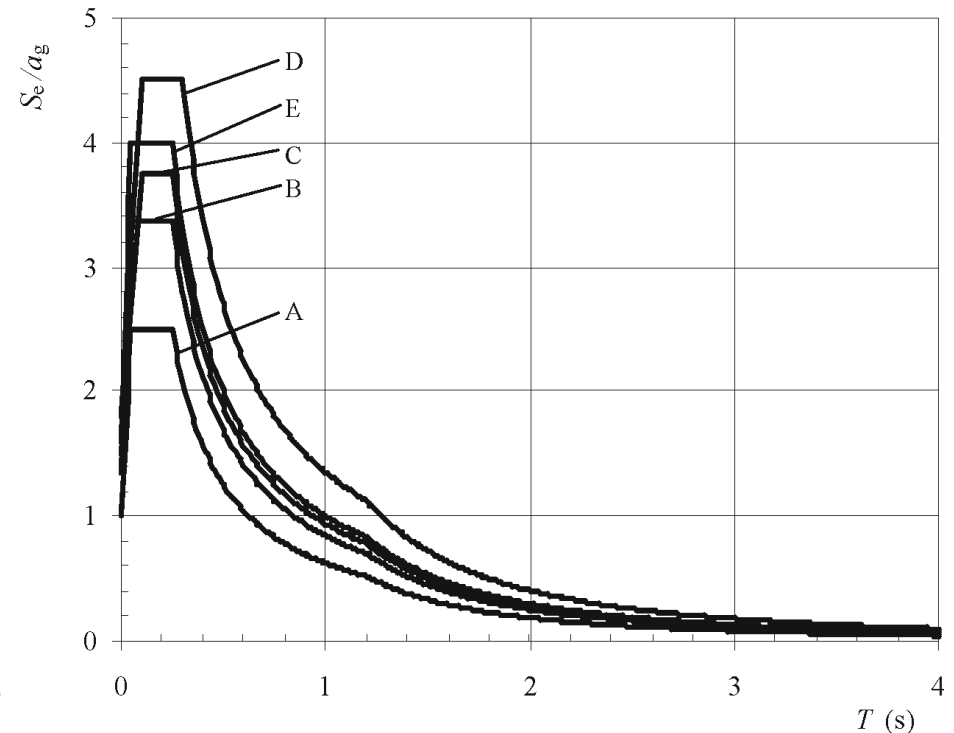
Configuração espectral associada a cada terreno tem o carácter de Parâmetro de Determinação Nacional

Necessidade de informação específica complementar, não contraditória para os terrenos nos Açores

