

APLICAÇÃO DO EC8 AO DIMENSIONAMENTO SÍSMICO DE EDIFÍCIOS DE BETÃO ARMADO

Comparação com a aplicação do RSA/REBAP

LUÍS MANUEL DA SILVA RAMÔA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

Orientador: Professor Doutor Nelson Saraiva Vila Pouca

JULHO DE 2012

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2011/2012

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2011/2012 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Nada se obtém sem esforço; tudo se pode conseguir com ele.

Ralph Waldo Emerson

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, o Professor Doutor Nelson Vila Pouca, por todo o apoio e disponibilidade que demonstrou ao longo do percurso deste trabalho, bem como pela sua amizade e bem-estar.

Aos engenheiros André Monteiro e Luís Macedo, pelas importantes ajudas no decorrer deste trabalho.

A todos os meus colegas do ramo estruturas por todas as discussões de trabalho que fomos tendo ao longo deste ano letivo e por todas as noites de estudo intensivo.

Ao João Ricardo, João Miguel e Nuno Rocha, à Sofia Delfim e à Cátia Santos um grande obrigado pela amizade demonstrada ao longo destes anos.

À Inês França e Diana Lopes um especial obrigado pela constante alegria e boa disposição.

Aos grandes Filipe Almeida e Alexandre Monteiro por todos os bons momentos que me proporcionaram e por tudo o que representam para mim.

À Joana Correia por me conseguir aturar ao longo destes anos e por todo o carinho com que o fez.

Por último, mas mais importante, aos meus pais e irmã que me possibilitaram todas as condições necessárias ao longo do meu percurso académico e que sempre me apoiaram, mesmo nos momentos mais difíceis.

RESUMO

Os eventos sísmicos são fenómenos naturais de difícil previsão pelo que, a sua ação pode envolver maiores riscos à segurança estrutural dos edifícios. Deste modo, surge a necessidade de dimensionar as estruturas do dia-a-dia com especial cuidado nesta área.

A regulamentação nacional já apresenta preocupações respeitantes a esta ação há longos anos, através do Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA) e também do Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado (REBAP). No entanto, nestes regulamentos, a ação sísmica é tratada em conjunto com as restantes ações de projeto e de uma forma muito simplificada.

É neste seguimento que surge o Eurocódigo 8 (EC8), a norma Europeia de projeto de estruturas para a resistência aos sismos. Ao contrário da regulamentação nacional, o EC8 trata a ação sísmica separadamente das restantes ações e, conseqüentemente, com bastante maior detalhe.

Uma vez que esta norma Europeia está prestes a entrar em vigor no nosso país, torna-se de valor estudar este regulamento, de modo a entender as diferenças presentes no mesmo face à regulamentação nacional. Assim, procura-se neste trabalho comparar as referidas regulamentações, estudando ao detalhe alguns aspetos de grande importância no dimensionamento de estruturas de betão armado.

Em primeiro lugar comparam-se os aspetos regulamentares da ação sísmica, para que se entendam as diferenças existentes nos regulamentos em análise, bem como se analisam as características importantes do dimensionamento estrutural de edifícios de betão armado.

Seguidamente realiza-se a comparação dos espectros de resposta elásticos da ação sísmica, em diferentes zonas do território nacional e considerando diferentes condições geotécnicas.

Por último faz-se a confrontação do dimensionamento sísmico de diferentes tipos de edifícios, novamente analisando-os em diferentes zonas sísmicas e diferentes tipos de terreno.

PALAVRAS-CHAVE: RSA, REBAP, EC8, ação sísmica, dimensionamento sísmico

ABSTRACT

Seismic events are natural phenomena difficult to predict, therefore posing great risks to the structural safety of buildings. Consequently, special care must be taken in the structure design process regarding these aspects.

National regulations have approached these concerns for many years, as part of the ‘Regulamento de Segurança para Estruturas de Edifícios e Pontes’ (RSA) as well as the ‘Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado’ (REBAP). In these regulations, however, seismic actions are treated similarly to the other actions and calculated with simplified methods.

These concerns were addressed with the creation of Eurocode 8 (EC8), the European structural design standards for seismic resistance. In opposition to the national regulation, EC8 treats the seismic activity separately from the other actions, therefore allowing greater depth.

Since the European standards will be adopted soon in Portugal, it is important to fully understand them and to know the differences between its methods and the previous national regulations. The present work aims to compare the two regulations, studying the critical aspects of the reinforced concrete structures design in detail.

Firstly, regulatory aspects of the seismic action were compared, in order to understand the differences between the various standards. Important aspects of the structural design of reinforced concrete structures were also analyzed.

Secondly, a comparison was made between the seismic activity elastic response spectra in different zones of the national territory and considering different geotechnical conditions.

Lastly, the seismic design of different types of buildings was compared, again considering different seismic zones and terrain types.

KEYWORDS: RSA, REBAP, EC8, seismic action, design of seismic action

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 ASPETOS GERAIS	1
1.2 OBJETIVOS DA TESE.....	1
1.3 ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	2
2 ENQUADRAMENTO / ASPETOS REGULAMENTARES	3
2.1 ENQUADRAMENTO GERAL.....	3
2.2 ASPETOS REGULAMENTARES, COMPARAÇÃO ENTRE RSA/REBAP E EC8	3
2.2.1 DEFINIÇÃO DA AÇÃO SÍSMICA	3
2.2.1.1 Identificação dos Tipos de Terreno	3
2.2.1.2 Zonas Sísmicas	5
2.2.1.3 Representação da Ação Sísmica.....	6
2.2.1.4 Combinação dos efeitos das componentes da ação sísmica	12
2.2.1.5 Combinação da Ação Sísmica com outras Ações	12
2.2.2 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL	13
2.2.2.1 Princípios Básicos de conceção	13
2.2.2.2 Critérios de regularidade estrutural	14
2.2.2.3 Métodos de análise	14
2.2.2.4 Cálculo de deslocamentos	15
2.2.2.5 Limitação do deslocamento entre pisos.....	15
2.2.2.6 Classes de ductilidade	16
2.2.2.7 Tipos de Estruturas e Coeficientes de Comportamento	16
2.2.2.8 Dimensionamento de paredes para a classe DCM/Ductilidade Melhorada	18
3 AÇÃO SÍSMICA NOS LOCAIS DE ESTUDO.....	29
3.1 INTRODUÇÃO.....	29
3.2 DEFINIÇÃO DA AÇÃO SÍSMICA	29
3.2.1 IDENTIFICAÇÃO DOS TIPOS DE TERRENO	29
3.2.2 ZONAS SÍSMICAS	30
3.2.3 REPRESENTAÇÃO DA AÇÃO SÍSMICA.....	30

3.2.3.1 Porto	32
3.2.3.2 Coimbra	33
3.2.3.3 Santarém	34
3.2.3.4 Lisboa	35
3.2.3.5 Évora	36
3.2.3.6 Portimão	37
4 DIMENSIONAMENTO SÍSMICO DE EDIFÍCIOS	39
4.1 INTRODUÇÃO	39
4.2 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL.....	39
4.2.1 DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA.....	39
4.2.1.1 Estrutura em Pórtico	39
4.2.1.2 Estrutura mista pórtico-parede	41
4.2.2 QUANTIFICAÇÃO DAS AÇÕES.....	42
4.2.2.1 Ações Gravíticas.....	42
4.2.2.2 Ação Sísmica.....	43
4.2.2.3 Verificação de segurança aos estados limites últimos – Combinações consideradas	44
4.2.3 MODELAÇÃO DAS ESTRUTURAS	44
4.2.4 FREQUÊNCIAS DOS MODOS DE VIBRAÇÃO	46
4.3 RESULTADOS	48
4.3.1 PORTO	48
4.3.1.1 Estrutura PT4 – A/I	48
4.3.1.2 Estruturas em Pórtico	55
4.3.1.3 Estruturas Mistas Pórtico-Parede	61
4.3.2 LISBOA	67
4.3.2.1 Estruturas em Pórtico	67
4.3.2.2 Estruturas Mistas Pórtico-Parede	72
4.3.3 PORTIMÃO	78
4.3.3.1 Estruturas em Pórtico	78
4.3.3.2 Estruturas Mistas Pórtico-Parede	84
4.3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
4.4 DIMENSIONAMENTO DE UMA PAREDE DE CONTRAVENTAMENTO	94
4.4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	94
4.4.2 ESFORÇOS MÁXIMOS	96
4.4.3 ARMADURAS NA PAREDE P1	100
4.4.3.1 Armadura Longitudinal	100
4.4.3.2 Armadura Horizontal – Disposição de armadura mínima.....	103

4.4.3.3 Dimensionamento ao esforço transverso.....	104
4.4.3.4 Comparação entre os regulamentos	107
4.4.3.5 Desenhos de Execução	110
5 CONCLUSÕES	113
5.1 CONCLUSÕES GERAIS	113
5.2 PROPOSTAS PARA DESENVOLVIMENTO FUTURO.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Zonas sísmicas de Portugal Continental: a) segundo o EC8; b) segundo o RSA, (EC8,2010) e (RSA, 1983)	6
Figura 2.2 – Espectros de resposta elástica de Tipo 1 para terrenos dos tipos A a E (EC8, 2010)	10
Figura 2.3 – Espectros de resposta elástica de Tipo 2 para terrenos dos tipos A a E (EC8, 2010)	10
Figura 2.4 – Espectro de resposta de sismo próximo, zona A, terreno tipo I (RSA, 1983)	11
Figura 2.5 - Envoltório de cálculo dos momentos flectores em paredes esbeltas (EC8,2010)	19
Figura 2.6 - Envoltório de cálculo dos esforços transversos em sistemas mistos pórtico-parede (EC8,2010)	20
Figura 2.7 - E.E. confinado de uma parede com os bordos livres, (EC8,2010)	22
Figura 2.8 - Espessura mínima dos E.E. confinados	22
Figura 2.9 - Esquema de uma parede segundo o REBAP	25
Figura 3.1 – Espectros de resposta no Porto - Sismo Afastado	32
Figura 3.2 – Espectros de resposta no Porto - Sismo Próximo	32
Figura 3.3 – Espectros de resposta em Coimbra - Sismo Afastado	33
Figura 3.4 – Espectros de resposta em Coimbra - Sismo Próximo	33
Figura 3.5 – Espectros de resposta em Santarém - Sismo Afastado	34
Figura 3.6 – Espectros de resposta em Santarém - Sismo Próximo	34
Figura 3.7 – Espectros de resposta em Lisboa - Sismo Afastado	35
Figura 3.8 – Espectros de resposta em Lisboa - Sismo Próximo	35
Figura 3.9 – Espectros de resposta em Évora - Sismo Afastado	36
Figura 3.10 – Espectros de resposta em Évora - Sismo Próximo	36
Figura 3.11 – Espectros de resposta em Portimão - Sismo Afastado	37
Figura 3.12 – Espectros de resposta em Portimão - Sismo Próximo	37
Figura 4.1 - Planta do edifício analisado	40
Figura 4.2 - Planta do edifício analisado	41
Figura 4.3 - Modelo 3D de um dos edifícios	45
Figura 4.4 - Translação segundo a direcção x, 1º modo de vibração	47
Figura 4.5 - Translação segundo a direcção y, 2º modo de vibração	47
Figura 4.6 - Torção, 3º modo de vibração	47
Figura 4.7 - Espectros de cálculo – Estrutura em Pórtico (Porto, terreno tipo A/I)	49
Figura 4.8 - Deslocamentos máximos por piso, Sismo Afastado	50
Figura 4.9 - Deslocamentos Máximos por piso, Sismo Próximo	51
Figura 4.10 - "Drifts" entre pisos, Sismo Afastado	52
Figura 4.11 - "Drifts" entre pisos, Sismo Afastado	53
Figura 4.12 - Espectros de resposta de cálculo no Porto - estrutura em Pórtico, Sismo Afastado	55
Figura 4.13 - Espectros de resposta de cálculo no Porto - estrutura em Pórtico, Sismo Próximo	56
Figura 4.14 - Espectros de resposta de cálculo no Porto - estrutura Mista, Sismo Afastado	61
Figura 4.15 - Espectros de resposta de cálculo no Porto - estrutura Mista, Sismo Próximo	62
Figura 4.16 - Espectros de resposta de cálculo em Lisboa - estrutura em Pórtico, Sismo Afastado	67
Figura 4.17 - Espectros de resposta de cálculo em Lisboa - estrutura em Pórtico, Sismo Próximo	68
Figura 4.18 - Espectros de resposta de cálculo em Lisboa - estrutura Mista, Sismo Afastado	72
Figura 4.19 - Espectros de resposta de cálculo em Lisboa - estrutura Mista, Sismo Próximo	73
Figura 4.20 - Espectros de resposta de cálculo em Portimão - estrutura em Pórtico, Sismo Afastado	78
Figura 4.21 - Espectros de resposta de cálculo em Portimão - estrutura em Pórtico, Sismo Próximo	79
Figura 4.22 - Espectros de resposta de cálculo em Portimão - estrutura Mista, Sismo Afastado	84
Figura 4.23 - Espectros de resposta de cálculo em Portimão - estrutura Mista, Sismo Próximo	85
Figura 4.24 - Deslocamentos máximos por piso, sismo afastado, direcção x (EC8)	87

Figura 4.25 - Planta Estrutural do edifício EM8 - Parede P1	94
Figura 4.26 - Diagramas dos esforços transversos da parede P1	96
Figura 4.27 - Diagramas dos momentos fletores da parede P1.....	96
Figura 4.28 - Envolvente de cálculo dos Esforços Transversos	98
Figura 4.29 - Envolvente de cálculo dos Momentos Fletores	98
Figura 4.30 - Distribuição de esforços nos P.F./E.E.	100
Figura 4.31 - Armadura Longitudinal e transversal da parede P1 (Base - 2º Piso) - RSA/REBAP	110
Figura 4.32 - Armadura longitudinal e transversal da parede P1 (Base - 2º Piso) - EC8	110
Figura 4.33 - Armadura Longitudinal e transversal da parede P1 (3º Piso - 8º Piso) - RSA/REBAP .	111
Figura 4.34 - Armadura longitudinal e transversal da parede P1 (3º Piso - 8º Piso) - EC8	111

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Tipos de terreno segundo o EC8	4
Quadro 2.2 - Tipos de terreno segundo o RSA.....	5
Quadro 2.3 – Correspondência entre os tipos de terreno segundo o EC8 e o RSA	5
Quadro 2.4 – Aceleração máxima de referência a_{gR} nas diferentes zonas sísmicas – Anexo Nacional	8
Quadro 2.5 – Coeficientes de importância, γ_I – Anexo Nacional	8
Quadro 2.6 – Valores do parâmetro S – Anexo Nacional	9
Quadro 2.7 – Valores dos parâmetros espectrais da ação sísmica Tipo 1 segundo o EC8 – Anexo Nacional.....	9
Quadro 2.8 – Valores dos parâmetros espectrais da ação sísmica Tipo 2 segundo o EC8 – Anexo Nacional.....	9
Quadro 2.9 – Valores do coeficiente de sismicidade, α	11
Quadro 2.10 – Princípios orientadores da conceção de edifícios sujeitos a ações sísmicas.....	13
Quadro 2.11 – Consequências da regularidade estrutural na análise e no cálculo sísmico, segundo o EC8.....	14
Quadro 2.12 - Valor básico do coeficiente de comportamento, q_0	17
Quadro 2.13 - Coeficientes de Comportamento segundo o REBAP	18
Quadro 2.14 - Regras do EC2 e EC8 relativas à armadura vertical de paredes (ELU)	21
Quadro 2.15 - Regras do EC2 e EC8 relativas à armadura transversal de paredes (ELU)	23
Quadro 2.16 - Regras do REBAP relativas à armadura longitudinal de paredes (ELU)	26
Quadro 2.17 - Regras do REBAP relativas à armadura transversal de paredes (ELU)	27
Quadro 3.1 – Zonas sísmicas das diferentes regiões a analisar segundo o EC8 e o RSA	30
Quadro 3.2 – Acelerações máximas das diferentes regiões a analisar segundo o EC8 e o RSA	31
Quadro 4.1 - Dimensões dos elementos estruturais.....	40
Quadro 4.2 - Dimensões dos elementos estruturais.....	42
Quadro 4.3 – Zonas sísmicas das diferentes regiões a analisar segundo o EC8 e o RSA	43
Quadro 4.4 - Coeficientes de Comportamento utilizados nos dois regulamentos	43
Quadro 4.5 - Frequências dos 3 principais modos de vibração.....	46
Quadro 4.6 - Frequências dos primeiros 6 modos de vibração	48
Quadro 4.7 - Acelerações Espectrais	49
Quadro 4.8 - Deslocamentos Máximos por piso, Sismo Afastado.....	50
Quadro 4.9 - Deslocamentos Máximos por piso, Sismo Próximo.....	51
Quadro 4.10 - "Drift" entre pisos, Sismo Afastado	52
Quadro 4.11 - "Drifts" entre pisos, Sismo Próximo	53
Quadro 4.12 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado.....	54
Quadro 4.13 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo.....	54
Quadro 4.14 - Acelerações Espectrais no Porto - estrutura em Pórtico, Sismo Afastado.....	55
Quadro 4.15 - Acelerações Espectrais no Porto - estrutura em Pórtico, Sismo Próximo.....	56
Quadro 4.16 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Afastado	57
Quadro 4.17 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Próximo.....	58
Quadro 4.18 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção x	59
Quadro 4.19 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção y	59
Quadro 4.20 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção x	60
Quadro 4.21 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção y	60
Quadro 4.22 - Acelerações Espectrais no Porto - estrutura Mista, Sismo Afastado	61
Quadro 4.23 - Acelerações Espectrais no Porto - estrutura Mista, Sismo Próximo	62
Quadro 4.24 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Afastado	63
Quadro 4.25 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Próximo.....	64

Quadro 4.26 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção x.....	65
Quadro 4.27 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção y.....	65
Quadro 4.28 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção x.....	66
Quadro 4.29 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção y.....	66
Quadro 4.30 - Acelerações Espectrais em Lisboa - estrutura em Pórtico, Sismo Afastado.....	67
Quadro 4.31 - Acelerações Espectrais em Lisboa - estrutura em Pórtico, Sismo Próximo.....	68
Quadro 4.32 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Afastado.....	69
Quadro 4.33 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Próximo.....	69
Quadro 4.34 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção x.....	70
Quadro 4.35 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção y.....	70
Quadro 4.36 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção x.....	71
Quadro 4.37 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção y.....	71
Quadro 4.38 - Acelerações Espectrais em Lisboa - estrutura Mista, Sismo Afastado	72
Quadro 4.39 - Acelerações Espectrais em Lisboa - estrutura Mista, Sismo Próximo	73
Quadro 4.40 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Afastado.....	74
Quadro 4.41 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Próximo.....	75
Quadro 4.42 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção x.....	76
Quadro 4.43 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção y.....	76
Quadro 4.44 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção x.....	77
Quadro 4.45 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção y.....	77
Quadro 4.46 - Acelerações Espectrais em Portimão - estrutura em Pórtico, Sismo Afastado	78
Quadro 4.47 - Acelerações Espectrais em Portimão - estrutura em Pórtico, Sismo Próximo	79
Quadro 4.48 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Afastado.....	80
Quadro 4.49 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Próximo.....	81
Quadro 4.50 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção x.....	82
Quadro 4.51 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção y.....	82
Quadro 4.52 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção x.....	83
Quadro 4.53 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção y.....	83
Quadro 4.54 - Acelerações Espectrais em Portimão - estrutura Mista, Sismo Afastado.....	84
Quadro 4.55 - Acelerações Espectrais em Portimão - estrutura Mista, Sismo Próximo.....	85
Quadro 4.56 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Afastado.....	86
Quadro 4.57 - Deslocamentos no piso 8 e 9 e correspondente deslocamento entre pisos	87
Quadro 4.58 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Próximo.....	88
Quadro 4.59 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção x.....	89
Quadro 4.60 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção y.....	89
Quadro 4.61 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção x.....	90
Quadro 4.62 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção y.....	90
Quadro 4.63 - Quadro Resumo, terreno tipo A/I	91
Quadro 4.64 - Quadro Resumo, terreno tipo C/II	92
Quadro 4.65 - Combinações Sísmicas consideradas	94
Quadro 4.66 - Esforços Transversos e Momentos Fletores obtidos da análise da parede	97
Quadro 4.67 - Valores de cálculo dos Esforços Transversos e dos Momentos Fletores	99
Quadro 4.68 - Esforços de cálculo nos E.E. da parede segundo o EC8	101
Quadro 4.69 - Armadura Longitudinal da parede P1 - EC8	101
Quadro 4.70 - Esforços de cálculo nos P.F. da parede segundo o REBAP	102
Quadro 4.71 - Armadura Longitudinal da parede P1 - REBAP	102
Quadro 4.72 - Armadura Horizontal por face - EC8	103
Quadro 4.73 - Armadura Horizontal por face - REBAP.....	103
Quadro 4.74 - Verificação ao esforço transversal não sendo requerida armadura de esforço transversal	104