EN 1998-1 – Efeito do terreno



**Espectros de resposta
elásticos do Tipo 1
(5% amortecimento)**



**Espectros de resposta
elásticos do Tipo 2
(5% amortecimento)**

NP EN1998-1 – Efeito do terreno

S dependente da aceleração sísmica

$$a_g \leq 1 \text{ m/s}^2$$

$$S = S_{\max}$$

$$1 \text{ m/s}^2 < a_g < 4 \text{ m/s}^2$$

$$S = S_{\max} - \frac{S_{\max} - 1}{3} (a_g - 1)$$

$$a_g \geq 4 \text{ m/s}^2$$

$$S = 1,0$$

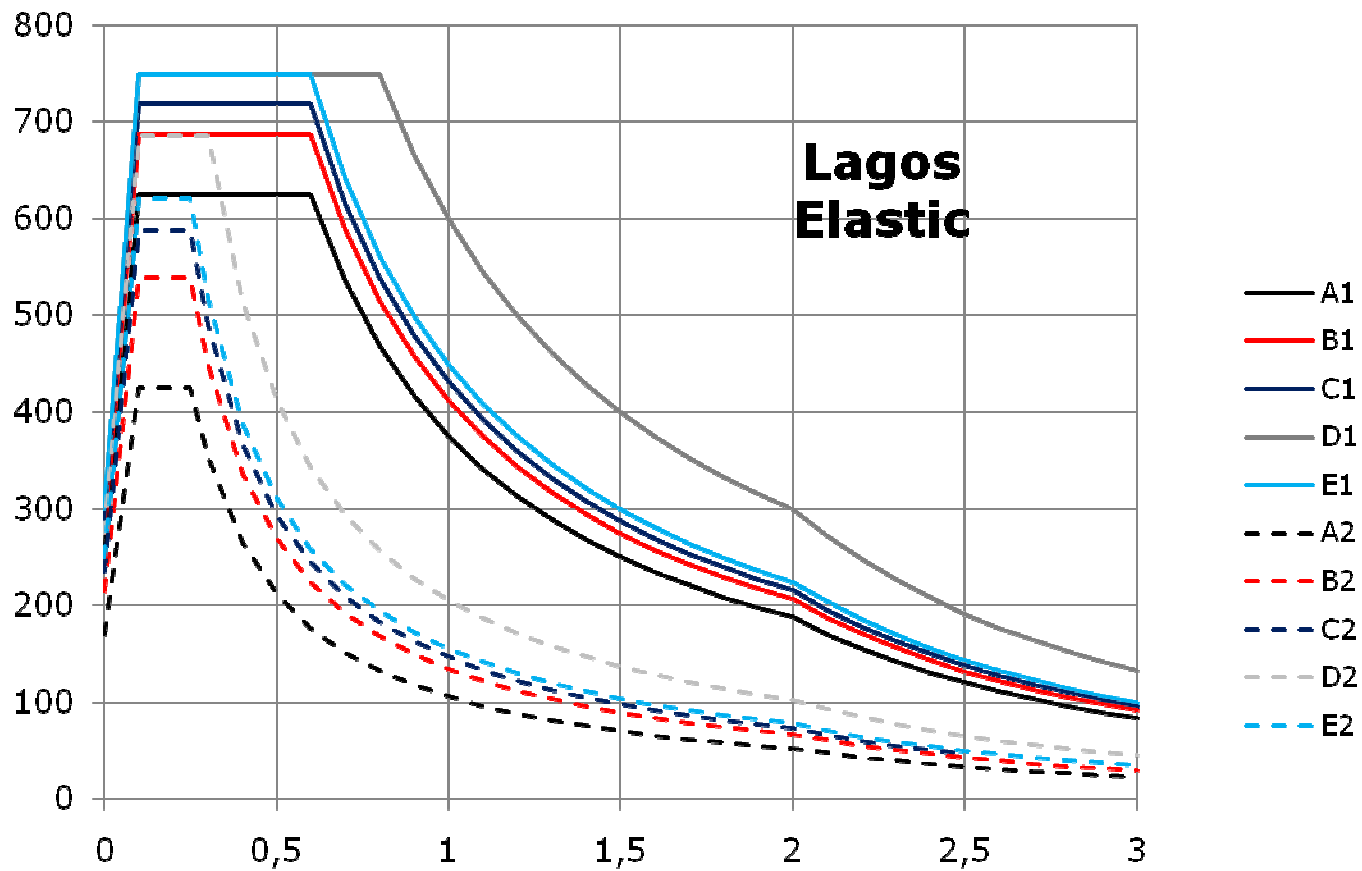
Tipo de Terreno	S_{\max}
A	1,0
B	1,35
C	1,6
D	2,0
E	1,8

NP EN1998-1 – Efeito do terreno

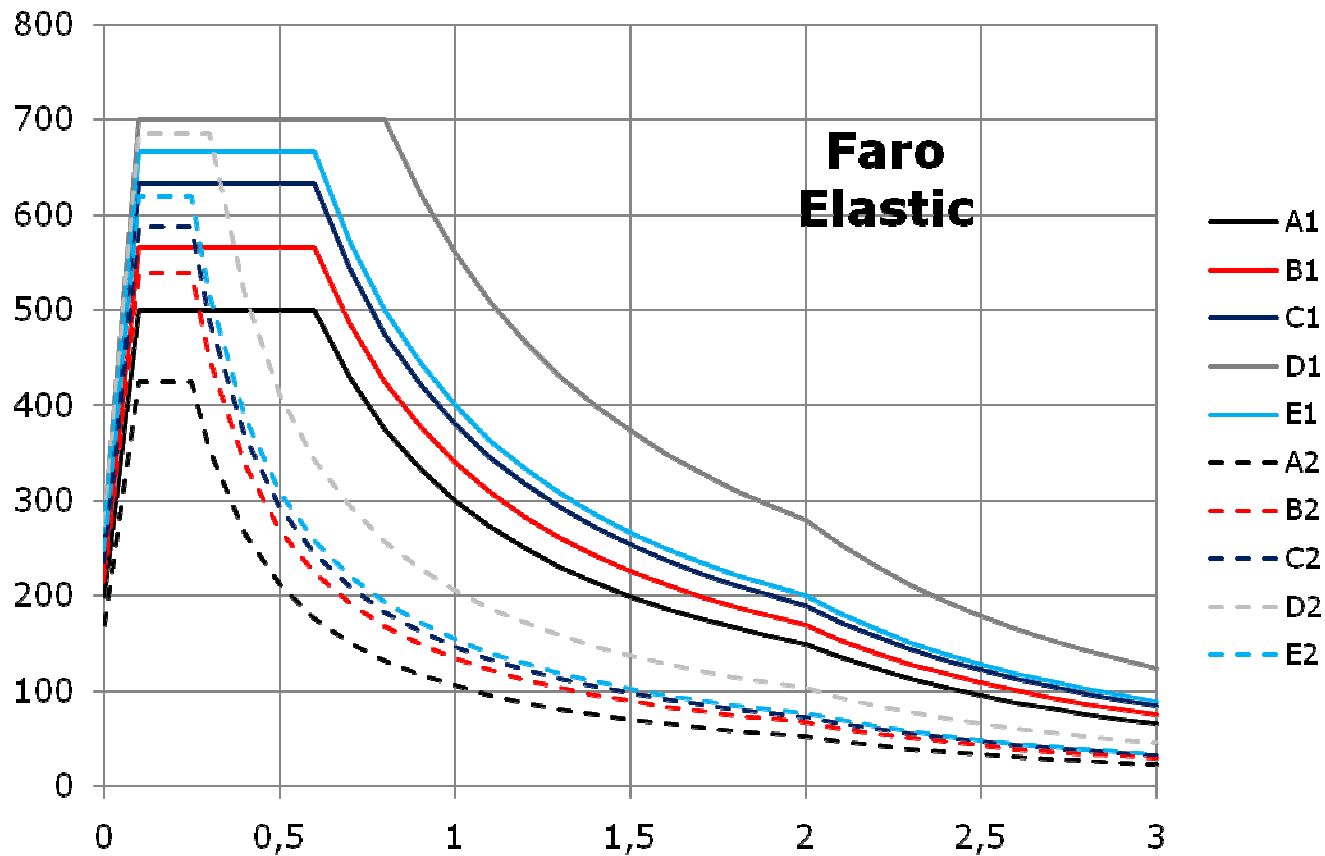
Tipo de terreno	Espectro Tipo 1 (Sismo afastado)								Espectro Tipo 2 (Sismo próximo)			