Quadro 4.75 - Verificação ao esforço transversal sendo requerida armadura de esforço transversal	104
Quadro 4.76 - Definição da armadura de esforço transversal nos E.E. - EC8.....	105
Quadro 4.77 - Verificação ao esforço transversal (armadura mínima) - REBAP	105
Quadro 4.78 - Verificação ao esforço transversal - REBAP	105
Quadro 4.79 - Definição da armadura de esforço transversal - REBAP	106
Quadro 4.80 - Definição da armadura de esforço transversal nos P.F. - REBAP.....	106
Quadro 4.81 - Esforços axiais e momentos flectores de cálculo.....	107
Quadro 4.82 - Força de tração aplicada ao P.F./E.E. e correspondente armadura	107
Quadro 4.83 - Soluções de armadura longitudinal adotadas na secção total da parede	108
Quadro 4.84 - Soluções de armadura horizontal adotadas	108
Quadro 4.85 - Esforço transversal atuante e resistente	109
Quadro 4.86 - Soluções de armadura transversal adotadas	109

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

A_c – Área da secção da parede

$A_{c'}$ – Área da secção da parede compreendida entre os pilares fictícios

A_{cp} – Área da secção do pilar fictício

A_{Ed} – Valor de cálculo da ação sísmica

a_g – Valor de cálculo da aceleração à superfície para um terreno do tipo A

a_{gR} – Valor de referência da aceleração máxima à superfície de um terreno tipo A

b_c – Largura da parede

b_{min} – Menor dimensão da secção do pilar

b_o – Largura da zona confinada do E.E.

b_{w0} – Espessura da alma

c_u – Coesão não drenada do solo

d_e – Deslocamento do mesmo ponto do sistema estrutural, determinado por uma análise linear baseada no espectro de resposta de cálculo

d_r – Valor de cálculo do deslocamento relativo entre pisos

d_s – Deslocamento de um ponto do sistema estrutural devido à ação sísmica de cálculo

e_{parede} – Espessura da parede

f_{cd} – Valor de cálculo da tensão de rotura á compressão do betão

$G_{k,j}$ – Valor característico da ação permanente j

h_s – Altura livre entre pisos

h_w – Altura da parede

k_w – Coeficiente que reflete o modo de rotura predominante nos sistemas estruturais de paredes

l_w – Comprimento da secção transversal da parede

M_{Rd} – Valor de cálculo do momento resistente da secção

M_{Sd} – Valor de cálculo do momento atuante na secção

N_{sd} – Valor de cálculo do esforço normal correspondente à combinação de ações em que intervém a ação sísmica

N_{SPT} – Número de pancadas do ensaio SPT

P – Valor representativo de uma ação de pré-esforço

q – Coeficiente de comportamento

q_0 – Valor básico do coeficiente de comportamento, função do tipo de estrutura e da sua regularidade em altura

q_d – Coeficiente de comportamento em deslocamento, que se admite ser igual a q , salvo indicação em contrário

$Q_{K,i}$ – Valor característico da ação variável acompanhante i

S – Coeficiente de solo

$S_d(T)$ – Espectro de resposta de cálculo

$S_e(T)$ – Espectro de resposta elástica

S_{EK} – Esforço resultante de uma ação sísmica, tomada com o seu valor característico

S_{Gik} – Esforço resultante de uma ação permanente, tomada com o seu valor característico

S_{Qjk} – Esforço resultante de uma ação variável distinta da ação base, tomada com o seu valor característico

T – Período de vibração de um sistema linear com um grau de liberdade

T_B – Limite inferior do período no patamar de aceleração espectral constante

T_C – Limite superior do período no patamar de aceleração espectral constante

T_D – Valor que define no espectro o início do ramo de deslocamento constante

V_{Ed} – Valor de cálculo do esforço transversal

α – Coeficiente de eficácia do confinamento

α_1 – Valor pelo qual a ação sísmica horizontal de cálculo é multiplicada para ser atingida pela primeira vez a resistência à flexão em qualquer elemento da estrutura, mantendo-se constantes todas as outras ações de cálculo

α_u – Valor pelo qual a ação sísmica horizontal de cálculo é multiplicada para formar rótulas plásticas num número de secções suficiente para provocar a instabilidade global da estrutura, mantendo-se constantes todas as outras ações de cálculo

β – Coeficiente correspondente ao limite inferior do espectro de cálculo horizontal

γ_q – Coeficiente de segurança relativo às ações variáveis

ϵ_c – Extensão de compressão do betão

η – Coeficiente de correção do amortecimento, com o valor de referência

λ – Coeficiente de esbelteza

μ_ϕ – Fator de ductilidade em curvatura

ν – Coeficiente de redução que tem em conta o mais baixo período de retorno da ação sísmica associada ao requisito de limitação de danos

ν_d – Esforço normal reduzido

$\nu_{s,30}$ – Velocidade média das ondas de corte nos 30 m superficiais do perfil do solo

ϕ_l – Diâmetro dos varões longitudinais

$\phi_{l,min}$ – Menor diâmetro dos varões da armadura longitudinal

ϕ_t – Diâmetro dos varões transversais

$\phi_{v,min}$ – Diâmetro mínimo dos varões verticais

Ψ_2 – Coeficiente para a determinação do valor quase-permanente de uma ação variável

Ψ_{2j} – Coeficiente correspondente à ação variável de ordem j

ω_v – Taxa mecânica das armaduras verticais da alma da parede

ω_{wd} – Taxa mecânica volumétrica de cintas nas zonas críticas

AS1X – Combinação sísmica da ação sísmica tipo 1, predominantemente na direção x

AS1Y – Combinação sísmica da ação sísmica tipo 1, predominantemente na direção y

AS2X – Combinação sísmica da ação sísmica tipo 2, predominantemente na direção x

AS2Y – Combinação sísmica da ação sísmica tipo 2, predominantemente na direção y

EC1 - Eurocódigo 1

EC8 – Eurocódigo 8

EE – Elementos de Extremidade (boundary elements)

EK1X – Componente da ação sísmica tipo 1, na direção x

EK1Y – Componente da ação sísmica tipo 1, na direção y

EK2X – Componente da ação sísmica tipo 2, na direção x

EK2Y – Componente da ação sísmica tipo 2, na direção y

ELU – Estado Limite Último

EM8 – Estrutura Mista Pórtico-Parede de 8 pisos

EM16 – Estrutura Mista Pórtico-Parede de 16 pisos

P.F. – Pilares Fictícios

PP – Peso próprio da estrutura

PT4 – Estrutura em Pórtico de 4 pisos

PT8 – Estrutura em Pórtico de 8 pisos

RCP – Restantes cargas permanentes

REBAP – Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado

RSA – Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes

SC – Sobrecarga no piso

1

INTRODUÇÃO

1.1 ASPETOS GERAIS

Os eventos sísmicos são fenómenos naturais de difícil previsão pelo que se torna necessário que os edifícios estejam preparados para resistirem a estes eventos sísmicos assegurando que, por um lado, as vidas humanas estão protegidas e que, por outro, os danos nesses edifícios sejam limitados para que seja economicamente viável a sua recuperação.

A regulamentação portuguesa, Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA), apresenta preocupações e condicionantes relativamente ao dimensionamento sísmico, apesar de tratar estas ações conjuntamente com as restantes ações do projeto de um edifício.

Mais recentemente, surge a regulamentação a nível europeu, o Eurocódigo 8 (EC8), que vem tratar estes problemas de uma forma muito específica e detalhada. Esta nova regulamentação, prestes a entrar em vigor, vem assegurar que as preocupações referidas anteriormente são acauteladas, juntando ainda o cuidado de que as estruturas importantes para a proteção civil se mantenham operacionais.

1.2 OBJETIVOS DA TESE

Este trabalho procurou evidenciar as diferenças existentes entre o regulamento nacional, RSA, e o regulamento europeu, EC8, no que diz respeito à análise sísmica do território nacional. Objetivos similares já foram alvo de estudo em trabalhos anteriores, nomeadamente em (Lopes 2007) e (Romãozinho 2008). No entanto, nos referidos trabalhos, a versão da Norma Europeia (EC8) utilizada foi alvo de atualização mais recentemente, tornando desde logo esses trabalhos distintos do realizado.

Neste trabalho foram realizadas duas análises distintas. Inicialmente foi alvo de análise a ação sísmica propriamente dita, onde foram comparados diferentes espectros de resposta elásticos dos dois regulamentos. Os referidos espectros variaram quer em zona sísmica quer em tipo de terreno a considerar, para que fosse possível obter um panorama geral da comparação da ação sísmica no território continental estabelecida pelos dois regulamentos. Seguidamente procedeu-se à análise da ação sísmica aplicada a 4 estruturas distintas. As estruturas analisadas são relativamente simples (estruturas idealizadas) para que se possam obter conclusões passíveis de serem transportadas para outro tipo de estruturas, com menor simplicidade e com maior ligação aos projetos de edifícios concretos.

Por fim procedeu-se ao dimensionamento de uma parede de contraventamento de uma das estruturas. O referido dimensionamento foi realizado segundo os dois regulamentos tendo-se, posteriormente, realizado a comparação relativamente à quantidade de armadura utilizada e detalhe das correspondentes armaduras.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA TESE

Esta tese está dividida em cinco capítulos.

Este Capítulo 1 é referente à introdução da tese, onde são explanados os aspetos gerais e objetivos da tese, além deste subcapítulo em que se explica a organização do trabalho.

No Capítulo 2 realiza-se um enquadramento geral deste trabalho bem como a descrição dos aspetos regulamentares mais relevantes referentes à ação sísmica e ao dimensionamento de estruturas para a referida ação.

No Capítulo 3 são analisados os espectros de resposta da ação sísmica em diferentes zonas do território nacional e é feita a comparação entre os dois regulamentos em estudo.

Seguidamente, no Capítulo 4 são abordadas 4 tipologias de edifícios, com o intuito de comparar os resultados obtidos no seu dimensionamento, de acordo quer com o RSA quer com o EC8. No final deste Capítulo 4 realizou-se ainda o dimensionamento de uma parede resistente e efetuou-se a respetiva comparação de resultados, entre os regulamentos em estudo.

Por fim, no Capítulo 5, apresentam-se as conclusões finais deste trabalho.

2

ENQUADRAMENTO / ASPETOS REGULAMENTARES

2.1 ENQUADRAMENTO GERAL

A inclusão da regulamentação europeia nos projetos sísmicos em Portugal veio introduzir alterações significativas nesses projetos, quer ao nível da ação quer ao nível das disposições construtivas dos edifícios de betão armado. Torna-se portanto importante compreender as referidas alterações e, quando possível, quantificá-las.

Deste modo, numa primeira fase efetuou-se uma análise comparativa da ação sísmica em diferentes zonas do território nacional para que fosse possível ter um panorama geral das diferenças entre os regulamentos no território nacional.

Numa segunda fase deste trabalho procedeu-se à avaliação dos efeitos da ação sísmica de estruturas simples e regulares de forma a obter-se conclusões que possam ser transferidas para outro tipo de estruturas, com maior complexidade.

Anteriormente às referidas análises serão expostos, neste capítulo, os aspetos regulamentares do projeto sísmico de estruturas segundo ambos os regulamentos.

2.2 ASPETOS REGULAMENTARES, COMPARAÇÃO ENTRE RSA/REBAP E EC8

2.2.1 DEFINIÇÃO DA AÇÃO SÍSMICA

2.2.1.1 Identificação dos Tipos de Terreno

Para ter em conta a influência das condições locais do terreno na ação sísmica são considerados diferentes tipos de terreno, como se apresentam nos seguintes quadros.

Quadro 2.1 – Tipos de terreno segundo o EC8

Tipo de terreno	Descrição do perfil estratigráfico	$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (pancadas/30cm)	c_u (kPa)
A	Rocha ou outra formação geológica de tipo rochoso, que inclua, no máximo, 5 m de material mais fraco à superfície	>800	-	-
B	Depósitos de areia muito compacta, de seixo (cascalho) ou de argila muito rija, com uma espessura de, pelo menos, várias dezenas de metros, caracterizados por um aumento gradual das propriedades mecânicas com a profundidade	360-800	>50	>250
C	Depósitos profundos de areia compacta ou medianamente compacta, de seixo (cascalho) ou de argila rija com uma espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros	180-360	15-50	70-250
D	Depósito de solos não coesivos de compacidade baixa a média (com ou sem alguns estratos de solos coesivos moles), ou de solos predominantemente coesivos de consistência mole a dura	<180	<15	<70
E	Perfil de solo com um estrato aluvionar superficial com valores de v_s do tipo C ou D e uma espessura entre cerca de 5 m e 20 m, situado sobre um estrato mais rígido com $v_s > 800$ m/s			
S_1	Depósitos constituídos ou contendo um estrato com pelo menos 10 m de espessura de argilas ou siltes moles com um elevado índice de plasticidade ($PI > 40$) e um elevado teor em água	<100 (indicativo)	-	10-20
S_2	Depósitos de solos com potencial de liquefação, de argilas sensíveis ou qualquer outro perfil de terreno não incluído nos tipos A - E ou S_1			

Em que:

$v_{s,30}$ – Velocidade média das ondas de corte nos 30 m superficiais do perfil do solo

N_{SPT} – Número de pancadas do ensaio SPT

c_u – Coesão não drenada do solo

Quadro 2.2 - Tipos de terreno segundo o RSA

Tipo de terreno	Natureza do solo
I	Rochas e solos coerentes rijos
II	Solos coerentes muito duros, duros e de consistência média; Solos incoerentes compactos
III	Solos coerentes moles e muito moles; Solos incoerentes soltos

Após uma análise cuidada dos Quadros 2.1 e 2.2 verifica-se que o EC8 apresenta um rigor bastante superior face ao RSA, visto considerar 7 diferentes tipos de terreno, contrariamente aos 3 tipos de terreno indicados pelo RSA. Para que melhor se entenda a referida diferença de rigor, apresenta-se no Quadro 2.3 a correspondência entre os tipos de terreno definidos nos dois regulamentos.

Quadro 2.3 – Correspondência entre os tipos de terreno segundo o EC8 e o RSA

EC8	RSA
Tipo de terreno	Tipo de terreno
A	I
B	
C	II
D	III
E	
S ₁	-
S ₂	

Este aumento de rigor e sensibilidade é uma alteração importante proposta pelo EC8 visto que a natureza do solo a analisar tem uma influência importante na ação sísmica.

2.2.1.2 Zonas Sísmicas

Para a quantificação da ação sísmica considera-se o território nacional dividido em diferentes zonas sísmicas. Esta divisão é efetuada de maneira distinta nos dois regulamentos, como se pode verificar pela comparação dos mapas de zonamento apresentados na Figura 2.1.

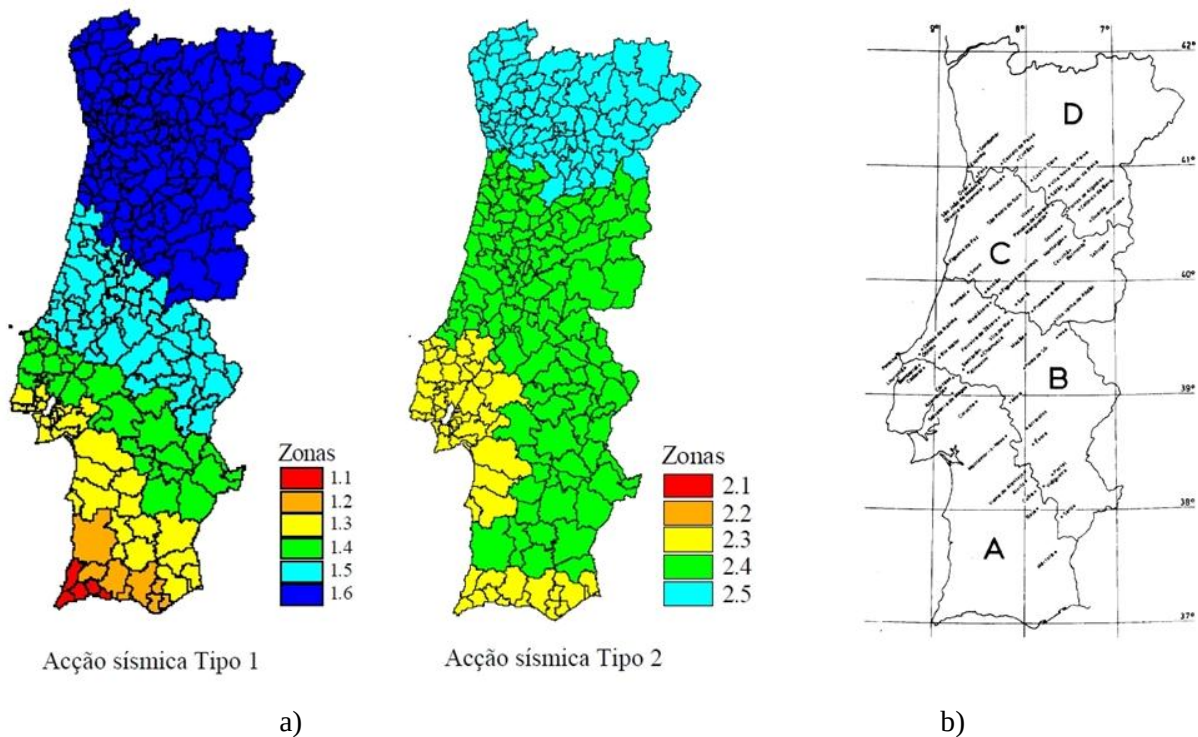


Figura 2.1 – Zonas sísmicas de Portugal Continental: a) segundo o EC8; b) segundo o RSA, (EC8,2010) e (RSA, 1983)

Analisando a figura anterior verifica-se que o EC8 efetua uma divisão do território nacional mais detalhada, comparativamente com o RSA. Nesse regulamento são recomendados dois zonamentos distintos, consoante a ação sísmica a considerar, tipo 1 (Afastada) ou tipo 2 (Próxima). A definição das diferentes zonas é efetuada por intermédio de uma escala numérica de 1 a 6 na ação sísmica tipo 1 e de 1 a 5 na ação sísmica tipo 2, sendo as zonas designadas com 1 as de maior sismicidade. Já segundo o RSA o território nacional está dividido em 4 zonas que, por ordem decrescente de sismicidade, são designadas por A, B, C e D independentemente do tipo de ação sísmica a analisar.

2.2.1.3 Representação da Ação Sísmica

A ação sísmica pode ser traduzida, em ambos os regulamentos, por espectros de resposta de aceleração, definidos para cada zona sísmica tendo em conta vários aspetos, nomeadamente, tipo de ação sísmica, tipo de terreno e amortecimento.

O EC8 define dois tipos de ação sísmica em função da proximidade do epicentro do sismo ao território nacional. Assim, a ação sísmica tipo 1 corresponde a um cenário designado de “afastado” que geralmente se refere aos sismos com epicentro na região Atlântica e a ação sísmica tipo 2 corresponde a um cenário designado de “próximo” referente aos sismos com epicentro no território Continental ou no Arquipélago dos Açores.

Para as componentes horizontais da ação sísmica e para os dois tipos de ação sísmica referidos anteriormente, o espectro de resposta elástica, $S_e(T)$, é definido pelas seguintes expressões:

$$0 \leq T \leq T_B: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right] \quad (2.1)$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \quad (2.2)$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C}{T} \right] \quad (2.3)$$

$$T_D \leq T \leq 4s: S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \quad (2.4)$$

O espectro de cálculo, $S_d(T)$, é definido, para as mesmas componentes horizontais, pelas seguintes expressões:

$$0 \leq T \leq T_B: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (2.5)$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \quad (2.6)$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (2.7)$$

$$T_D \leq T: S_d(T) = \begin{cases} a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (2.8)$$

Em que:

$S_e(T)$ – Espectro de resposta elástica;

$S_d(T)$ – Espectro de resposta de cálculo;

T – Período de vibração de um sistema linear com um grau de liberdade;

a_g – Valor de cálculo da aceleração à superfície para um terreno do tipo A;

T_B – Limite inferior do período no patamar de aceleração espectral constante;

T_C – Limite superior do período no patamar de aceleração espectral constante;

T_D – Valor que define no espectro o início do ramo de deslocamento constante;

S – Coeficiente de solo;

η – Coeficiente de correção do amortecimento, com o valor de referência $\eta = 1$ para 5% de amortecimento viscoso;

q – Coeficiente de comportamento;

β – Coeficiente correspondente ao limite inferior do espectro de cálculo horizontal.

O valor da aceleração à superfície para um terreno do tipo A, a_g , é obtido pela multiplicação da aceleração máxima de referência, a_{gR} , pelo coeficiente de importância sísmica, γ_I tal como indicado na expressão (2.9) que a seguir se apresenta.

$$a_g = a_{gR} \times \gamma_I \quad (2.9)$$

O valor de a_{gR} está definido no Anexo Nacional em função da zona e do tipo de ação sísmica em análise tal como a seguir se apresenta.

Quadro 2.4 – Aceleração máxima de referência a_{gR} nas diferentes zonas sísmicas – Anexo Nacional

Ação Sísmica Tipo 1		Ação Sísmica Tipo 2	
Zona Sísmica	$a_{gR}(m/s^2)$	Zona Sísmica	$a_{gR}(m/s^2)$
1.1	2,5	2.1	2,5
1.2	2,0	2.2	2,0
1.3	1,5	2.3	1,7
1.4	1,0	2.4	1,1
1.5	0,6	2.5	0,8
1.6	0,35	-	-

O coeficiente de importância sísmica está definido, para edifícios, no Anexo Nacional, dependendo o seu valor do tipo da ação sísmica e da classe de importância do edifício, como se apresenta no Quadro 2.5.

Quadro 2.5 – Coeficientes de importância, γ_I – Anexo Nacional

Classe de Importância	Ação sísmica Tipo 1	Ação Sísmica Tipo 2	
		Continente	Açores
I	0,65	0,75	0,85
II	1,00	1,00	1,00
III	1,45	1,25	1,15
IV	1,95	1,50	1,35

O valor do parâmetro S , que tem em conta os efeitos do tipo de terreno, é determinado através do cálculo que de seguida se apresenta, definido no Anexo Nacional.

Quadro 2.6 – Valores do parâmetro S – Anexo Nacional

	$a_g \leq 1 \text{ m/s}^2$	$1 \text{ m/s}^2 < a_g < 4 \text{ m/s}^2$	$a_g \geq 4 \text{ m/s}^2$
$S =$	$S_{\text{máx}}$	$S = S_{\text{máx}} - \frac{S_{\text{máx}} - 1}{3}(a_g - 1)$	1,0

Os valores a atribuir a T_B , T_C , T_D e $S_{\text{máx}}$ são definidos no Anexo Nacional em função do tipo de ação sísmica e do tipo de terreno, sendo apresentados nos Quadro 2.7 e Quadro 2.8.

Quadro 2.7 – Valores dos parâmetros espectrais da ação sísmica Tipo 1 segundo o EC8 – Anexo Nacional

Tipo de terreno	$S_{\text{máx}}$	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,00	0,10	0,60	2,00
B	1,35	0,10	0,60	2,00
C	1,60	0,10	0,60	2,00
D	2,00	0,10	0,80	2,00
E	1,80	0,10	0,60	2,00

Quadro 2.8 – Valores dos parâmetros espectrais da ação sísmica Tipo 2 segundo o EC8 – Anexo Nacional

Tipo de terreno	$S_{\text{máx}}$	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,00	0,10	0,25	2,00
B	1,35	0,10	0,25	2,00
C	1,60	0,10	0,25	2,00
D	2,00	0,10	0,30	2,00
E	1,80	0,10	0,25	2,00

A aplicação das expressões e dos parâmetros referidos anteriormente, em função do tipo de ação sísmica e do tipo de terreno a analisar, permite a obtenção dos diferentes espectros de resposta elástica, apresentados nas Figura 2.2 e Figura 2.3.

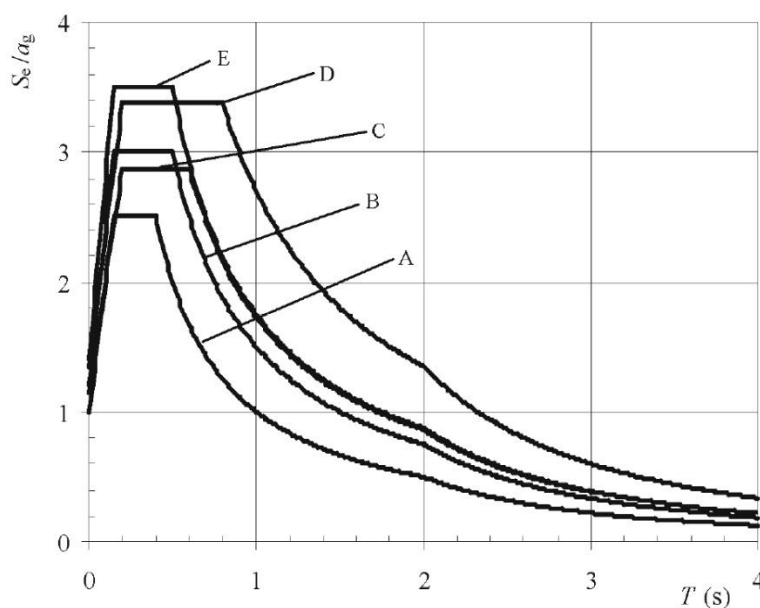


Figura 2.2 – Espectros de resposta elástica de Tipo 1 para terrenos dos tipos A a E (EC8, 2010)

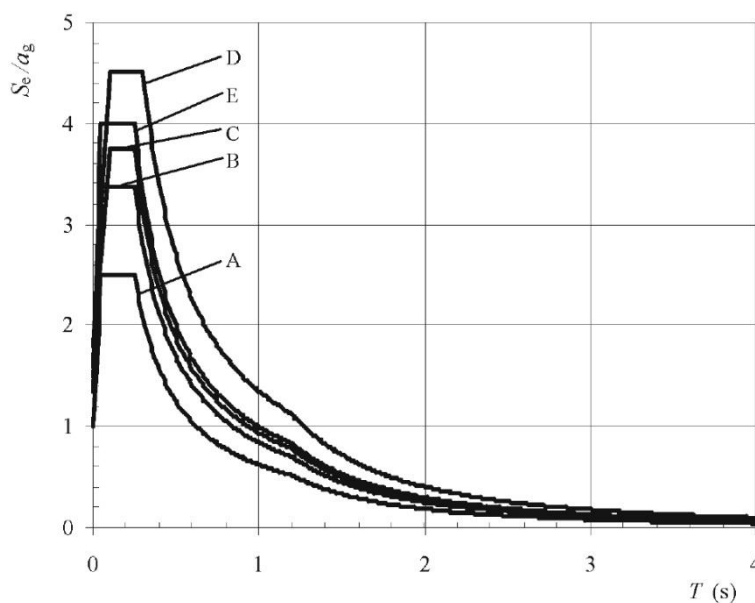


Figura 2.3 – Espectros de resposta elástica de Tipo 2 para terrenos dos tipos A a E (EC8, 2010)

O RSA por seu turno, define a ação sísmica tipo 1 como um sismo de magnitude moderada a pequena distância focal e ação sísmica tipo 2 corresponde a um sismo de maior magnitude a uma maior distância focal. Comparando as ações sísmicas referidas com as ações definidas pelo EC8, verifica-se que as designações das mesmas estão trocadas, ou seja, a ação sísmica tipo 1 do EC8 corresponde à ação sísmica tipo 2 do RSA e vice-versa.

Estão definidos no RSA, os espectros de resposta da zona A, para as duas ações sísmicas e os três tipos de terreno considerados neste regulamento. Os referidos espectros são apresentados para três diferentes valores do coeficiente de amortecimento, 2%, 5% e 10%. Na Figura 2.4 apresenta-se um desses espectros de resposta, nomeadamente o espectro de resposta correspondente à zona A, para a ação sísmica tipo 1 e para um terreno tipo I.

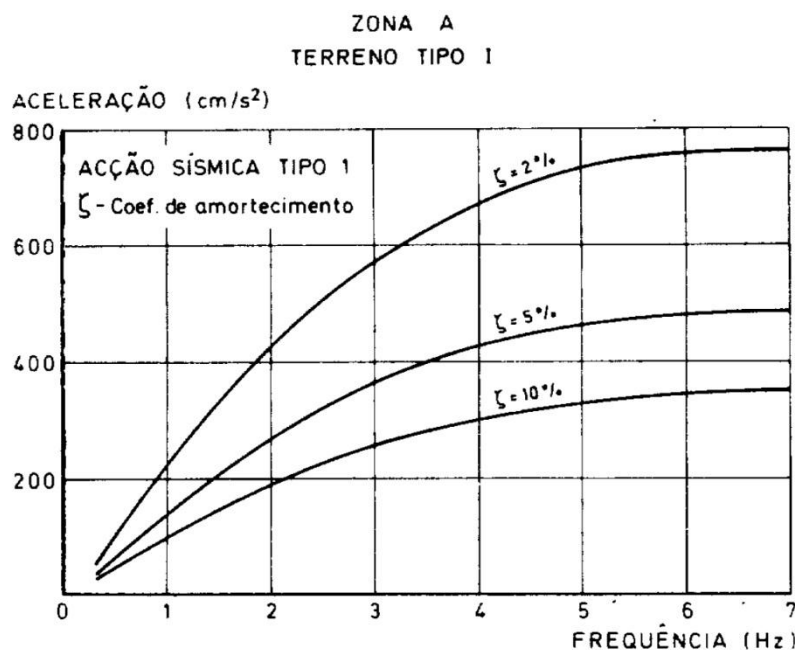


Figura 2.4 – Espectro de resposta de sismo próximo, zona A, terreno tipo I (RSA, 1983)

Para se obter os espectros de resposta para as restantes zonas definidas por este regulamento, deverão multiplicar-se as ordenadas dos espectros da zona A pelos respectivos coeficientes de sismicidade, apresentados no Quadro 2.9.

Quadro 2.9 – Valores do coeficiente de sismicidade, α

Zona sísmica	α
A	1,0
B	0,7
C	0,5
D	0,3

2.2.1.4 Combinação dos efeitos das componentes da ação sísmica

O EC8 define que, em geral, devem ser consideradas as componentes horizontais da ação sísmica a atuar simultaneamente. Para tal devem ser consideradas as combinações que se apresentam nas expressões (2.10) e (2.11).

$$E_d = E_{Edx} + 0,3E_{Edy} \quad (2.10)$$

$$E_d = 0,3E_{Edx} + E_{Edy} \quad (2.11)$$

O RSA e/ou REBAP não referem qualquer tipo de combinação das componentes sísmicas horizontais.

2.2.1.5 Combinação da Ação Sísmica com outras Ações

O Eurocódigo define a seguinte combinação de ações para situações de projeto sísmicas.

$$E_d = \sum_j G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_i \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (2.12)$$

Em que:

$G_{k,j}$ – Valor característico da ação permanente j ;

P – Valor representativo de uma ação de pré-esforço;

A_{Ed} – Valor de cálculo da ação sísmica;

Ψ_2 – Coeficiente para a determinação do valor quase-permanente de uma ação variável;

$Q_{k,i}$ – Valor característico da ação variável acompanhante i .

Segundo o RSA, a combinação de ações a seguir para situações de projeto sísmico é a seguinte.

$$S_d = \sum_{i=1}^m S_{Gik} + \gamma_q S_{Ek} + \sum_{j=2}^n \Psi_{2j} S_{Qjk} \quad (2.13)$$

Em que:

S_{Gik} – Esforço resultante de uma ação permanente, tomada com o seu valor característico;

γ_q – Coeficiente de segurança relativo às ações variáveis ($\gamma_q = 1,5$);

S_{Ek} – Esforço resultante de uma ação sísmica, tomada com o seu valor característico;

Ψ_{2j} – Coeficiente correspondente à ação variável de ordem j ;

S_{Qjk} – Esforço resultante de uma ação variável distinta da ação base, tomada com o seu valor característico.

2.2.2 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

2.2.2.1 Princípios Básicos de conceção

As ações sísmicas devem ser tidas em conta na conceção de um edifício, através de medidas que melhorem o seu comportamento face às referidas ações. Deste modo, tanto o EC8 como o REBAP definem alguns princípios na conceção de edifícios sujeitos a atividade sísmica, que se resumem no Quadro 2.10.

Quadro 2.10 – Princípios orientadores da conceção de edifícios sujeitos a ações sísmicas

EC8	RSA/REBAP
Simplicidade estrutural	As características de rigidez das estruturas devem ser ponderadas de tal modo que, por um lado, minimizem as ações sísmicas e, por outro, limitem a ocorrência de grandes deslocamentos
Uniformidade, simetria e redundância da estrutura	As estruturas devem ter os seus elementos convenientemente interligados em todas as direções, de modo a assegurar um eficiente funcionamento de conjunto
Resistência e rigidez nas duas direções	A disposição dos elementos da estrutura deve apresentar simetria, o mesmo se recomendando relativamente ao conjunto das massas da construção
Resistência e rigidez à torção	As variações de rigidez e de massas, principalmente em altura, não apresenta grandes discontinuidades
Ação de diafragma ao nível dos pisos	As estruturas devem ter possibilidade de dissipar energia por deformação não elástica o que requer adequadas características de ductilidade dos seus elementos
Fundação adequada	-

2.2.2.2 Critérios de regularidade estrutural

Para efeitos do projeto sismo-resistente, as estruturas dos edifícios são classificadas, quer no EC8 quer no RSA/REBAP como regulares e não regulares, em planta e em altura. Esta classificação terá essencialmente, implicações no modelo estrutural e no método de análise a utilizar no projeto sísmico. Assim, apresentam-se de seguida, as consequências da regularidade estrutural na análise e no cálculo sísmico, segundo o EC8, e ainda as condições a que devem satisfazer os edifícios para que, segundo o RSA, sejam considerados edifícios correntes, permitindo assim uma análise simplificada do mesmo.

Quadro 2.11 – Consequências da regularidade estrutural na análise e no cálculo sísmico, segundo o EC8

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

Segundo o RSA, a determinação dos efeitos da ação dos sismos pode ser efetuada, de modo simplificado, supondo aplicadas à estrutura forças estáticas atuando separadamente segundo as direções em que a estrutura se desenvolve, caso se trate de um edifício corrente, que satisfaz as seguintes condições:

- Não apresentar, em planta, distribuições desproporcionadas entre a massa e a rigidez (regularidade em planta);
- Não apresentar, no seu desenvolvimento em altura, grandes variações de massa ou de rigidez (regularidade em altura);
- Ter uma estrutura em malha ortogonal e não demasiado deformável (não define critério de avaliação);
- Ter os pisos constituídos de forma que possam considerar-se como diafragmas indeformáveis no seu plano.

2.2.2.3 Métodos de análise

Tanto o RSA como o EC8 apresentam diferentes métodos de análise para a determinação dos efeitos da ação sísmica. As estruturas que serão alvo de análise neste trabalho enquadram-se, em ambos os regulamentos, no tipo de estruturas passíveis da utilização de métodos de análise simplificados, uma vez que são regulares quer em planta quer em altura. No entanto, optou-se pela consideração de um modelo espacial e uma análise elástica modal em todas as estruturas analisadas, para que se obtenha uma análise mais rigorosa das referidas estruturas, sendo de resto, esta a metodologia de análise normalmente utilizada no projeto de edifícios, mesmo em edifícios que apresentem regularidade em planta e em altura.

2.2.2.4 Cálculo de deslocamentos

De acordo com o EC8, os deslocamentos, em qualquer ponto da estrutura, podem ser determinados através da expressão (2.14).

$$d_s = q_d d_e \quad (2.14)$$

Em que:

d_s – Deslocamento de um ponto do sistema estrutural devido à ação sísmica de cálculo

q_d – Coeficiente de comportamento em deslocamento, que se admite ser igual a q , salvo indicação em contrário

d_e – Deslocamento do mesmo ponto do sistema estrutural, determinado por uma análise linear baseada no espectro de resposta de cálculo.

O RSA/REBAP não refere qualquer processo de cálculo para a obtenção dos deslocamentos de uma estrutura, pelo que, também se adotou, neste regulamento, a expressão (2.14) para o referido cálculo.

2.2.2.5 Limitação do deslocamento entre pisos

Segundo o EC8, o requisito de limitação de danos fica cumprido se os deslocamentos entre pisos forem limitados de acordo com as expressões (2.15) a (2.17) que se apresentam de seguida.

- Para os edifícios com elementos não estruturais constituídos por materiais frágeis fixos à estrutura

$$d_r v \leq 0,005 h \quad (2.15)$$

- Para os edifícios com elementos não estruturais dúcteis:

$$d_r v \leq 0,0075 h \quad (2.16)$$

- Para os edifícios com elementos não estruturais fixos de forma a não interferir com as deformações estruturais ou sem elementos não estruturais:

$$d_r v \leq 0,010 h \quad (2.17)$$

Em que:

d_r – Valor de cálculo do deslocamento relativo entre pisos

h – Altura entre pisos

v – Coeficiente de redução que tem em conta o mais baixo período de retorno da ação sísmica associada ao requisito de limitação de danos

Os valores recomendados de v , de acordo com o Anexo Nacional, são 0,40 para a ação sísmica tipo 1 e 0,55 para a ação sísmica tipo 2.

O RSA não refere qualquer tipo de limitação aos deslocamentos entre pisos.

2.2.2.6 Classes de ductilidade

O EC8 define 3 classes de ductilidade que podem ser consideradas no dimensionamento de estruturas de betão armado, ductilidade baixa, DCL (low), ductilidade média, DCM (medium), e ainda ductilidade elevada, DCH (high).

As exigências no dimensionamento para as diferentes classes de ductilidade variam, tornando-se o referido dimensionamento mais restrito e exigente nas classes de ductilidade superiores (DCM e DCH). Concretamente, no dimensionamento para a classe DCL não são introduzidas quaisquer exigências adicionais às que o EC2 propõe no seu dimensionamento, o mesmo não se sucedendo para as restantes classes. A classe considerada no dimensionamento vai interferir no valor do coeficiente de comportamento considerado na estrutura, como se verá no tópico seguinte deste trabalho.

Por seu turno, o REBAP define somente duas classes de ductilidade, ductilidade normal e ductilidade melhorada. Tal como o EC8, o dimensionamento considerando a classe de ductilidade normal não resulta na adição de novas exigências nesse dimensionamento. Este facto já não se verifica quando se considera no dimensionamento a classe de ductilidade melhorada.

A classe de ductilidade normal do REBAP pode assimilar-se à classe DCL do EC8, e a classe de ductilidade melhorada desse regulamento pode assimilar-se à classe DCM do EC8.

2.2.2.7 Tipos de Estruturas e Coeficientes de Comportamento

Ambos os regulamentos definem alguns tipos de estruturas aos quais são estabelecidos determinados limites do coeficiente de comportamento a considerar no dimensionamento sísmico.