	Zona 1 (250 cm/s ²)		Zona 2 (200 cm/s ²)		Zona 3 (150 cm/s ²)		Zona 4 a 6 (100/60/35 cm/s ²)		Zona 3 (170 cm/s ²)		Zonas 4 e 5 (110/80 cm/s ²)	
	S	T _C (s)	S	T _C (s)	S	T _C (s)	S	T _C (s)	S	T _C (s)	S	T _C (s)
A	1,0	0,6 (0,4)	1,0	0,6 (0,4)	1,0	0,6 (0,4)	1,0	0,6 (0,4)	1,0	0,25	1,0	0,25
B	1,18 (1,2)	0,6 (0,5)	1,23 (1,2)	0,6 (0,5)	1,29 (1,2)	0,6 (0,5)	1,35 (1,2)	0,6 (0,5)	1,27 (1,35)	0,25	1,35	0,25
C	1,3 (1,15)	0,6	1,4 (1,15)	0,6	1,5 (1,15)	0,6	1,6 (1,15)	0,6	1,46 (1,5)	0,25	1,6 (1,5)	0,25
D	1,5 (1,35)	0,8	1,67 (1,35)	0,8	1,83 (1,35)	0,8	2,0 (1,35)	0,8	1,77 (1,8)	0,3	2,0 (1,8)	0,3
E	1,4	0,6 (0,5)	1,53 (1,4)	0,6 (0,5)	1,67 (1,4)	0,6 (0,5)	1,8 (1,4)	0,6 (0,5)	1,61 (1,6)	0,25	1,8 (1,6)	0,25

() valores recomendados da EN1998-1

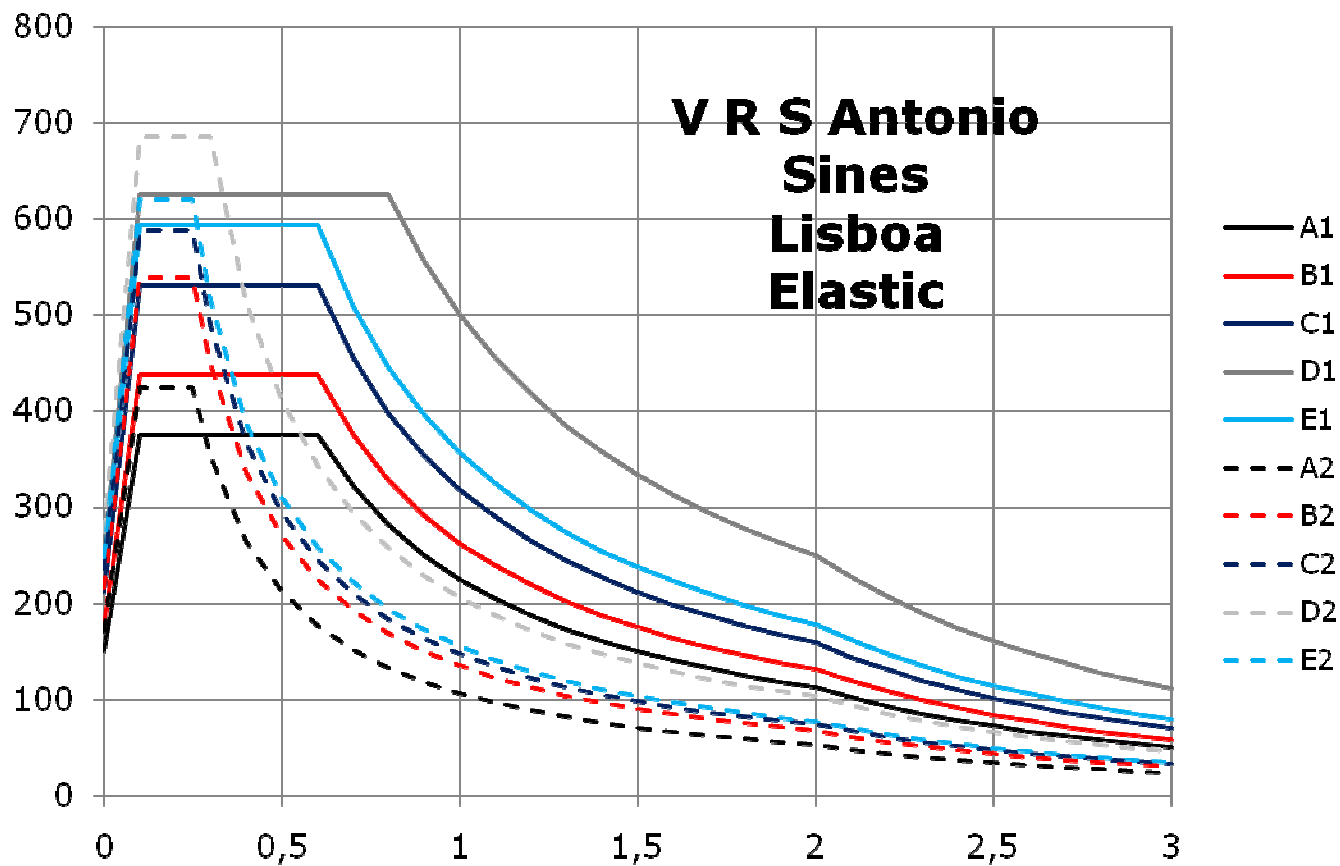
NP EN1998-1 – Efeito do terreno



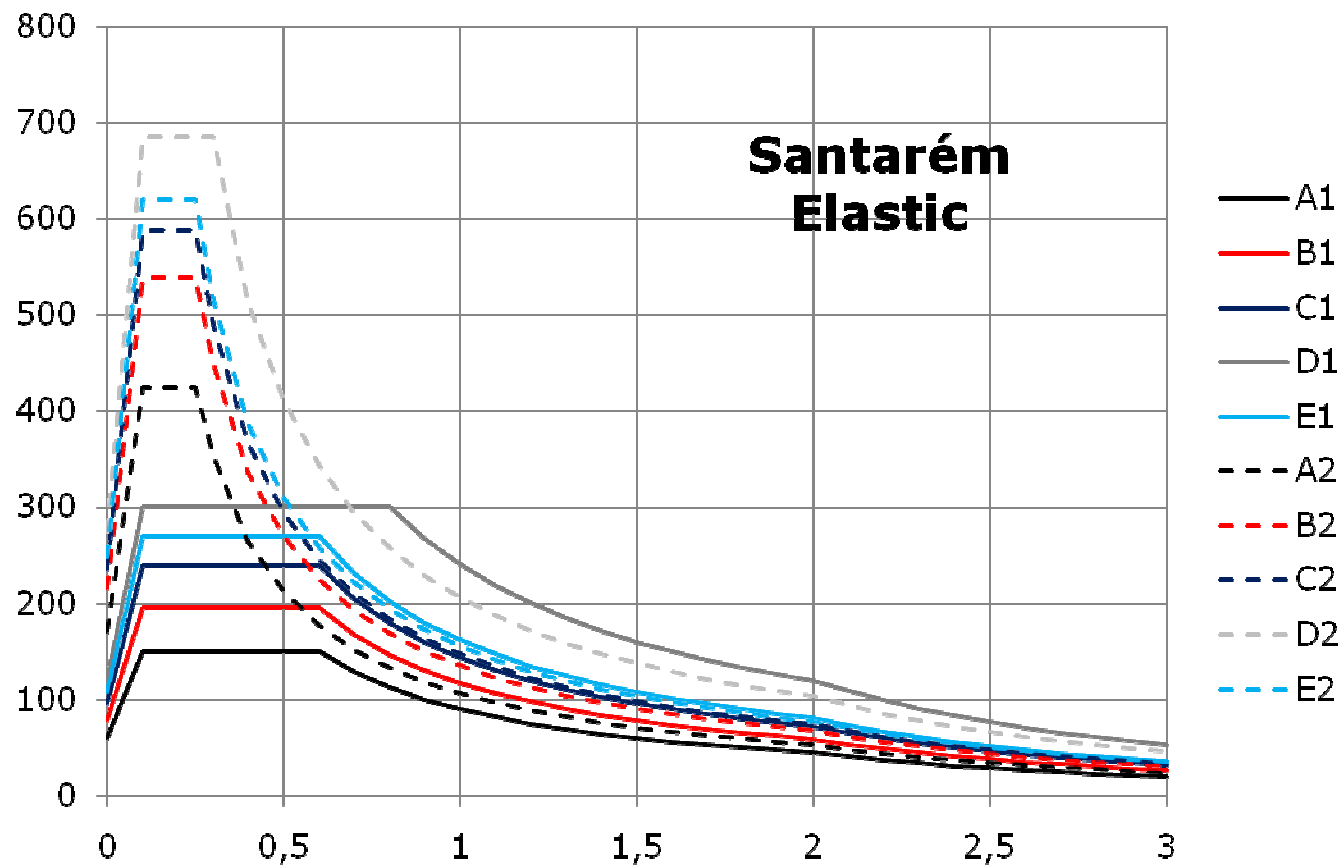
NP EN1998-1 – Efeito do terreno



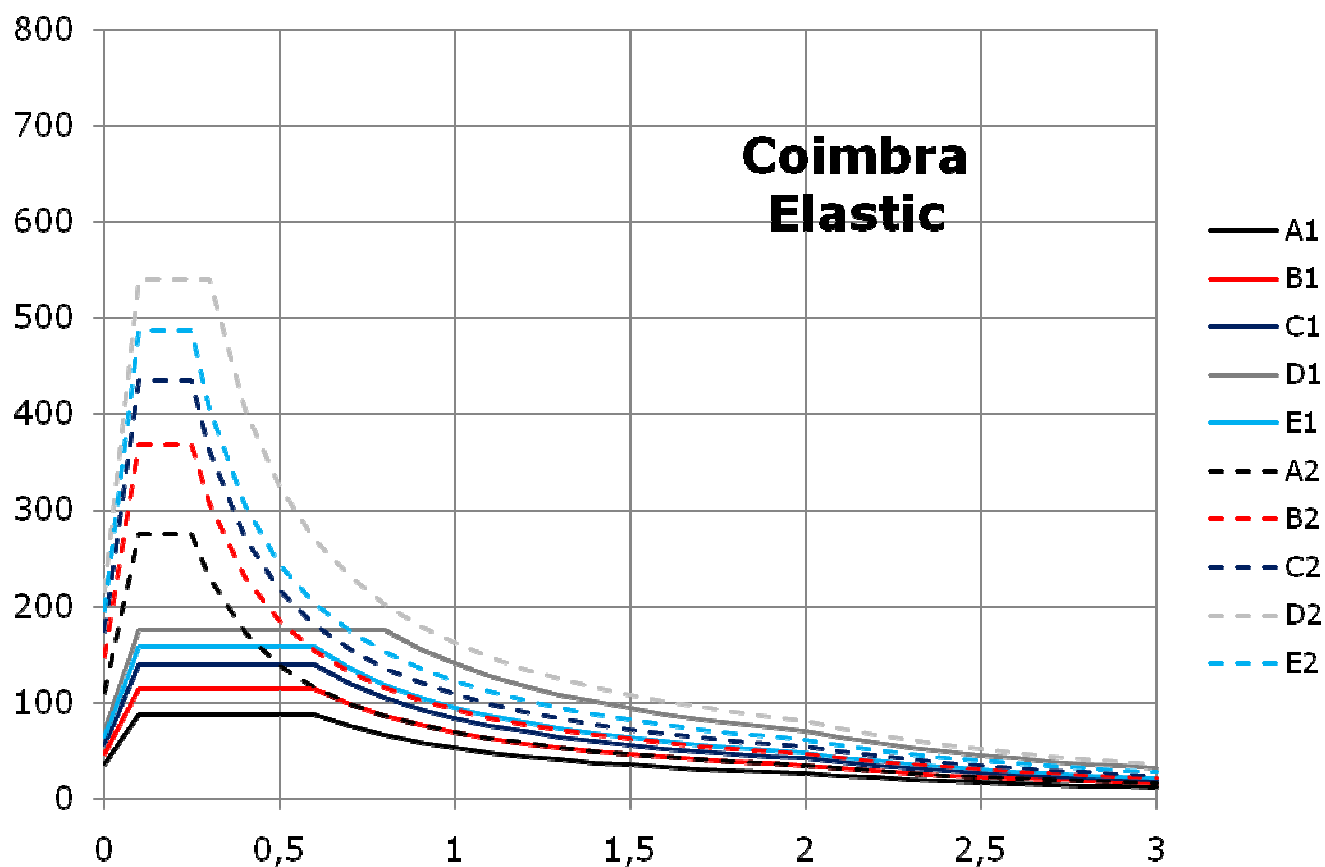
NP EN1998-1 – Efeito do terreno



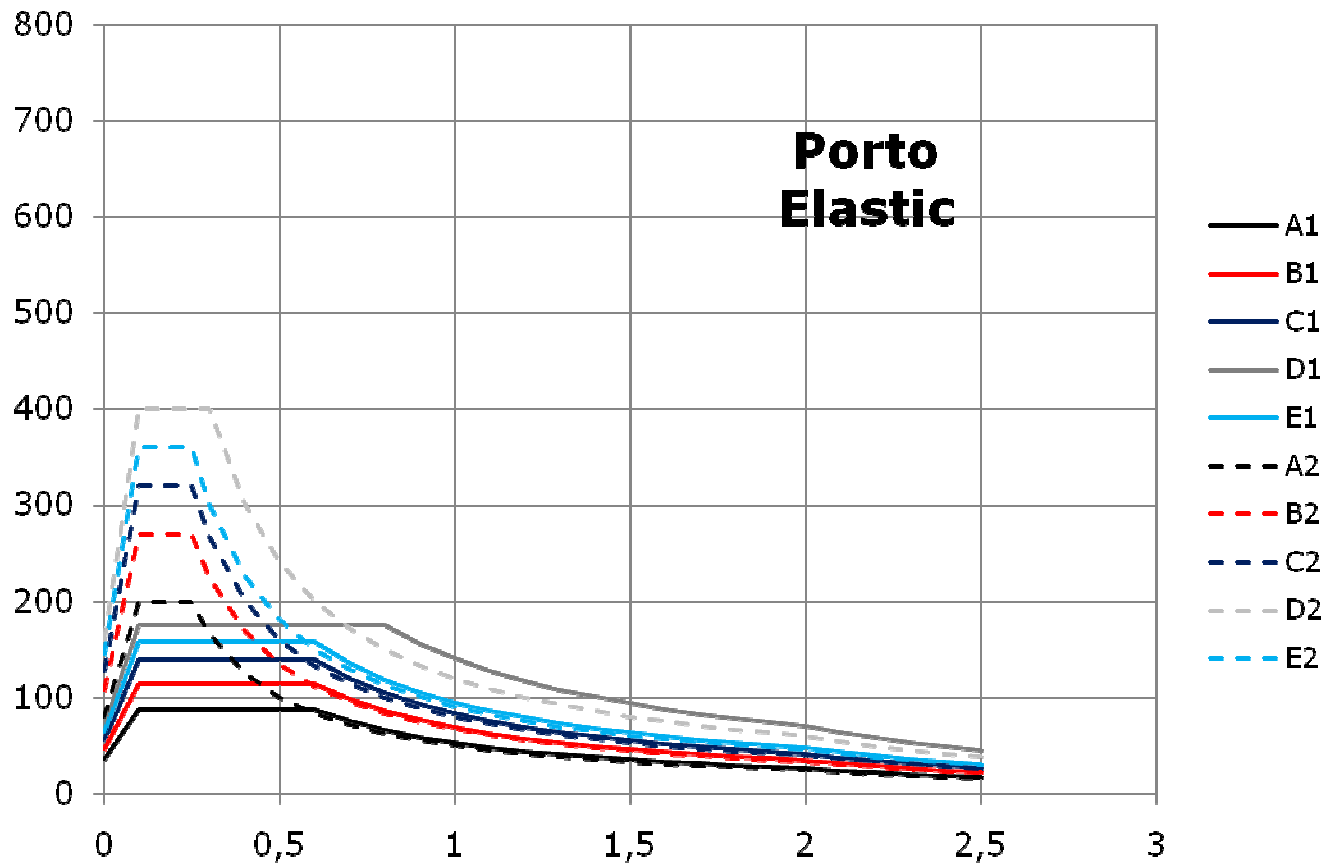
NP EN1998-1 – Efeito do terreno



NP EN1998-1 – Efeito do terreno



NP EN1998-1 – Efeito do terreno



EN1998-1 – Edifícios - Importância da Concepção Estrutural

Definição de princípios orientadores de
concepção de edifícios

- Simplicidade Estrutural
- Uniformidade, simetria e redundância da estrutura
- Resistência e rigidez nas duas direcções
- Resistência e rigidez de torção
- Acção de diafragma ao nível dos pisos
- Fundação adequada

Conceito de elementos sísmicos primários e secundários

EN1998-1 – Irregularidade em planta



EN1998-1 – Irregularidade em altura



EN1998-1 – Efeito da regularidade estrutural nas condições de análise

Regularidade		Simplificações admitidas		Coeficiente de comportamento
Em planta	Em altura	Modelo	Análise elástica linear	(para a análise linear)
Sim	Sim	Plano	Força lateral	Val. de referência
Sim	Não	Plano	Modal	Valor reduzido
Não	Sim	Espacial	Força lateral	Val. de referência
Não	Não	Espacial	Modal	Valor reduzido