O EC8 define que os edifícios de betão devem ser classificados num dos seguintes 6 tipos de estruturas, consoante o seu comportamento face às ações sísmicas horizontais.

- Sistema porticado;
- Sistema misto;
- Sistema de paredes dúcteis;
- Sistema de paredes de grandes dimensões de betão fracamente armado;
- Sistema de pêndulo invertido;
- Sistema torsionalmente flexível.

O valor do coeficiente de comportamento deve ser determinado, para cada direção de cálculo, através da seguinte expressão.

$$q = q_0 k_w \geq 1,5 \quad (2.18)$$

Em que:

k_w – Coeficiente que reflete o modo de rotura predominante nos sistemas estruturais de paredes. Este coeficiente varia entre 0,5 para sistemas de paredes e 1,0 para sistemas porticado ou sistemas mistos.

q_0 – Valor básico do coeficiente de comportamento, função do tipo de estrutura e da sua regularidade em altura.

Os valores básicos de q_0 , para edifícios regulares em altura, apresentam-se no Quadro 2.12, para os diferentes tipos de estruturas.

Quadro 2.12 - Valor básico do coeficiente de comportamento, q_0

Tipo estrutural	DCM	DCH
Sistema porticado, sistema misto, sistema de paredes acopladas	$3,0 \alpha_u/\alpha_1$	$4,5 \alpha_u/\alpha_1$
Sistema de paredes não acopladas	3,0	$4,0 \alpha_u/\alpha_1$
Sistema torsionalmente flexível	2,0	3,0
Sistema de pêndulo invertido	1,5	2,0

Em que:

α_1 – Valor pelo qual a ação sísmica horizontal de cálculo é multiplicada para ser atingida pela primeira vez a resistência à flexão em qualquer elemento da estrutura, mantendo-se constantes todas as outras ações de cálculo;

α_u – Valor pelo qual a ação sísmica horizontal de cálculo é multiplicada para formar rótulas plásticas num número de secções suficiente para provocar a instabilidade global da estrutura, mantendo-se constantes todas as outras ações de cálculo.

Os valores de α_u/α_1 a utilizar, para estruturas regulares em planta, podem ser os que seguidamente se apresentam.

- Sistemas porticado ou sistemas mistos equivalentes a pórticos:
 - Edifícios de um só piso: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$;
 - Edifícios de vários pisos, pórticos com um só tramo: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$;
 - Edifícios de vários pisos, pórticos ou sistemas mistos equivalentes a pórticos com vários tramos: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,3$.

- Sistemas de paredes ou sistemas mistos equivalentes a paredes:

– Sistemas de paredes unicamente com duas paredes não acopladas em cada direção horizontal: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,0$;

– Outros sistemas de paredes não acopladas: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$;

– Sistemas mistos equivalentes a paredes ou sistemas de paredes acopladas: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$.

Por seu turno, o REBAP define três tipos de estruturas às quais associa limites do coeficiente de comportamento em função da classe de ductilidade a considerar.

Quadro 2.13 - Coeficientes de Comportamento segundo o REBAP

Tipo estrutural	Ductilidade Normal	Ductilidade Melhorada
Estruturas em Pórtico	2,5	3,5
Estruturas mistas pórtico-parede	2,0	2,5
Estruturas-parede	1,5	2,0

2.2.2.8 Dimensionamento de paredes para a classe DCM/Ductilidade Melhorada

O dimensionamento de estruturas considerando uma classe de ductilidade DCL ou DCH não se insere no âmbito deste trabalho, pelo que apenas serão apresentadas as restrições impostas pelo EC8 para a classe de ductilidade DCM e, correspondentemente, as exigências impostas pelo REBAP para a classe de ductilidade melhorada. As referidas exigências serão analisadas apenas para os elementos estruturais que vão ser alvo de estudo neste trabalho, as paredes de contraventamento.

Expõem-se de seguida, de forma resumida, as principais disposições e requisitos definidos no EC8 e EC2 para o dimensionamento de paredes estruturais. De forma idêntica resumem-se as disposições definidas no REBAP para os mesmos elementos.

EC8/EC2

- Materiais

Nos elementos sísmicos primários não se deve utilizar betão de classe inferior a C16/20

Nas zonas críticas dos elementos sísmicos primários deve utilizar-se, nas armaduras, aço da classe de ductilidade B ou C.

- Restrições Geométricas

O EC8 define que a espessura da alma de uma parede deverá satisfazer a expressão (2.19).

$$b_{w0} \geq \max \left\{ 0,15, \frac{h_s}{20} \right\} \quad (2.19)$$

Em que:

b_{w0} – Espessura da alma

h_s – Altura livre entre pisos

- Esforços de cálculo

Devido às incertezas associadas à distribuição de momentos ao longo da altura das paredes sísmicas primárias esbeltas, o EC8 define uma envolvente de cálculo dos momentos fletores dessas paredes, obtidos pela análise estrutural. A referida envolvente poderá admitir-se linear caso a estrutura em questão não apresente descontinuidades importantes de massa, rigidez ou resistência, ao longo da sua altura. A aproximação linear realizada deverá depois ser deslocada verticalmente (tension shift), deslocamento esse que tem que ser consistente com a inclinação das escoras considerada na verificação do estado limite último em relação ao esforço transversal. A construção do diagrama envolvente ao diagrama obtido pela análise estrutural é apresentada na Figura 2.5

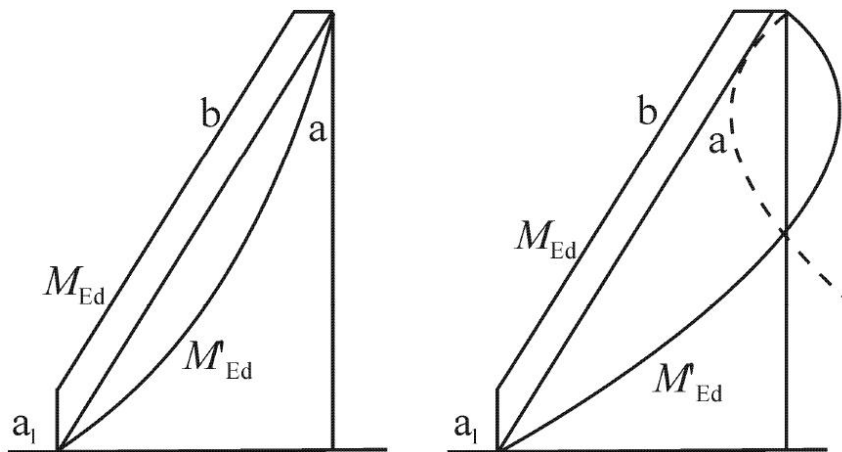


Figura 2.5 - Envolvente de cálculo dos momentos fletores em paredes esbeltas (EC8,2010)

Em que:

a – Diagrama dos momentos obtidos da análise

b – Envolvente de cálculo

a_l – Deslocamento vertical (tension shift)

O valor de a_l não se encontra definido no EC8 pelo que se adota o valor definido pelo EC2 para este parâmetro (EC2 9.2.1.3(2)) : $a_l = z (\cot\theta - \cot\alpha)/2$.

O EC8 recomenda ainda que se considere a possibilidade de um aumento dos esforços transversos após a plastificação na base de uma parede sísmica primária. Assim, deverá ser considerado um aumento de 50% dos valores de cálculo dos esforços transversos em relação aos esforços transversos obtidos na análise.

No caso de estruturas mistas pórtico-parede, que contenham paredes esbeltas, para que se tenha em conta as incertezas relacionadas com os efeitos dos modos mais elevados, deverá utilizar-se uma envolvente de cálculo dos esforços transversos como a que se apresenta na Figura 2.6.

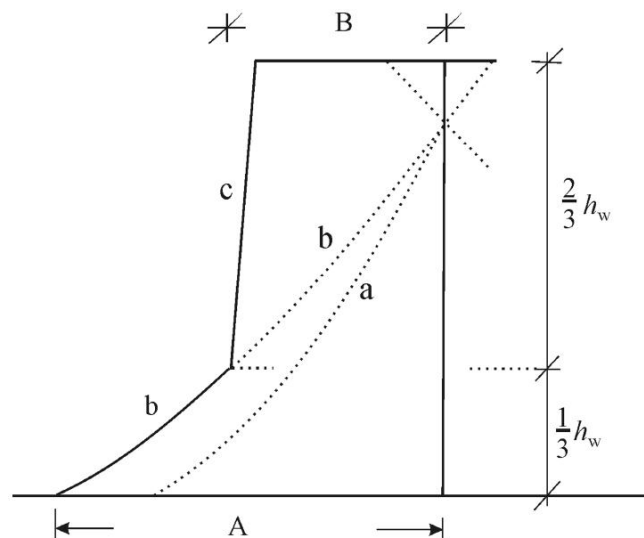


Figura 2.6 - Envolvente de cálculo dos esforços transversos em sistemas mistos pórtico-parede (EC8,2010)

Em que:

a – Diagrama dos esforços transversos obtidos na análise

b – Diagrama dos esforços transversos majorados

c – Envolvente de cálculo

A – $V_{\text{parede,base}}$ (esforço transversal da parede na base)

B – $V_{\text{parede,topo}} \geq V_{\text{parede,base}}/2$ (esforço transversal da parede no topo)

A construção apresentada na Figura 2.6 provoca um aumento considerável nas forças de corte dos últimos pisos da estrutura. De referir ainda que esta construção apenas se aplica na direção de maior inércia da parede a analisar.

- Verificação ao estado limite último e disposições construtivas

Tanto o EC2 (EC2 9.6) como o EC8 (EC8 5.4.3.4) definem um conjunto de requisitos a cumprir no dimensionamento de paredes em ELU.

As restrições respeitantes à armadura longitudinal (vertical) estão apresentadas no Quadro 2.14.

Quadro 2.14 - Regras do EC2 e EC8 relativas à armadura vertical de paredes (ELU)

Parâmetro	Restrição
Esforço normal reduzido	$v_d \leq 0,4$
Armadura longitudinal mínima	$A_{s,vmin.} = 0,002 A_c$
Armadura longitudinal máxima	$A_{s,vmax.} = 0,04 A_c$
Taxa de armadura longitudinal mínima (E.E.)	$\rho_{l,min} \geq 0,005$
Taxa de armadura longitudinal mínima (acima da zona crítica)	$\rho_{l,min} \geq 0,005$ se $\varepsilon_c > 0,002$
Distância máxima entre dois varões longitudinais na alma da parede	$\leq \min \left\{ \begin{array}{l} 400 \text{ mm} \\ 3 \times e_{parede} \end{array} \right.$
Distância máxima entre dois varões longitudinais cintados (zona crítica E.E.)	200 mm

Em que:

ε_c – Extensão de compressão do betão

E.E. – Elementos de extremidade (boundary elements)

v_d – Esforço normal reduzido ($v_d = N_{Ed}/A_c f_{cd}$)

O comprimento dos referidos elementos de extremidade (E.E.) determina-se de acordo com a expressão (2.20).

$$l_c = x_u \left(1 - \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2,c}} \right) \quad (2.20)$$

Sendo

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0035 + 0,1\alpha\omega_{wd} \geq 1,5 \quad (2.21)$$

Em que:

α – Coeficiente de eficácia do confinamento

ω_{wd} – Taxa mecânica volumétrica de cintas nas zonas críticas

No entanto, l_c não pode ser inferior aos seguintes valores.

$$l_c \geq \begin{cases} 0,15l_w \\ 1,50b_w \end{cases} \quad (2.22)$$

O comprimento l_c apresenta-se seguidamente na Figura 2.7.

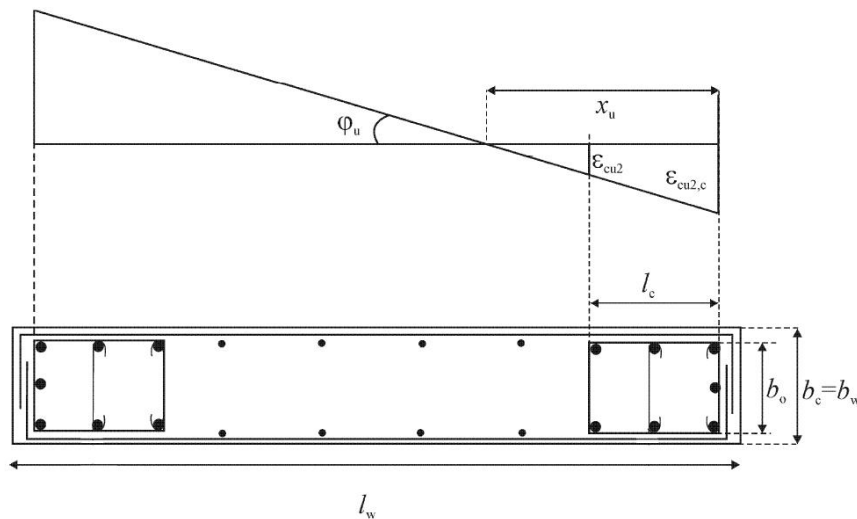


Figura 2.7 - E.E. confinado de uma parede com os bordos livres, (EC8,2010)

A determinação do comprimento l_c realiza-se por um processo iterativo, uma vez que é necessário arbitrar uma dimensão inicial deste elemento (através das restrições apresentadas na expressão (2.22)), para ser possível saber qual a armadura contida na alma da parede e consequentemente obter o valor de x_u que, por fim, nos permite calcular o parâmetro l_c .

As dimensões deste elemento estão ainda sujeitas às restrições que se apresentam na Figura 2.8.

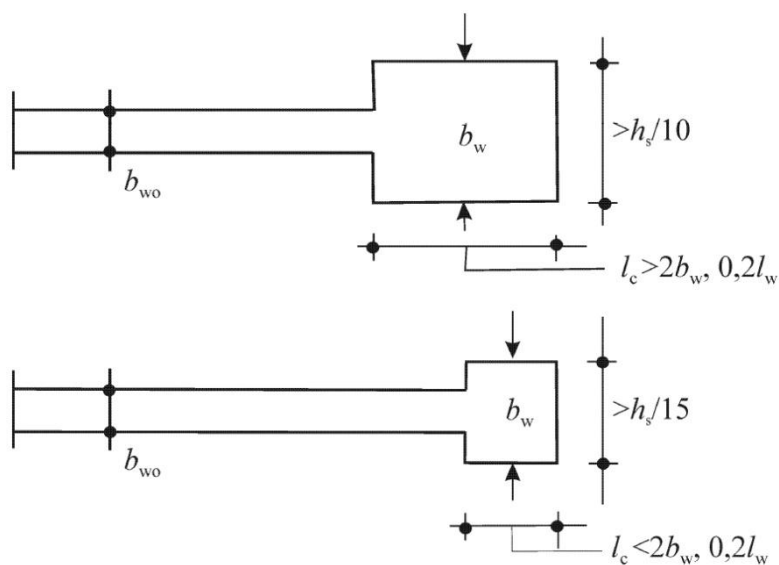


Figura 2.8 - Espessura mínima dos E.E. confinados

As condicionantes relativas à armadura transversal apresentam-se no Quadro 2.15.

Quadro 2.15 - Regras do EC2 e EC8 relativas à armadura transversal de paredes (ELU)

Parâmetro	Restrição
Altura da zona crítica	$h_{cr} = \max[l_w, h_w/6]$
Altura máxima da zona crítica	$h_{cr} \leq \begin{cases} 2l_w \\ h_s \text{ se } n \leq 6 \text{ pisos} \\ 2h_s \text{ se } n \geq 7 \text{ pisos} \end{cases}$
Espaçamento máximo dos estribos (se $A_{sl} \geq 0,02 A_c$)	$s = \min \begin{cases} b_w \\ 400 \\ 20\phi_{v,min} \end{cases}$
Espaçamento máximo dos estribos (se $A_{sl} \geq 0,02 A_c$ e a distância à laje $\leq 4 b_w$)	$s = 0,6 \min \begin{cases} b_w \\ 400 \\ 20\phi_{v,min} \end{cases}$
Espaçamento máximo dos estribos (zona crítica dos E.E.)	$s = \min \begin{cases} b_o/2 \\ 175 \\ 8\phi_{v,min} \end{cases}$
Número mínimo de estribos	$4/m^2$ de parede
Garantia de ductilidade (zona crítica dos E.E.)	$\propto \omega_{wd} \geq 30\mu_\phi(v_d + \omega_v)\varepsilon_{sy,d} \frac{b_c}{b_o} - 0,035$
Posição do eixo neutro	$x_u = (v_d + \omega_v) \frac{l_w b_c}{b_o}$
Valor mínimo de ω_{wd}	0,08
Diâmetro mínimo dos estribos (zona crítica dos E.E.)	6 mm
Armadura horizontal mínima	$A_{s,hmin} = \max \begin{cases} 25\% A_{sv} \\ 0,001 A_c \end{cases}$
Espaçamento máximo da armadura horizontal	400 mm

Em que:

l_w – Comprimento da secção transversal da parede

h_w – Altura da parede

h_s – Altura livre entre pisos

ω_v – Taxa mecânica das armaduras verticais da alma da parede ($\omega_v = \rho_v f_{yd,v}/f_{cd}$)

μ_ϕ – Fator de ductilidade em curvatura

b_c – Largura da parede

b_o – Largura da zona confinada do E.E.

$\phi_{v,min}$ – Diâmetro mínimo dos varões verticais

RSA/REBAP

- Materiais

O REBAP não apresenta nenhum critério referente aos materiais a utilizar nos elementos resistentes à ação sísmica.

- Restrições Geométricas

O REBAP define as condicionantes geométricas expostas nas expressões (2.23) a (2.25). (Artigo 146.º).

$$e_{parede} \geq 15 \text{ cm} \quad (2.23)$$

$$\lambda \leq 60 \quad (2.24)$$

$$\frac{h}{b} \geq 2 \quad (2.25)$$

Em que:

λ – Coeficiente de esbelteza

h – Altura da parede

b – Espessura da parede

Este regulamento define ainda que as paredes devem satisfazer a seguinte condição:

$$N_{sd} \leq 0,6 f_{cd} A_c \quad (2.26)$$

Em que:

N_{sd} – Valor de cálculo do esforço normal correspondente à combinação de ações em que intervém a ação sísmica

f_{cd} – Valor de cálculo da tensão de rotura á compressão do betão

A_c – Área da secção transversal da parede

No entanto, caso $N_{sd} \geq 0,2 f_{cd} A_c$, deve aumentar-se a espessura da parede junto aos bordos para que formem nervuras verticais de secção retangular e cujos lados não devem ser inferiores a:

- Segundo a direção perpendicular ao plano da parede, $\frac{l}{10}$ da distância entre diafragmas sucessivos
- Segundo o plano da parede $\frac{l}{10}$ da largura desta, com um mínimo de $2e_{parede}$

- Esforços de cálculo

As armaduras de esforço transversal devem ser dimensionadas para um valor de cálculo do esforço transversal dado pela expressão (2.27).

$$V_{Ed} = V_{Ed}' 1,1 \frac{M_{Rd}}{M_{Sd}} \quad (2.27)$$

Em que:

V_{Ed} – Valor de cálculo do esforço transversal

M_{Rd} – Valor de cálculo do momento resistente da secção

M_{Sd} – Valor de cálculo do momento atuante na secção

- Verificação ao estado limite último e disposições construtivas

O REBAP define um conjunto de restrições para o dimensionamento de paredes em ELU.

De acordo com o referido regulamento, a armadura vertical a utilizar na parede deve ser calculada com base no conceito de Pilares Fictícios (P.F.), semelhante ao preconizado pelo EC8 (E.E.). Este conceito consiste na consideração de 2 pilares fictícios, nas extremidades da parede, sendo que esses 2 pilares devem ser dimensionados como se de um pilar real se tratasse, excepto no que diz respeito às áreas mínimas de armadura. O esquema apresentado na Figura 2.9 permite uma melhor percepção deste conceito, bem como permite clarificar as dimensões das secções.