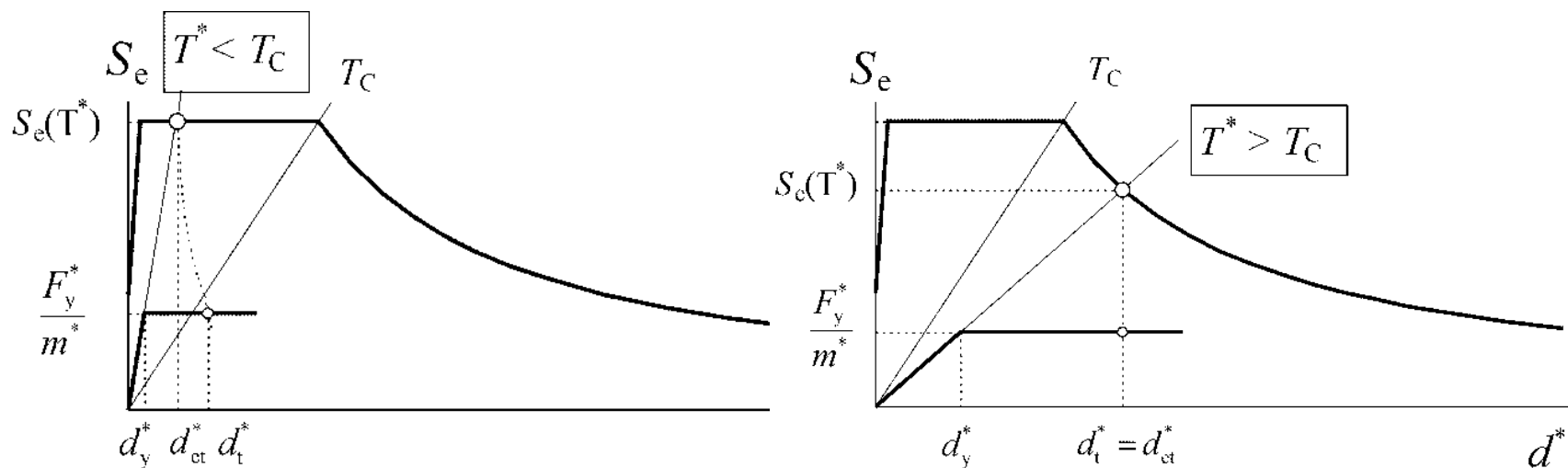
Valor reduzido

EN1998-1 – Métodos de Análise Não Linear

> Modelação estrutural com valores médios das propriedades dos materiais

• Análise estática não linear (*pushover*)

- Carga lateral
- Curva de capacidade
- Deslocamento alvo



EN1998-1 – Métodos de Análise Não Linear (cont.)

- Análise temporal não linear
 - Modelação do comportamento com carregamento cíclico
 - No mínimo 3 acelerogramas compatíveis com o espectro de projecto
 - Avaliação da resposta em termos de deslocamento imposto vs capacidade de deformação
- Efeito da acção
 - Valor mais desfavorável se aplicados 3 a 6 acelerogramas
 - Valor médio se aplicados 7 ou mais acelerogramas

Anexo Nacional limita a 25% o desvio da resistência global horizontal relativamente ao cálculo linear de referência

EN1998-1 – Novos aspectos para o projecto de edifícios

- Análise não linear (estática e dinâmica)
- Análise de elementos não estruturais (equipamentos)
- Efeito dos preenchimentos de alvenaria
- Verificação dos efeitos P- Δ (coeficiente Θ)
- “Capacity design” nas fundações
- Largura de juntas para evitar choque
- Isolamento da base

EN1998-1 – Edifícios de Betão Armado

Tipos de Estruturas

- a) Pортиcadas
- b) Mistas
- c) Paredes dúcteis (acopladas ou não)
- d) Paredes de grandes dimensões fracamente armadas
- e) Pêndulo invertido
- f) Flexível à torção

Alarga a classificação do REBAP

EN1998-1 – Edifícios de Betão Armado

Classes de Ductilidade

- DCL – Classe de Ductilidade Baixa
 - Comportamento essencialmente linear, tendo em conta as sobre-resistências
- DCM – Classe de Ductilidade Média
- DCH – Classe de Ductilidade Alta
 - Comportamento não-linear com capacidade de dissipação histerética de energia sem ocorrência de roturas frágeis

O objectivo das Classes DCM e DCH é o de controlar a resposta sísmica não-linear.

EN1998-1 – Edifícios de Betão Armado

Condições para os materiais nos elementos sísmicos primários

Classe de Ductilidade	DC L	DC M	DC H
Classe do betão	Sem limite	\geq C16/20	\geq C16/20
Classe do aço (EN 1992-1-1)	B ou C	B ou C	C
Varões longitudinais		Nervurados	Nervurados
Sobre-resistência do aço	Sem limite	Sem limite	$f_{yk,0,95} \leq 1,25 f_{yk}$

EN1998-1 – Edifícios de Betão Armado

Coeficientes de comportamento (val. **básico** q_0)

Tipo estrutural	DCM	DCH
Porticado, Misto, Paredes acopladas	$3,0 \alpha_u / \alpha_1$	$4,5 \alpha_u / \alpha_1$
Paredes não acopladas	3,0	$4,0 \alpha_u / \alpha_1$
Flexível à torção	2,0	3,0
Pêndulo invertido	1,5	2,0