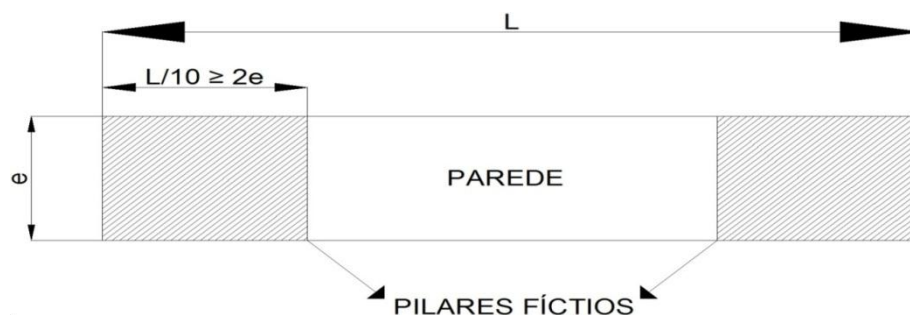


Figura 2.9 - Esquema de uma parede segundo o REBAP

As restrições respeitantes à armadura longitudinal (vertical) estão apresentadas no Quadro 2.16.

Quadro 2.16 - Regras do REBAP relativas à armadura longitudinal de paredes (ELU)

Parâmetro	Restrição
Largura dos P.F.	$\geq \max[l/10; 2e_{parede}]$
Esforço normal reduzido	$v_d \leq 0,6$
Armadura longitudinal mínima (P.F.)	$A_{sl,min} = \begin{cases} 0,0015A_c, A400 \text{ e } A500 \\ 0,0025A_c, A235 \end{cases}$
Armadura longitudinal mínima (fora dos P.F.)	$A_{sl,min} = \begin{cases} 0,003A_c', A400 \text{ e } A500 \\ 0,004A_c', A235 \end{cases}$
Armadura longitudinal máxima (P.F.)	$A_{sl,max} = 0,08A_{cp}$
Armadura longitudinal máxima (fora dos P.F.)	$A_{sl,max} = 0,04A_c'$
Distância máxima entre dois varões longitudinais cintados (P.F.)	300 mm
Distância máxima entre varões longitudinais (fora dos P.F.)	$\leq \min \begin{cases} 2e_{parede} \\ 300 \text{ mm} \end{cases}$

Em que:

P.F. – pilares fictícios

A_c – Área da secção da parede

A_c' – Área da secção da parede compreendida entre os pilares fictícios

A_{cp} – Área da secção do pilar fictício

e_{parede} – Espessura da parede

As condicionantes relativas à armadura transversal apresentam-se no Quadro 2.17.

Quadro 2.17 - Regras do REBAP relativas à armadura transversal de paredes (ELU)

Parâmetro	Restrição
Armadura horizontal mínima por face	$A_{sh,min} = \begin{cases} 0,001 \times b \times a & \text{para A235} \\ 0,0005 \times b \times a & \text{para A400 e A500} \end{cases}$
Distância máxima entre dois varões horizontais	300 mm
Diâmetro mínimo a considerar na armadura transversal (P.F.)	Se $\phi_l \geq \phi_{25} \Rightarrow \phi_t \geq \phi_8$
Distância máxima entre dois varões transversais (P.F.)	$\leq \min \begin{cases} 12 \times \phi_{l,min} \\ b_{min} \\ 300 \text{ mm} \end{cases}$
Espaçamento máximo dos estribos (se $A_{sl} \geq 0,02 A_c$)	$\leq \min \begin{cases} 16\phi_{l,min} \\ 2e_{parede} \\ 300 \text{ mm} \end{cases}$

Em que:

a – Altura a dispor a armadura

b – Espessura da parede

ϕ_l – Diâmetro dos varões longitudinais

ϕ_t – Diâmetro dos varões transversais

$\phi_{l,min}$ – Menor diâmetro dos varões da armadura longitudinal

b_{min} – Menor dimensão da secção do pilar

3

AÇÃO SÍSMICA NOS LOCAIS DE ESTUDO

3.1 INTRODUÇÃO

No presente capítulo é feita uma análise comparativa da ação sísmica segundo os regulamentos referidos anteriormente, RSA e EC8. Esta análise visa entender as diferenças existentes na quantificação da ação sísmica, quando esta é determinada segundo os dois regulamentos. Para tal foram determinados os espectros de resposta dos dois tipos de ações sísmicas, considerando diferentes tipos de terreno e diferentes zonas do território nacional como é apresentado na secção seguinte.

De referir que, a comparação da ação sísmica definida por cada um dos regulamentos será feita a partir dos respetivos espectros de resposta em acelerações. Desta forma, são considerados os espectros elásticos definidos no EC8, de acordo com as expressões (2.1) a (2.4) que traduzem o nível de intensidade sísmica de projeto (requisito de não colapso). Os espectros definidos no RSA são estabelecidos em valores “característicos” devendo ser multiplicados pelo coeficiente de majoração de ações (1,5). Assim, para que seja possível efetuar uma comparação válida entre os espectros de resposta dos regulamentos em estudo, os espectros do RSA são multiplicados pelo referido coeficiente de 1,5.

Relembrar ainda que, tal como se expôs no capítulo anterior deste trabalho, a ação sísmica tipo 1 do EC8 corresponde à ação sísmica tipo 2 do RSA e vice-versa, pelo que apenas fará sentido confrontar a ação sísmica tipo 1 do EC8 com a ação sísmica tipo 2 do RSA e a ação sísmica tipo 2 do EC8 com a ação sísmica tipo 1 do RSA. No seguimento do trabalho adota-se a designação das ações sísmicas definidas no EC8, ou seja, tipo 1 referente a sismo afastado e tipo 2 referente a sismo próximo.

3.2 DEFINIÇÃO DA AÇÃO SÍSMICA

3.2.1 IDENTIFICAÇÃO DOS TIPOS DE TERRENO

Serão analisados os terrenos tipo A, C e D, definidos no EC8, e correspondentemente, tal como foi exposto no Quadro 2.3 os terrenos tipo I, II e II definidos no RSA.

3.2.2 ZONAS SÍSMICAS

As zonas consideradas na análise sísmica foram seleccionadas de modo a abranger a generalidade dos casos existentes no território nacional. As referidas zonas e os respetivos parâmetros sísmicos relevantes são apresentados no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Zonas sísmicas das diferentes regiões a analisar segundo o EC8 e o RSA

Cidade	EC8				RSA	
	Ação Sísmica Tipo 1		Ação Sísmica Tipo 2		Zona Sísmica	α
	Zona Sísmica	$a_{gR}(m/s^2)$	Zona Sísmica	$a_{gR}(m/s^2)$		
Porto	1.6	0,35	2.5	0,8	D	0,3
Coimbra	1.6	0,35	2.4	1,1	C	0,5
Santarém	1.5	0,6	2.3	1,7	B	0,7
Lisboa	1.3	1,5	2.3	1,7	A	1,0
Évora	1.4	1,0	2.4	1,1	B	0,7
Portimão	1.1	2,5	2.3	1,7	A	1,0

Os parâmetros apresentados neste quadro, concretamente a aceleração máxima de referência nas duas ações sísmicas, a_{gR} , e o coeficiente de sismicidade, α , permitem, em conjunto com as características de cada tipo de terreno, a determinação dos espectros de respostas segundo o EC8 e o RSA, respetivamente, tal como apresentado em 2.2.1.3. Os espectros de resposta que se apresentam em 3.2.3 foram determinados segundo o EC8 e o RSA. O cálculo destes espectros, segundo o EC8, foram obtidos de acordo com expressões (2.1) a (2.4), enquanto que, os resultados relativos ao RSA, derivam da utilização de uma folha de cálculo produzida no âmbito deste tema pelo Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL Fevereiro de 2012).

3.2.3 REPRESENTAÇÃO DA AÇÃO SÍSMICA

De seguida apresentam-se os espectros de resposta da ação sísmica definidos em ambos os regulamentos, em conjunto com um quadro resumo, que visa efetuar a comparação das acelerações máximas, nas diferentes zonas e tipos de terreno analisados. No referido quadro, Quadro 3.2, considerou-se como base de comparação dos valores das acelerações o RSA, ou seja, os valores da diferença percentual negativos correspondem a uma redução da aceleração sísmica máxima do EC8 em relação ao RSA, enquanto que os valores da diferença percentual positivos correspondem a um agravamento da aceleração sísmica máxima do EC8 em relação ao RSA. Esta consideração foi repetidamente utilizada nas restantes análises efetuadas neste trabalho.

Quadro 3.2 – Acelerações máximas das diferentes regiões a analisar segundo o EC8 e o RSA

Cidade	Tipo de Terreno	Aceleração máxima (m/s ²)					
		Sismo Afastado			Sismo Próximo		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
Porto	A / I	1,18	0,88	-35	2,26	2,00	-13
	C / II	1,09	1,40	29	1,87	3,20	71
	D / III	1,06	1,75	65	1,49	4,00	169
Coimbra	A / I	1,97	0,88	-126	3,77	2,75	-37
	C / II	1,81	1,40	-30	3,12	4,35	39
	D / III	1,77	1,75	-1	2,48	5,41	118
Santarém	A / I	2,76	1,50	-84	5,28	4,25	-24
	C / II	2,54	2,40	-6	4,37	6,21	42
	D / III	2,48	3,00	21	3,47	7,51	116
Lisboa	A / I	3,95	3,75	-5	7,55	4,25	-78
	C / II	3,63	5,63	55	6,25	6,21	-1
	D / III	3,54	6,88	94	4,95	7,51	52
Évora	A / I	2,76	2,50	-11	5,28	2,75	-92
	C / II	2,54	4,00	57	4,37	4,35	-1
	D / III	2,48	5,00	102	3,47	5,41	56
Portimão	A / I	3,95	6,25	58	7,55	4,25	-78
	C / II	3,63	8,13	124	6,25	6,21	-1
	D / III	3,54	9,38	164	4,95	7,51	52

Analisando atentamente o quadro anterior verifica-se desde logo uma diferença entre os regulamentos, no que diz respeito à variação do valor da aceleração sísmica à medida que o tipo de terreno considerado também varia. Isto porque segundo o RSA, a consideração de piores condições geotécnicas implica uma redução da aceleração sísmica, contrariamente ao EC8, que conduz a um aumento da mesma. A referida diferença entre os dois regulamentos é tão mais visível quanto piores forem as condições geotécnicas, tal como pode ser verificado se analisarmos os espectros de resposta, que de seguida se apresentam, e as correspondentes acelerações sísmicas máximas para terrenos do tipo D/III. De seguida apresenta-se uma análise mais detalhada de cada uma das zonas consideradas neste estudo, em conjunto com os respetivos espectros de resposta sísmica.

3.2.3.1 Porto

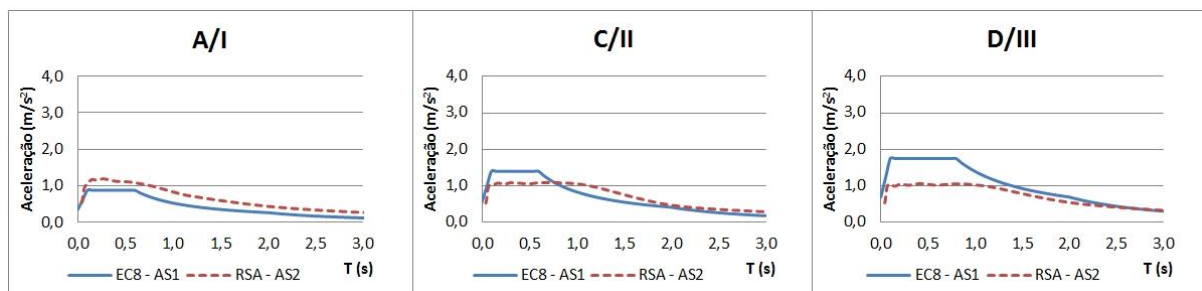


Figura 3.1 – Espectros de resposta no Porto - Sismo Afastado

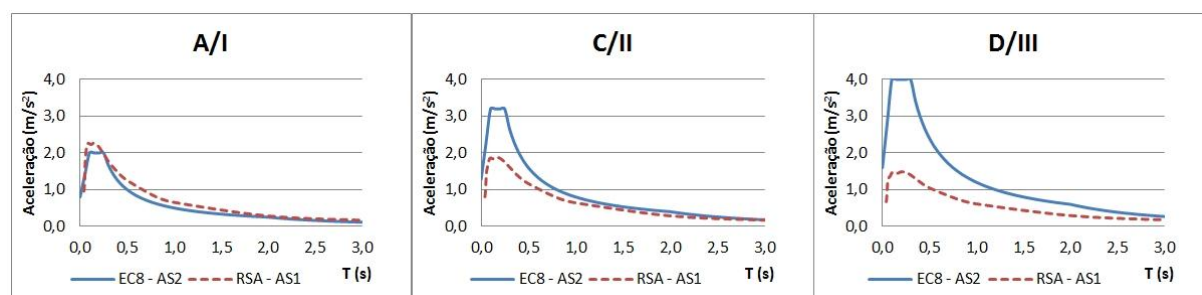


Figura 3.2 – Espectros de resposta no Porto - Sismo Próximo

Segundo ambos os regulamentos, o Porto situa-se na zona sísmica do território nacional com menores índices de sismicidade, resultando daí que apresente acelerações sísmicas de reduzida expressão. No terreno de referência em Portugal, um terreno tipo A/I, verificou-se que o valor máximo da aceleração sísmica nesta zona é de $2,26\text{m/s}^2$, segundo o RSA, para uma Ação Sísmica Próxima.

Analisando os espectros acima apresentados, verifica-se que, para a Ação Sísmica Afastada, os espectros de ambos os regulamentos apresentam valores consideravelmente similares para terrenos do tipo A/I e C/II. Ainda assim verifica-se, para o tipo de terreno A/I, que o espectro de acelerações do RSA apresenta valores superiores ao espectro do EC8 ao longo de todo o período analisado, sendo que a maior diferença entre as referidas acelerações é de aproximadamente 35%, num período de 0,25 segundos. Esta diferença acaba por se inverter para condições geotécnicas mais desfavoráveis, verificando-se que, para um terreno tipo C/II, o espectro do EC8 é superior ao do RSA na zona do patamar de aceleração espectral constante. Já para terrenos tipo D/III, o espectro do EC8 é superior ao correspondente espectro do RSA em praticamente todo o período analisado, sendo o valor da aceleração sísmica máxima indicado pelo EC8 cerca de 65% superior ao proposto pelo RSA.

Nos espectros da Ação Sísmica Próxima verificam-se duas situações distintas. Para terrenos tipo A/I constata-se uma semelhança entre os espectros propostos pelos dois regulamentos ao longo do período de análise, com ligeira superioridade para os valores do RSA. No entanto, para piores condições geotécnicas, revelam-se maiores discrepâncias entre os dois regulamentos. Considerando um terreno tipo C/II, a aceleração sísmica máxima determinada pelo EC8, é aproximadamente 71% superior ao correspondente valor do RSA. Esta diferença agrava-se ainda mais para um terreno tipo D/III, chegando a aceleração do EC8 a ser 169% superior ao valor proposto pelo RSA. Esta disparidade de valores deve-se à incoerência do RSA que, tal como foi referido anteriormente, propõe um espectro de resposta mais brando para piores tipos de terreno.

3.2.3.2 Coimbra

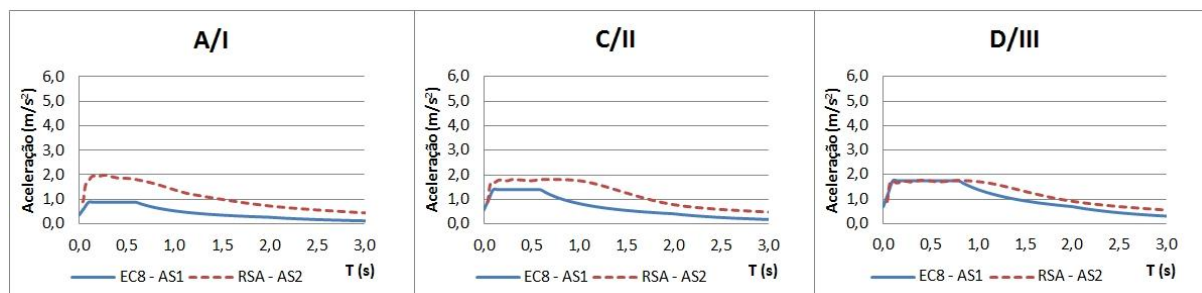


Figura 3.3 – Espectros de resposta em Coimbra - Sismo Afastado

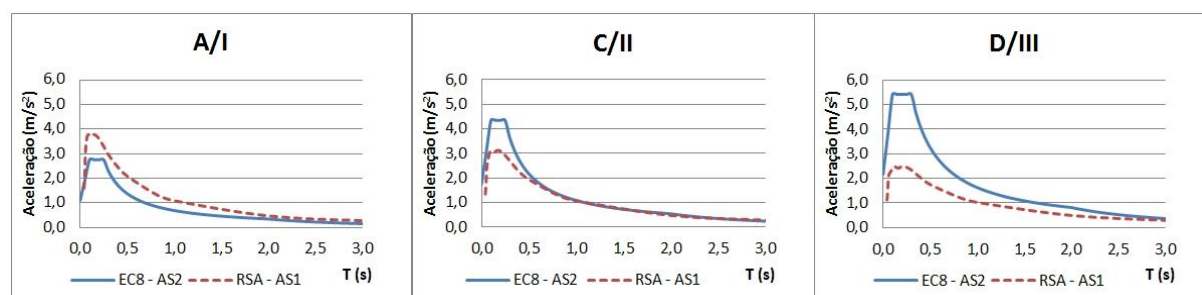


Figura 3.4 – Espectros de resposta em Coimbra - Sismo Próximo

A região de Coimbra apresenta, num terreno tipo A/I, uma aceleração sísmica máxima de $3,77\text{m/s}^2$, segundo o RSA, para a Ação Sísmica Próxima.

Nesta região, os espectros de resposta para a Ação Sísmica Afastada segundo o RSA, são mais gravosos que os referidos espectros propostos pelo EC8. Este aumento verifica-se, para terrenos tipo A/I e C/II, ao longo de todo o período analisado e, para terrenos tipo D/III, em períodos superiores a 0,80 segundos. Tal agravamento deve-se ao facto de a região de Coimbra se encontrar em zonas sísmicas diferentes nos dois regulamentos, tal como apresentado no Quadro 3.1. De acordo com o EC8, a referida região encontra-se na zona sísmica 1.6, ou seja, na zona com menores índices sísmicos (tal como o Porto). No entanto, o RSA coloca a região de Coimbra na zona C, que apresenta um coeficiente de sismicidade superior à zona de menor sismicidade (zona D). O valor da aceleração sísmica máxima é cerca de 126% superior no RSA, para terrenos tipo A/I, sendo que esta superioridade se vai reduzindo para piores condições geotécnicas. Para terrenos tipo D/III, em períodos superiores aos referidos 0,80 segundos, verifica-se, tal como nos restantes tipos de terreno, uma superioridade dos valores recomendados pelo RSA, mas pouco significativa.

Nos espectros de resposta para a Ação Sísmica Próxima apenas no terreno tipo A/I se verifica que o espectro resultante do RSA apresenta valores superiores. Nos restantes tipos de terreno, o EC8 apresenta acelerações superiores até períodos na ordem de 1 segundo no terreno tipo C/II e em todo o período analisado no terreno tipo D/III. Neste último tipo de terreno, a diferença do valor da aceleração sísmica máxima nos dois regulamentos ascende a aproximadamente 118%, com superioridade do EC8, como referido anteriormente.

3.2.3.3 Santarém

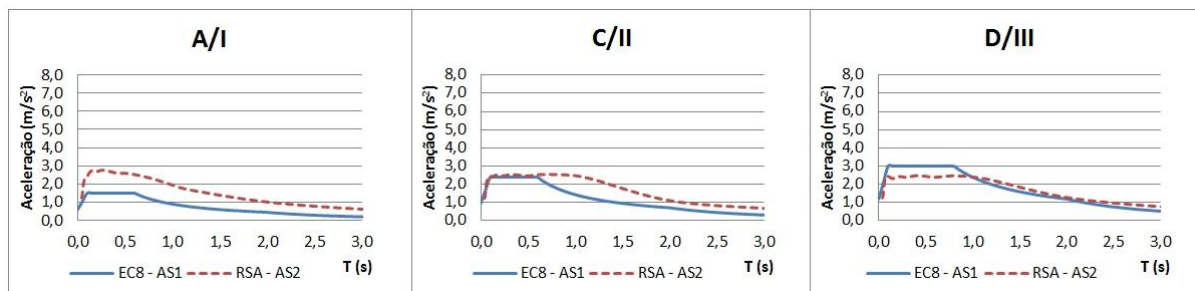


Figura 3.5 – Espectros de resposta em Santarém - Sismo Afastado

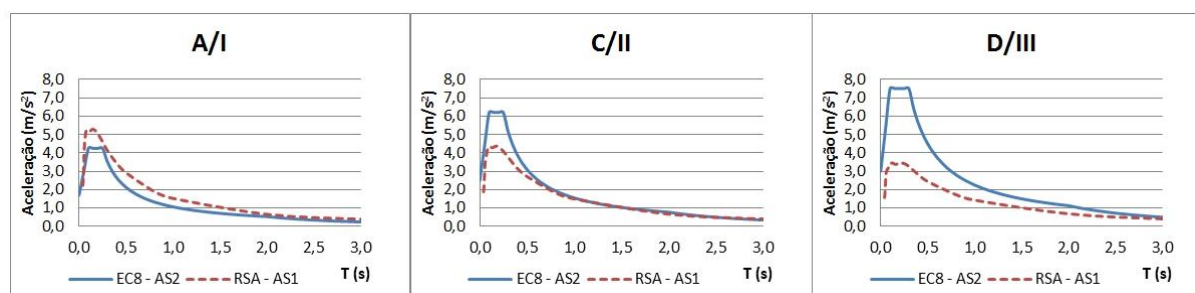


Figura 3.6 – Espectros de resposta em Santarém - Sismo Próximo

Nesta região obteve-se uma aceleração sísmica máxima de $5,28\text{m/s}^2$, num terreno tipo A, correspondente a uma Ação Sísmica Próxima de acordo com o RSA.

Observando os espectros de resposta para a Ação Sísmica Afastada constata-se que, à semelhança do que sucede em Coimbra, os valores determinados pelo espectro do RSA são superiores aos determinados pelo EC8, durante todo o período de análise, para terrenos tipo A/I e C/II. Para o terreno tipo D/III o mesmo apenas se sucede para períodos superiores a 1 segundo, sendo que a referida superioridade é muito pouco significativa. Esta diferença entre regulamentos é mais acentuada quando se analisa o valor da aceleração sísmica máxima, em terrenos tipo A/I, em que o referido valor segundo o RSA é sensivelmente 84% superior ao correspondente valor do EC8.

Na Ação Sísmica Próxima mantêm-se a superioridade do espectro de resposta do RSA, mas apenas para terrenos tipo A/I. Nos restantes tipos de terreno constata-se que o espectro de resposta do EC8 apresenta valores superiores aos do RSA, até períodos que rondam 1 segundo no terreno tipo C/II e em todo o período de análise no terreno tipo D/III. Neste último tipo de terreno verifica-se a diferença mais acentuada entre os valores máximos da aceleração sísmica, visto que o valor calculado de acordo com o EC8 é sensivelmente 116% superior ao calculado por intermédio do RSA.

3.2.3.4 Lisboa

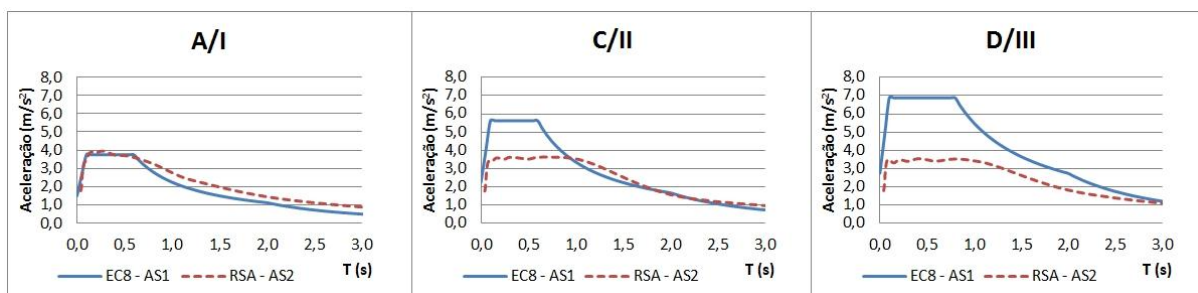


Figura 3.7 – Espectros de resposta em Lisboa - Sismo Afastado

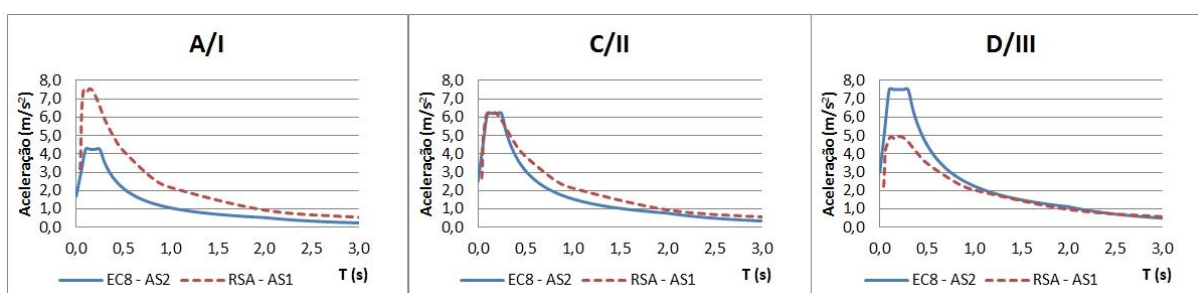


Figura 3.8 – Espectros de resposta em Lisboa - Sismo Próximo

De acordo com o RSA e com o zonamento sísmico para a Ação Sísmica Próxima do EC8, Lisboa situa-se na zona do território continental com maiores índices sísmicos. Deste modo, verifica-se nesta zona uma aceleração sísmica máxima de $7,55\text{m/s}^2$ de acordo com o RSA para a referida Ação Sísmica num terreno tipo A/I.

Analisando os espectros da Ação Sísmica Afastada constata-se que, para terrenos tipo A/I estes apresentam formas semelhantes segundo os dois regulamentos, o mesmo não se sucedendo para condições geotécnicas mais desfavoráveis. No terreno tipo A/I o espectro do RSA é ligeiramente superior ao espectro do EC8 em grande parte do período analisado e, nos restantes tipos de terreno, verifica-se que o espectro do EC8 apresenta acelerações superiores às do RSA, na zona do patamar de aceleração espectral constante, para terrenos tipo C/II e, em todo o período de análise para terrenos tipo D/III. A maior diferença entre as acelerações sísmicas máximas acontece neste último espectro, em que o valor proposto pelo EC8 é aproximadamente 94% superior ao referido pelo RSA.

Examinando agora os espectros de resposta para a Ação Sísmica Próxima verifica-se uma grande discrepância entre os valores da aceleração sísmica no espectro de terrenos tipo A/I, com clara superioridade do espectro do RSA. Comparando os valores das acelerações sísmicas máximas nos dois regulamentos verifica-se que o valor que o RSA propõe é praticamente 78% superior ao respetivo valor do EC8. Para condições geotécnicas mais desfavoráveis o mesmo não se sucede, sendo que, para um terreno tipo C/II a diferença dos valores das acelerações sísmicas máximas é praticamente nula, ainda que com alguma superioridade dos valores do RSA, o que já não sucede em terrenos tipo D/III, em que a aceleração sísmica máxima do EC8 é sensivelmente 52% superior à do RSA.

3.2.3.5 Évora

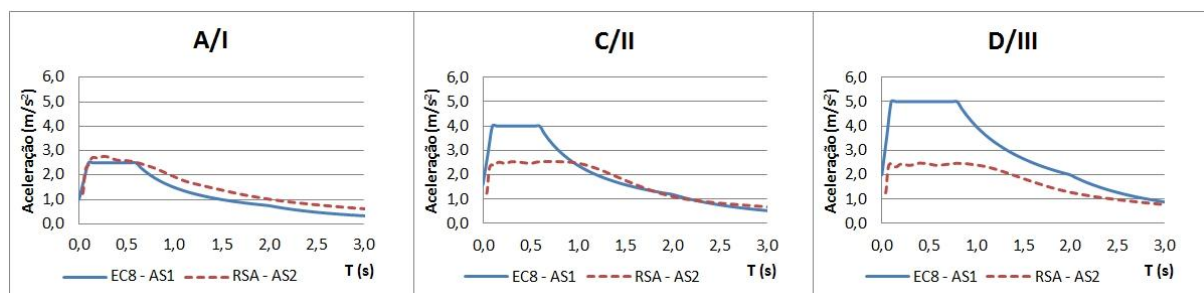


Figura 3.9 – Espectros de resposta em Évora - Sismo Afastado

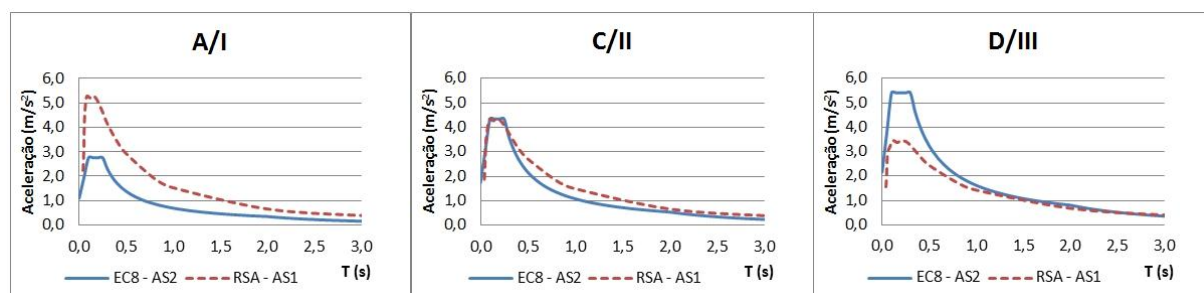


Figura 3.10 – Espectros de resposta em Évora - Sismo Próximo

Évora apresenta uma aceleração sísmica máxima, num terreno tipo A/I, de $5,28\text{m/s}^2$ de acordo com o RSA para uma Ação Sísmica Próxima.

À imagem do que sucede em Lisboa, os espectros de resposta em Évora, para a Ação Sísmica Afastada, num terreno tipo A/I, apresentam formas similares nos dois regulamentos. No referido tipo de terreno o espectro do RSA é ligeiramente superior ao espectro do EC8 na globalidade do período analisado e, nos restantes tipos de terreno, verifica-se que o espectro do EC8 apresenta acelerações claramente superiores às do RSA. Para terrenos tipo C/II essa superioridade acontece até períodos que rondam a unidade mas, para terrenos tipo D/III, acontece na globalidade do período em análise. A maior diferença entre as acelerações sísmicas máximas acontece neste último tipo de terreno em que o valor referido pelo EC8 é aproximadamente 102% superior ao referido pelo RSA.

No que diz respeito à Ação Sísmica Próxima, verificam-se valores de acelerações sísmicas superiores no espectro do RSA, para terrenos tipo A/I e C/II ao longo de quase todo o período de análise. Em terrenos tipo D/III o mesmo não se verifica até períodos inferiores a sensivelmente 1,5 segundos. As acelerações sísmicas máximas apresentam grandes variações à medida que as condições geotécnicas se agravam, sendo que, para terrenos tipo A/I a diferença ronda os 92% com superioridade para o RSA e, para terrenos tipo D/III a diferença se situa em 56% mas, desta vez, com supremacia do EC8.

3.2.3.6 Portimão

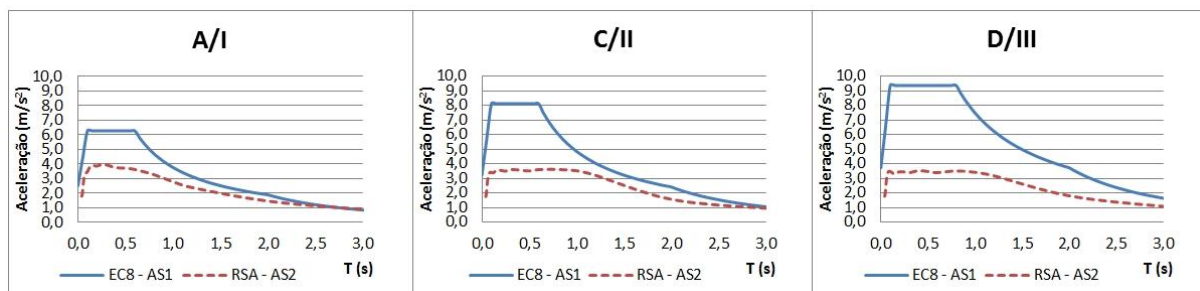


Figura 3.11 – Espectros de resposta em Portimão - Sismo Afastado

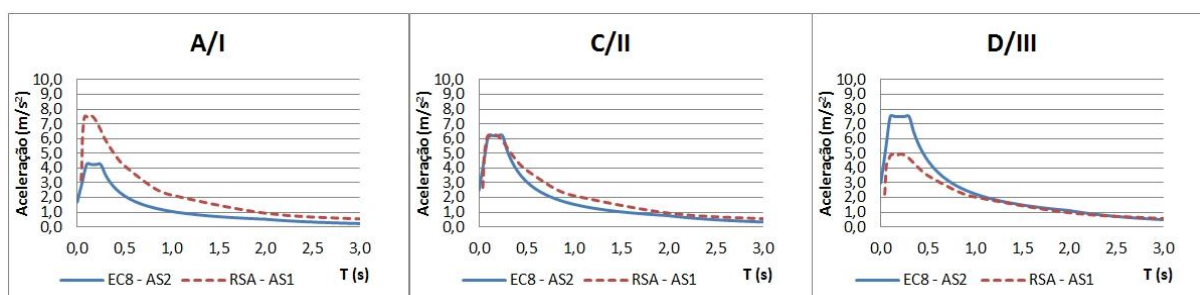


Figura 3.12 – Espectros de resposta em Portimão - Sismo Próximo

De acordo com ambos os regulamentos, Portimão situa-se na zona sísmica do território continental com maior sismicidade, resultando daí que apresente acelerações sísmicas elevadas. O valor máximo determinado, para um terreno tipo A/I, foi de $7,55\text{m/s}^2$, segundo o RSA, para a Ação Sísmica Próxima.

Observando os espectros de resposta para a Ação Sísmica Afastada nesta região, conclui-se que o EC8 apresenta acelerações sísmicas superiores em todo o período de análise e em qualquer um dos três tipos de terreno. A diferença entre os referidos valores vai aumentando consideravelmente cada vez que se consideram piores condições geotécnicas. Para terrenos tipo A/I a aceleração sísmica máxima do EC8 é 58% superior ao correspondente valor do RSA, diferença esta que aumenta para 124% em terrenos tipo C/II e para sensivelmente 165% em terrenos tipo D/III. Este último valor merece maior destaque visto tratar-se da maior discrepância entre todos os valores analisados neste trabalho. Esta variação tão acentuada justifica-se, primeiro porque o EC8 apresenta condições mais restritas nesta zona de elevada sismicidade do território nacional e em segundo lugar porque, tal como foi referido anteriormente, o RSA propõe um espectro mais leve para piores condições geotécnicas, ao contrário do EC8, aumentando ainda mais esta diferença.

Relativamente à Ação Sísmica Próxima verifica-se, à semelhança com o que acontece na região de Lisboa, uma discrepância considerável entre os valores da aceleração sísmica, no espectro de terrenos tipo A/I, com superioridade do espectro do RSA. Esta diferença vai-se atenuando para condições geotécnicas mais desfavoráveis, sendo que para um terreno tipo D/III, a aceleração sísmica máxima do EC8 chega mesmo a ser aproximadamente 52% superior à do RSA.

4

DIMENSIONAMENTO SÍSMICO DE EDIFÍCIOS

4.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo é dedicado à análise comparativa dos efeitos da ação sísmica em diferentes edifícios de betão armado, situados em diferentes zonas sísmicas e tipos de terreno, considerando os dois regulamentos em estudo, RSA e EC8. Para realizar a referida comparação, consideraram-se três zonas do território nacional, Porto, Lisboa e Portimão e três tipos de terreno distintos A, C e D do EC8 que, tal como referido no Quadro 2.3, correspondem aos terrenos I, II e III do RSA. Em cada edifício confrontaram-se os resultados obtidos dos respetivos modos de vibração, do corte basal global e ainda do deslocamento do último piso de cada estrutura.

Foram analisados 4 edifícios distintos, 2 deles são estruturas em pórtico, já estudadas em (Azevedo 2003), e os restantes 2 são estruturas mistas pórtico-parede, edifícios estes já analisados em (Dias 2008) e (Paulino 2011). Todos os edifícios apresentam as mesmas dimensões em planta, diferenciando no entanto o número de pisos e os seus elementos estruturais, tal como se apresenta de seguida, em 4.2.1.

Por fim efetuou-se o dimensionamento completo de uma parede de contraventamento de uma das estruturas da zona de Lisboa considerando um terreno A/I, com o intuito de efetuar uma comparação da quantidade dos materiais utilizados nesse dimensionamento, segundo os dois regulamentos em análise.

4.2 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

4.2.1 DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA

4.2.1.1 Estrutura em Pórtico

Os edifícios estudados, já analisados em (Azevedo 2003), são compostos por uma estrutura em pórtico nas duas direções, regular em altura e planta. As suas dimensões em planta são de $20 \times 15 \text{ m}^2$ subdivididas em módulos retangulares de $4 \times 5 \text{ m}^2$, tal como se apresenta na Figura 4.1. Foram considerados dois edifícios com esta tipologia, um de 4 pisos (PT4) e o outro de 8 pisos (PT8), ambos com uma altura entre pisos de 3,0 m.

Os modelos de cálculo utilizados nestes edifícios foram validados através dos resultados de (Azevedo 2003).

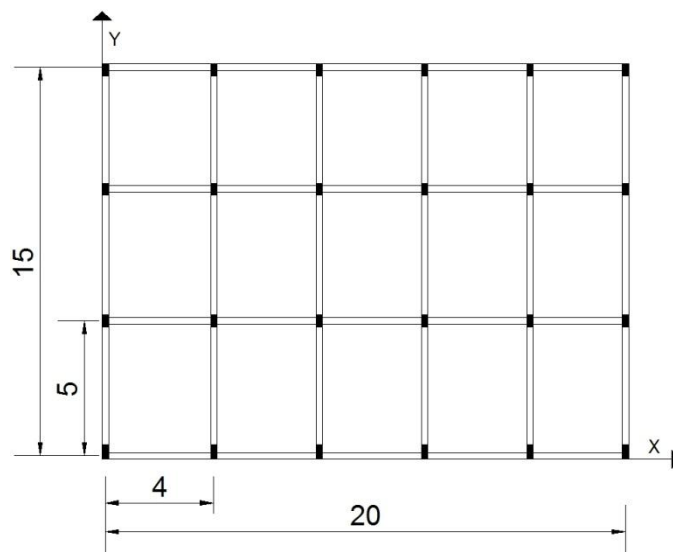


Figura 4.1 - Planta do edifício analisado

As dimensões dos elementos estruturais dos edifícios analisados são apresentadas no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 - Dimensões dos elementos estruturais

Elemento	Pisos	Dimensões (cm)	
		4 Pisos	8 Pisos
Pilares ($b_x \times b_y$)	0 – 2	30 x 40	30 x 60
	2 – 4	30 x 30	30 x 50
	4 – 6	-	30 x 40
	6 - 8	-	30 x 30
Vigas ($b \times h$)	1 - 8	20 x 50	20 x 60
Lajes (e)	1 - 8	15	15

Nos pilares, “ b_x ” e “ b_y ” correspondem às dimensões paralelas ao eixo x e ao eixo y respetivamente, eixos esses definidos na Figura 4.1. No caso das vigas, “b” corresponde à base e “h” à altura e finalmente, nas lajes e paredes “e” corresponde à espessura.