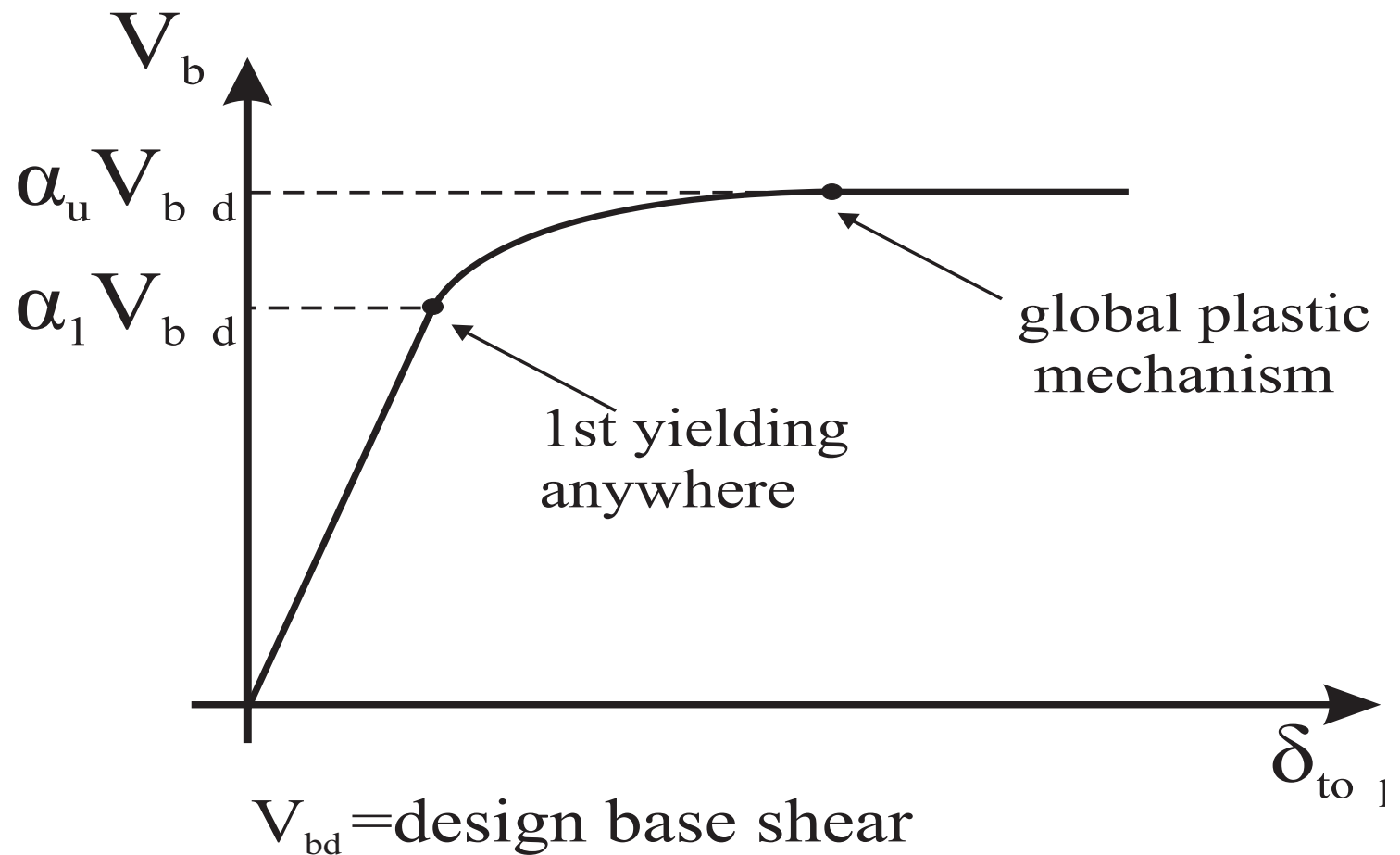
EN1998-1 – Edifícios de Betão Armado

Coeficientes de comportamento (cont.)

- $q = q_0 k_w \geq 1,5$
- $k_w = (1 + \alpha_0) / 3 \leq 1$ (paredes)
 - $\alpha_0 = \sum h_{wi} / \sum l_{wi}$ (esbelteza predominante)
- Em estruturas irregulares reduzir q 20 %
- Efeito da redundância e da sobre-resistência (factor α_u / α_1)

EN1998-1 – Edifícios de Betão Armado

Factor $\alpha_u/\alpha_1 \leq 1,5$



EN1998-1 – Edifícios de Betão Armado

Valores por defeito de α_u/α_1 para edifícios:

Sistemas porticados

- Um só piso: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$
- Vários pisos, um só tramo: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$
- Vários pisos, vários tramos: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,3$

Sistemas de paredes

- Apenas duas paredes não acopladas: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,0$
- Outras paredes não acopladas: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$
- Sistemas mistos e paredes acopladas: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$

EN1998-1 – Edifícios de Betão Armado

Esforços para dimensionamento

DCL – Classe de Ductilidade Baixa

- Dimensionamento de acordo com os esforços resultantes da análise estrutural
- Aplicação genérica do Eurocódigo 2

***Semelhante a REBAP para Ductilidade Normal
mas coeficientes de comportamento menores***

EN1998-1 – Edifícios de Betão Armado

Esforços para dimensionamento

DCM – Classe de Ductilidade Média

- “Capacity Design” para Esforço Transverso em Vigas e Pilares.
- Esforço Transverso em Paredes aumentado 50%.
- Esforço Transverso em Paredes de Grandes Dimensões Fracamente Armadas corrigido em função de q .

Semelhante a REBAP para Ductilidade Melhorada mas coeficientes de comportamento maiores

EN1998-1 – Edifícios de Betão Armado

Esforços para dimensionamento

DCH – Classe de Ductilidade Alta

- “Capacity Design” para Esforço Transverso em Vigas, Pilares, Nós viga-pilar e Paredes.
- Disposições especiais para Paredes compactas
- Não aplicável a Paredes de Grandes Dimensões Fracamente Armadas.

Não tem equivalente no REBAP

EN1998-1 – Edifícios de Betão Armado

Espectros de dimensionamento

Betão Armado, Terreno C, DCL e DCM)