Os materiais utilizados foram o betão C25/30 e o aço A500.

4.2.1.2 Estrutura mista pórtico-parede

Os edifícios estudados foram já alvo de análise em (Dias 2008) e (Paulino 2011), ainda que com diferentes números de pisos. Os referidos edifícios são compostos por uma estrutura mista pórtico-parede, regular em altura e planta. As suas dimensões em planta são de $20 \times 15 \text{ m}^2$ subdivididas em módulos retangulares de $4 \times 5 \text{ m}^2$. Este edifício distingue-se do apresentado anteriormente pois apresenta ainda 4 paredes de contraventamento, 2 em cada direção principal, x e y, tal como se apresenta na Figura 4.2. Foram considerados dois edifícios com esta tipologia, um de 8 pisos (EM8) e outro de 16 pisos (EM16), ambos com uma altura entre pisos de 3,0 m.

A validação do modelo de cálculo foi feita por intermédio dos valores obtidos dos trabalhos anteriormente referidos, para um edifício de 12 pisos. Após validados foram efetuadas alterações quer ao nível dos pisos quer ao nível dos elementos estruturais e suas dimensões, como de seguida se explica.

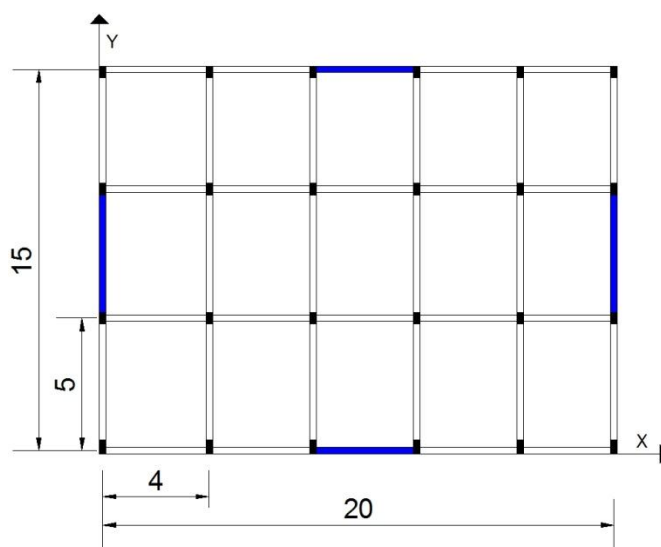


Figura 4.2 - Planta do edifício analisado

As dimensões dos elementos estruturais dos edifícios analisados são apresentadas no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 - Dimensões dos elementos estruturais

Elemento	Pisos	Dimensões (cm)	
		8 Pisos	16 Pisos
Pilares ($b_x \times b_y$)	0 – 2	30 x 60	40 x 80
	2 – 4	30 x 50	40 x 80
	4 – 6	30 x 40	40 x 60
	6 – 8	30 x 30	40 x 60
	8 – 10	-	30 x 60
	10 – 12	-	30 x 50
	12 – 14	-	30 x 40
	14 – 16	-	30 x 30
Vigas ($b \times h$)	1 - 16	20 x 60	20 x 60
Lajes (e)	1 - 16	15	15
Paredes (e)	0 - 16	30	30

Nos pilares, “ b_x ” e “ b_y ” correspondem às dimensões paralelas ao eixo x e ao eixo y respetivamente, eixos esses definidos na Figura 4.2. No caso das vigas, “b” corresponde à base e “h” à altura e finalmente, nas lajes e paredes “e” corresponde à espessura.

Os materiais utilizados foram o betão C25/30 e o aço A500.

4.2.2 QUANTIFICAÇÃO DAS AÇÕES

Os edifícios em estudo estão sujeitos a ações gravíticas, nomeadamente o peso próprio, restantes cargas permanentes e sobrecarga e também à ação sísmica. No presente estudo não foi considerada a ação do vento, uma vez que, os objetivos deste estudo se centram na comparação dos efeitos da ação sísmica como foi referido anteriormente. As referidas cargas são detalhadas seguidamente.

4.2.2.1 Ações Gravíticas

Foram consideradas como ações gravíticas, em todos os pisos das estruturas, uma sobrecarga de 2,0 kN/m² ($\Psi_2 = 0,3$) e para as restantes cargas permanentes um valor de 2,5 kN/m², para além do peso próprio da estrutura. As referidas ações foram consideradas com igual valor nos dois regulamentos em estudo, para que fosse possível uma comparação mais correta entre os mesmos.

4.2.2.2 Ação Sísmica

Como referido anteriormente foram considerados diferentes tipos de terreno e zonas sísmicas nesta análise. As referidas zonas e os respetivos parâmetros sísmicos relevantes são apresentados no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Zonas sísmicas das diferentes regiões a analisar segundo o EC8 e o RSA

Cidade	EC8				RSA	
	Ação Sísmica Tipo 1		Ação Sísmica Tipo 2		Zona Sísmica	α
	Zona Sísmica	$a_{gR}(m/s^2)$	Zona Sísmica	$a_{gR}(m/s^2)$		
Porto	1.6	0,35	2.5	0,8	D	0,3
Lisboa	1.3	1,5	2.3	1,7	A	1,0
Portimão	1.1	2,5	2.3	1,7	A	1,0

Todos os edifícios apresentam uma classe de importância II (edifícios correntes).

O coeficiente de amortecimento adotado nas estruturas foi de 5% em ambos os regulamentos.

Os coeficientes de comportamento adotados nas diferentes estruturas e regulamentos estão apresentados no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 - Coeficientes de Comportamento utilizados nos dois regulamentos

Estrutura	EC8		RSA
	Ductilidade Média		Ductilidade Melhorada
	α_u/α_1	q	q
Pórtico	1,3	3,9	3,5
Pórtico-Parede	1,2	3,6	2,5

Como se pode verificar pelo quadro anteriormente apresentado, adotou-se um dimensionamento para a classe de ductilidade média, segundo o EC8. Esta decisão justifica-se, essencialmente para estruturas mistas pórtico-parede, uma vez que conduz a uma solução mais económica face às restantes classes de dimensionamento, facto este que assume especial importância em estruturas com bastantes pisos, tema este que foi alvo de estudo em outros trabalhos, nomeadamente em (Dias 2008).

Relativamente ao RSA considerou-se a classe de ductilidade melhorada uma vez que o seu dimensionamento apresenta grandes semelhanças com o dimensionamento para a classe de ductilidade média do EC8, permitindo assim retirar melhores conclusões da comparação dos dois regulamentos.

Utilizando os parâmetros anteriormente apresentados é possível determinar os espectros de resposta sísmica de cálculo que definem a ação a aplicar à estrutura. Assim, os referidos espectros foram calculados através das expressões (2.5) a (2.8), de acordo com o EC8, enquanto que, os resultados relativos ao RSA derivam da utilização de uma folha de cálculo produzida no âmbito deste tema pelo Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL Fevereiro de 2012).

Os espectros de resposta sísmica de cálculo determinados segundo o RSA derivam dos espectros de resposta elástica utilizados no Capítulo 3, distinguindo-se destes pelo facto de serem divididos pelo coeficiente de comportamento da estrutura, q .

Para que exista um melhor encadeamento do conteúdo deste trabalho, os referidos espectros de resposta serão expostos anteriormente à análise de resultados em cada uma das zonas analisadas.

4.2.2.3 Verificação de segurança aos estados limites últimos – Combinações consideradas

Na verificação de segurança das estruturas aos estados limites últimos foram consideradas as 2 seguintes combinações. A combinação fundamental com ação de base sobrecarga que é distinta nos dois regulamentos e a ação de base sismo que é semelhante nos dois regulamentos. As expressões (4.1) e (4.2) são as combinações com ação de base sobrecarga do RSA e EC8, respetivamente, e as expressões (4.3) e (4.4) as combinações da ação sísmica com outras ações do RSA e EC8, respetivamente, como já foi exposta no ponto 2.2.1.5 deste trabalho.

$$S_d = \sum 1,5S_{Gk} + \sum 1,5S_{Qk} \quad (4.1)$$

$$E_d = \sum 1,35S_{Gk} + \sum 1,5S_{Qk} \quad (4.2)$$

$$S_d = \sum_{i=1}^m S_{Gik} + \gamma_q S_{Ek} + \sum_{j=2}^n \Psi_{2j} S_{Qjk} \quad (4.3)$$

$$E_d = \sum_j G_{k,j} + A_{Ed} + \sum_i \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (4.4)$$

No EC8 está ainda definida a combinação dos efeitos das componentes da ação sísmica, que visa combinar a ação sísmica nas duas direções principais em que o edifício se desenvolve, x e y , tal como apresentado anteriormente nas expressões (2.10) e (2.11). Esta combinação não está, no entanto, definida no RSA, tal como se expôs em 2.2.1.4. Ainda assim, para que se obtenham resultados corretamente comparáveis, a referida combinação foi também considerada na análise efetuada de acordo com o RSA.

4.2.3 MODELAÇÃO DAS ESTRUTURAS

A modelação e respetiva análise de todos os edifícios deste trabalho foram realizadas através do programa de cálculo SAP2000®, desenvolvido pela CSI. Cada um dos edifícios em estudo foi modelado com modelos 3D completos, como o que se apresenta na Figura 4.3, com os quais se procedeu à análise linear elástica dos referidos edifícios.

Para a simulação das vigas e dos pilares foram utilizados elementos de barras com seis graus de liberdade por nó e, para a simulação das lajes, foram considerados elementos finitos de casca de 4 nós, com dimensões máximas de $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$. Todos os pilares estão perfeitamente encastrados ao nível das fundações e considerou-se todos os pisos como diafragmas rígidos no seu plano.

Nas estruturas mistas pórtico-parede as paredes foram modeladas, tal como as vigas e os pilares, por elementos de barras com seis graus de liberdade por nó. No entanto poderia ter sido considerada a modelação das referidas paredes por elementos finitos de casca como foi utilizado nas lajes das estruturas. Optou-se pela modelação por elementos de barras visto que, de acordo com trabalhos anteriores, nomeadamente (Paulino 2011), esta solução apresenta resultados confiáveis e credíveis tendo a grande vantagem, face aos elementos finitos de casca, de não sobrecarregar o modelo da estrutura, trabalhando-se assim sobre um modelo de simples aplicação.

De modo a conferir uma adequada ligação das paredes aos restantes elementos estruturais incluíram-se no modelo elementos de barras rígidos para simular melhor o comportamento de flexão na maior inércia da parede, estratégia esta já analisada por (Paulino 2011). As referidas barras foram colocadas como vigas fictícias, entre as vigas à esquerda e à direita das paredes resistentes. As características de corte, torsão e inércia foram multiplicadas por 1 milhão para conferir o efeito de elemento rígido pretendido. A seção das barras é de $0,1 \times 0,1 \text{ m}^2$ e não apresentam massa nem peso.

No dimensionamento dos edifícios de acordo com o EC8 teve-se em conta o efeito da fendilhação dos elementos primários, tal como indicado no artigo 4.3.1(7) do referido regulamento. Assim, adotou-se uma redução de 50% da rigidez desses elementos. No entanto esta redução não foi utilizada no dimensionamento dos edifícios de acordo com o RSA, até porque o referido regulamento não atende a este efeito da fendilhação.

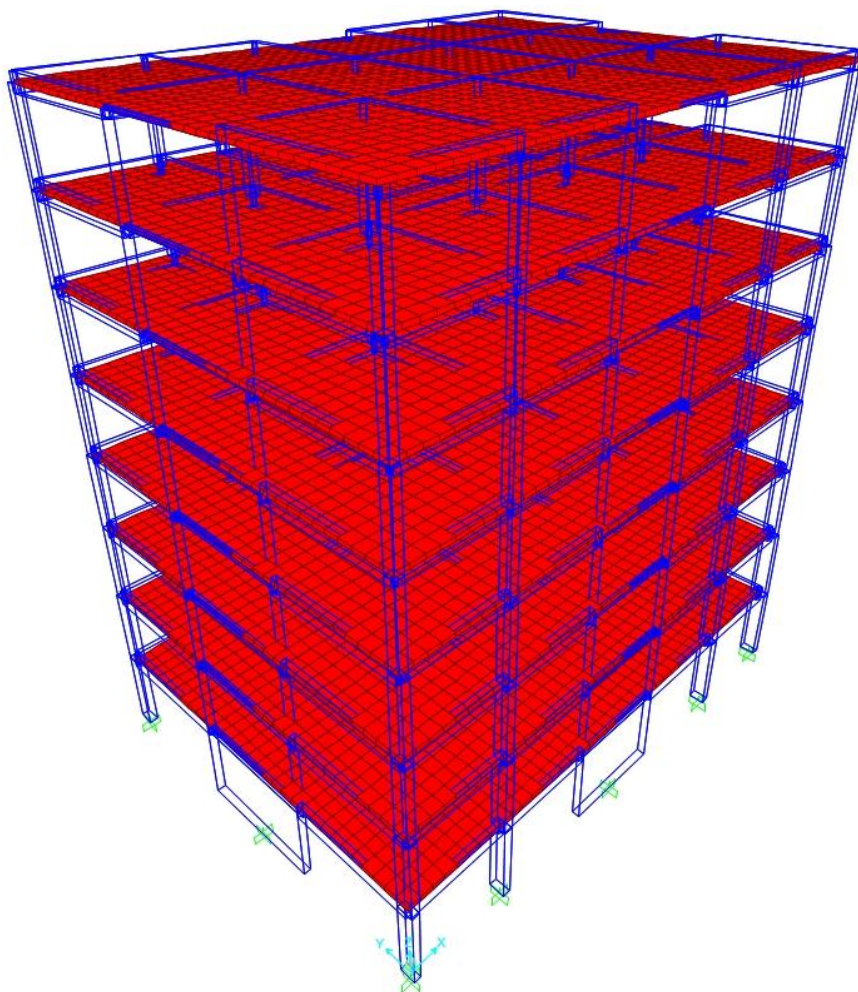


Figura 4.3 - Modelo 3D de um dos edifícios

4.2.4 FREQUÊNCIAS DOS MODOS DE VIBRAÇÃO

Na análise modal das estruturas foram considerados 12 modos de vibração, no entanto, apenas serão apresentados e discutidos nesta análise os 3 principais modos de vibração, uma vez que são os modos de vibração que maior contribuição apresentam na resposta das estruturas. As frequências dos 3 principais modos de vibração estão expostas no Quadro 4.5 e nas Figura 4.4 a Figura 4.6 apresentam-se uma representação dos referidos modos. No referido quadro considerou-se, novamente, como base de comparação dos valores das frequências o RSA, ou seja, os valores da diferença percentual negativos correspondem a uma redução da frequência de vibração do EC8 em relação ao RSA.

Quadro 4.5 - Frequências dos 3 principais modos de vibração

Estrutura	1º modo de vibração			2º modo de vibração			3º modo de vibração		
	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	1,463	1,050	-39	1,563	1,136	-38	1,809	1,303	-39
PT8	0,891	0,637	-40	1,088	0,790	-38	1,213	0,872	-39
EM8	1,524	1,102	-38	1,800	1,300	-38	2,542	1,831	-39
EM16	0,682	0,522	-30	0,743	0,568	-31	1,020	0,794	-28

Analisando o Quadro 4.5 verifica-se que, tal como expectável, as frequências dos modos de vibração do RSA são em todas as estruturas superiores às respetivas frequências de acordo com o EC8. As variações das frequências apresentam bastante semelhança nas estruturas PT4, PT8 e EM8 uma vez que variam entre os 30% e os 40%, apenas a estrutura EM16 se distancia um pouco destes valores, uma vez que a variação se verifica entre 28% e 31%.

Esta diferença deve-se à redução de 50% da rigidez dos elementos primários das estruturas dimensionadas segundo o EC8 como já foi exposto anteriormente. Isto porque a rigidez e a frequência são diretamente proporcionais e portanto, maior rigidez implica frequências mais elevadas.

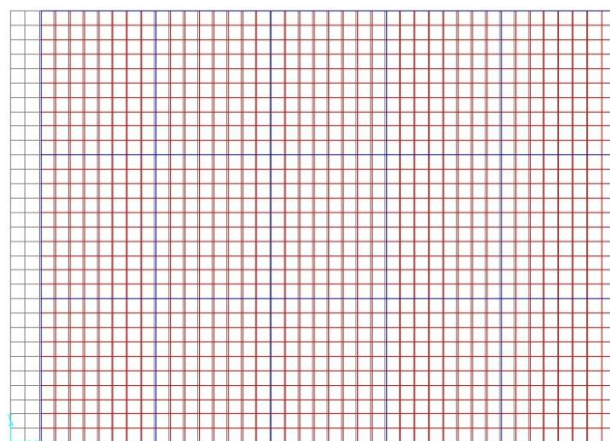


Figura 4.4 - Translação segundo a direção x, 1º modo de vibração

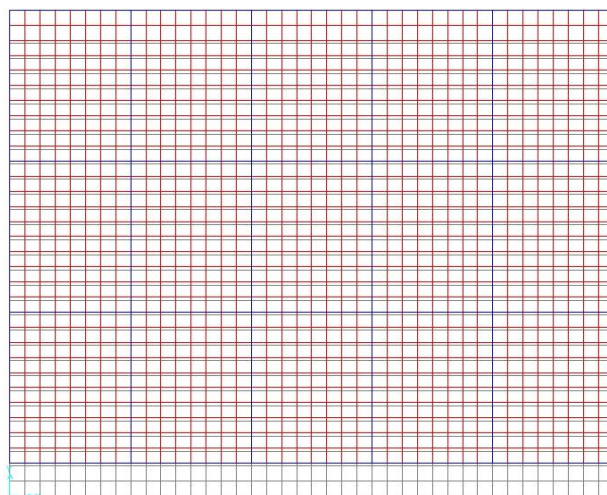


Figura 4.5 - Translação segundo a direção y, 2º modo de vibração

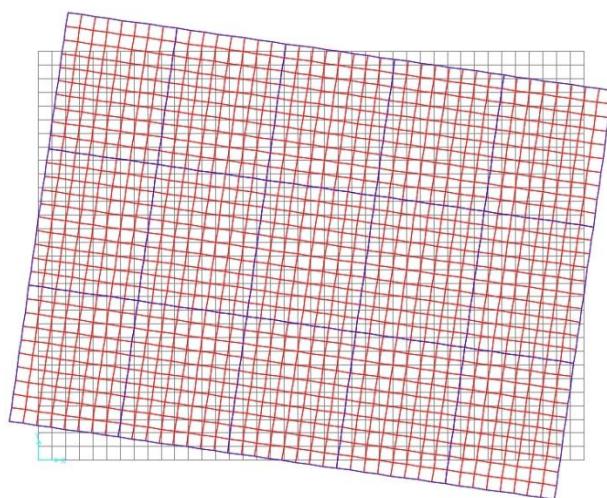


Figura 4.6 - Torção, 3º modo de vibração

4.3 RESULTADOS

Tal como foi referido anteriormente, realizaram-se análises sísmicas em 4 edifícios distintos, designados por PT4, PT8, EM8 e EM16. Cada edifício foi alvo de análise em 3 diferentes zonas, Porto, Lisboa e Portimão e considerando 3 tipos de terreno distintos, A/I, C/II e D/III (EC8/RSA). Na referida análise, que visa a comparação de resultados entre os dois regulamentos em estudo, EC8 e RSA, foram estudados três parâmetros de cada estrutura. Nomeadamente a frequência dos principais modos de vibração, já apresentadas no Quadro 4.5, o deslocamento do topo do edifício e ainda o corte basal global da estrutura.

Esta metodologia foi adotada de forma sistemática para todos os edifícios, no entanto, apresenta-se previamente e de uma forma mais detalhada a análise da estrutura porticada de 4 pisos, PT4, para a zona do Porto e considerando um terreno de referência tipo A/I. A referida análise envolveu as frequências dos primeiros 6 modos de vibração, as correspondentes acelerações sísmicas aplicadas à estrutura, os deslocamentos máximos por piso da estrutura e os respetivos “drifts” entre pisos e ainda o corte basal global da estrutura. A análise deste edifício apresentada de seguida.

4.3.1 PORTO

4.3.1.1 Estrutura PT4 – A/I

- Frequências dos modos de vibração

Tal como referido em 4.2.4 em todas as análises foram considerados 12 modos de vibração, 6 dos quais são apresentados no Quadro 4.6. Os primeiros 3 modos de vibração são os mais importantes na resposta da estrutura e correspondem às translações nas direções x e y e ainda um modo torsional como foram ilustrados nas figuras Figura 4.4, Figura 4.5 e Figura 4.6. Os restantes modos de vibração correspondem aos segundos modos de translações em x e y da estrutura, respetivamente, e finalmente o sexto modo de vibração corresponde ao segundo modo torsional da estrutura.

Quadro 4.6 - Frequências dos primeiros 6 modos de vibração

Modo de Vibração	Frequência (Hz)		
	RSA	EC8	Diferença (%)
1	1,46	1,05	-39
2	1,56	1,14	-38
3	1,81	1,30	-39
4	4,19	3,00	-40
5	4,41	3,18	-39
6	5,12	3,66	-40

Como seria expectável as frequências dos modos de vibração do RSA são sempre superiores às correspondentes frequências do EC8. Esta diferença deve-se ao facto de o EC8 indicar uma redução de 50% da rigidez dos elementos primários da estrutura que resulta numa redução das correspondentes frequências de vibração. A diferença verificada nestes 6 modos de vibração é aproximadamente constante, rondando os 40%.

- Acelerações Sísmicas

Associadas as frequências anteriormente apresentadas estão acelerações sísmicas aplicadas à estrutura. As acelerações espectrais correspondentes aos 3 primeiros modos de vibração apresentam-se de seguida, no Quadro 4.7.

Quadro 4.7 - Acelerações Espectrais

Modo de Vibração	Acelerações Espectrais, S_d (m/s^2)					
	Sismo Afastado			Sismo Próximo		
	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
1	0,296	0,142	-109	0,281	0,160	-76
2	0,303	0,154	-97	0,299	0,160	-87
3	0,313	0,175	-79	0,336	0,167	-101

Analisando o Quadro 4.7 constata-se uma clara superioridade das acelerações obtidas segundo o RSA. Pelo facto de o RSA apresentar frequências de vibração superiores ao EC8, os seus períodos vão, consequentemente, ser inferiores, resultando daí que as acelerações sísmicas determinadas pelo RSA estejam numa zona mais gravosa do espectro de resposta, como pode ser confirmado na Figura 4.7 que se apresenta de seguida.

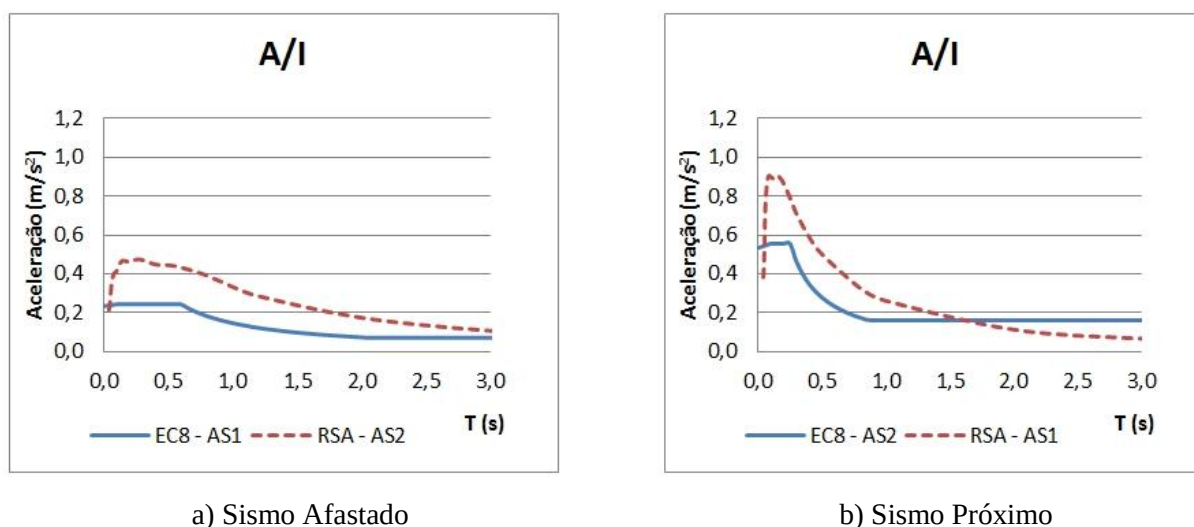


Figura 4.7 - Espectros de cálculo – Estrutura em Pórtico (Porto, terreno tipo A/I)

- Deslocamentos Máximos

Nos seguintes quadros e figuras apresentam-se os deslocamentos máximos por piso, da estrutura PT4.

Quadro 4.8 - Deslocamentos Máximos por piso, Sismo Afastado

Deslocamentos (cm) – Sismo Afastado							
Estrutura	Piso	Deslocamento x (cm)			Deslocamento y (cm)		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	4	1,57	1,62	3	1,43	1,53	7
	3	1,33	1,37	3	1,16	1,24	7
	2	0,89	0,93	4	0,68	0,72	7
	1	0,43	0,45	5	0,30	0,32	9

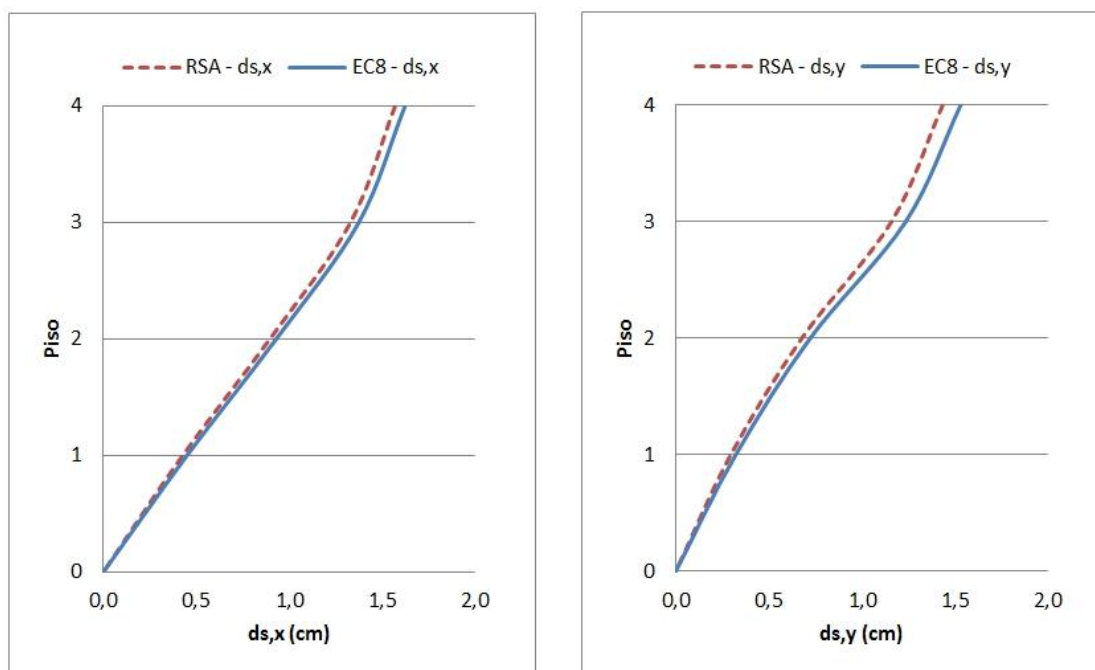


Figura 4.8 - Deslocamentos máximos por piso, Sismo Afastado

Pela análise do Quadro 4.8 e da Figura 4.8 verifica-se que, tal como esperado, os deslocamentos máximos por piso apresentam valores superiores segundo o EC8, sendo que a referida diferença é, neste caso concreto inferior a 10%. Tal como foi mencionado anteriormente, esta superioridade dos deslocamentos deve-se à redução de rigidez dos elementos primários da estrutura preconizada pelo EC8. No caso dos deslocamentos, menor rigidez implica maiores deslocamentos, resultando daí a superioridade de valores dos deslocamentos do EC8.

No entanto, pelo facto de a frequência dos modos de vibração desta estrutura ser superior segundo o RSA, a diferença dos deslocamentos é consideravelmente baixa, neste caso concreto. Isto porque, a frequências superiores estão associados períodos mais baixos, resultando daí, neste caso, acelerações sísmicas superiores de acordo com o RSA, tal como foi apresentado anteriormente.

O Quadro 4.9 e a Figura 4.9 apresentam os deslocamentos máximos por piso para o sismo próximo.

Quadro 4.9 - Deslocamentos Máximos por piso, Sismo Próximo

Deslocamentos (cm) – Sismo Próximo							
Estrutura	Piso	Deslocamento x (cm)			Deslocamento y (cm)		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	4	1,49	1,84	23	1,42	1,61	13
	3	1,26	1,55	23	1,15	1,29	13
	2	0,86	1,06	23	0,68	0,77	14
	1	0,41	0,52	26	0,30	0,36	18

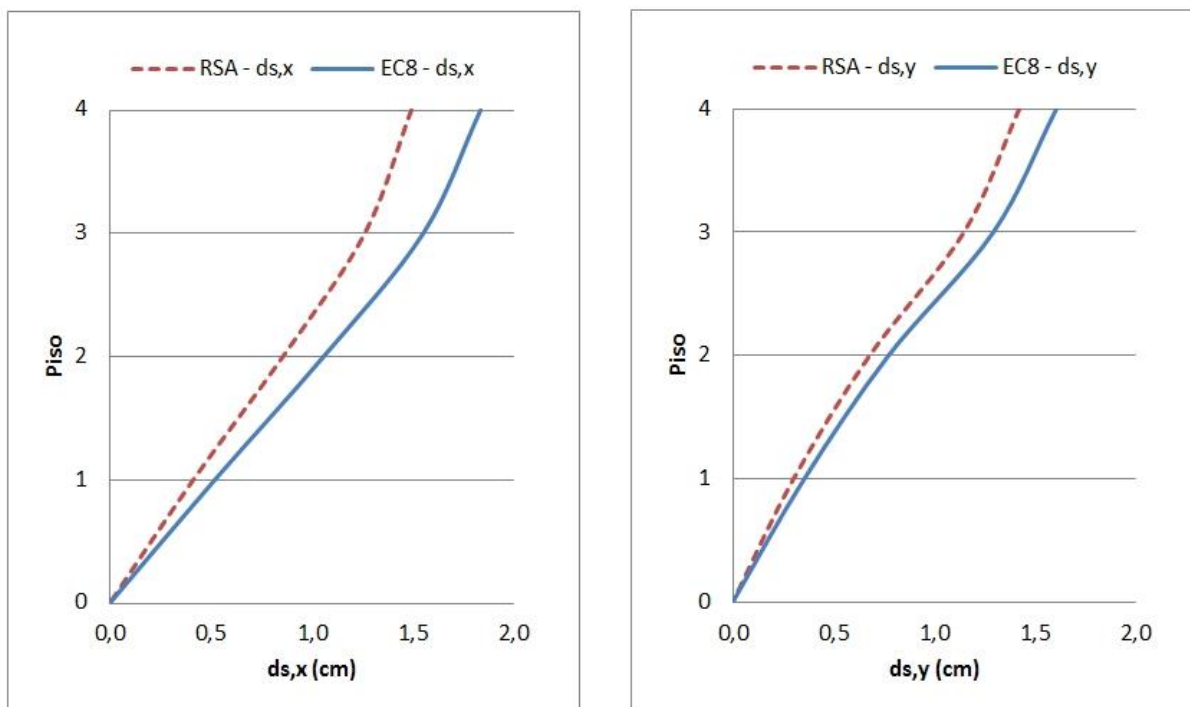


Figura 4.9 - Deslocamentos Máximos por piso, Sismo Próximo

Considerando o sismo próximo, os deslocamentos obtidos para o EC8 também apresentam valores superiores aos obtidos pelo RSA. No entanto, a superioridade para este tipo de ação apresenta maior dimensão, uma vez que a máxima diferença entre regulamentos se situa, aproximadamente, nos 26%.

- “Drifts” entre pisos

Através dos deslocamentos máximos por piso que anteriormente foram apresentados e, considerando que o primeiro modo em cada direção tem a maior parte da contribuição total da resposta da estrutura, os “drifts” entre pisos podem ser determinados como sendo a subtração dos deslocamentos máximos entre pisos consecutivos, divididos pela correspondente altura do piso.

Os valores dos referidos parâmetros estão apresentados, em função da ação sísmica considerada, nos seguintes quadros e figuras.

Quadro 4.10 - "Drift" entre pisos, Sismo Afastado

Drift (‰) – Sismo Afastado					
Estrutura	Piso	Drift x (‰)		Drift y (‰)	
		RSA	EC8	RSA	EC8
PT4	4	0,80	0,83	0,92	0,99
	3	1,45	1,48	1,61	1,71
	2	1,56	1,60	1,27	1,33
	1	1,42	1,50	0,98	1,07

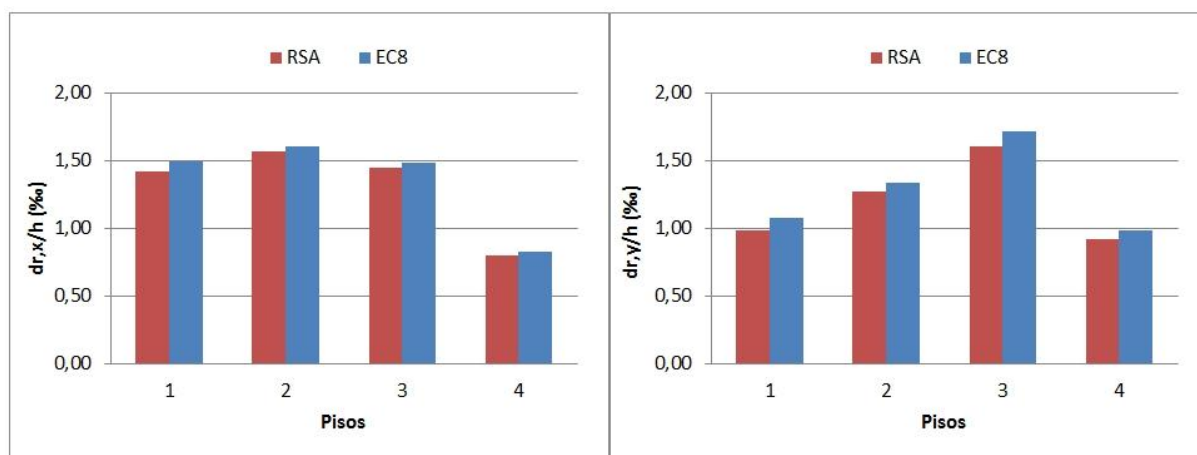


Figura 4.10 - "Drifts" entre pisos, Sismo Afastado

Analisando os dados atrás expostos verifica-se que o “drift” mais significativo surge, de acordo com o EC8 e, situa-se entre os pisos 2 e 3 assumindo o valor de 1,71‰, na direção y.

Nenhum dos valores dos “drifts” entre pisos determinados atinge o limite imposto pelo EC8. O RSA não define qualquer limite máximo para o “drift” entre pisos de uma estrutura.

Quadro 4.11 - "Drifts" entre pisos, Sismo Próximo

Drifts (‰) – Sismo Próximo					
Estrutura	Piso	Drifts x (‰)		Drifts y (‰)	
		RSA	EC8	RSA	EC8
PT4	4	0,77	0,95	0,91	1,04
	3	1,35	1,65	1,56	1,73
	2	1,48	1,79	1,26	1,39
	1	1,38	1,73	1,01	1,18

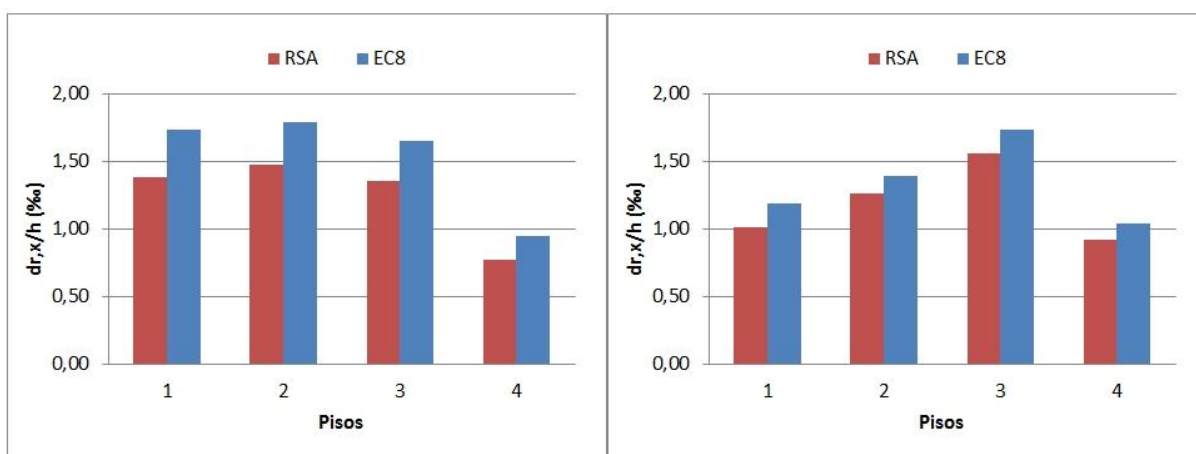


Figura 4.11 - "Drifts" entre pisos, Sismo Afastado

Tal como os valores obtidos para uma ação sísmica afastada, o “drift” entre pisos máximo é obtido de acordo com o EC8. Neste caso o valor máximo é de 1,79‰ na direção x, entre os pisos 1 e 2.

Nenhum dos valores dos “drifts” entre pisos determinados atinge o limite imposto pelo EC8. O RSA não define qualquer limite máximo para o “drift” entre pisos de uma estrutura.

- Corte Basal

Seguidamente apresentam-se os Quadro 4.12 e Quadro 4.13 respeitantes ao corte basal da estrutura para o sismo afastado e para o sismo próximo, respetivamente.

As forças F_x e F_y correspondem às forças basais na direção x e y respetivamente e, o momento M_y e M_x correspondem aos momentos basais na direção y e x respetivamente.

$S_{d,x}$ e $S_{d,y}$ correspondem às acelerações espectrais na direção x e y, respetivamente.

Quadro 4.12 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado

Corte Basal – Sismo Afastado								
Direção	S_d (m/s ²)	S_d (m/s ²)			Força Basal	A / I		
		RSA	EC8	Diferença (%)		RSA	EC8	Diferença (%)
x	$S_{d,x}$	0,296	0,142	-109	F_x (kN)	275	133	-107
					M_y (kN.m)	2397	1147	-109
y	$S_{d,y}$	0,303	0,154	-97	F_y (kN)	267	137	-95
					M_x (kN.m)	2372	1200	-98

Quadro 4.13 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo

Corte Basal – Sismo Próximo								
Direção	S_d (m/s ²)	S_d (m/s ²)			Força Basal	A / I		
		RSA	EC8	Diferença (%)		RSA	EC8	Diferença (%)
x	$S_{d,x}$	0,281	0,160	-76	F_x (kN)	268	155	-73
					M_y (kN.m)	2276	1296	-76
y	$S_{d,y}$	0,299	0,160	-87	F_y (kN)	276	154	-79
					M_x (kN.m)	2347	1255	-87

Examinando os quadros Quadro 4.12 e Quadro 4.13 constata-se que existe uma redução geral dos valores do corte basal da estrutura determinados pelo EC8 face ao RSA, concordante com a redução verificada nas acelerações espectrais para ambas as direções. Essa redução é mais significativa quando se analisa a ação sísmica afastada visto que, por exemplo o momento M_y é cerca de 109% inferior de acordo com o EC8, valor esse que atinge uma redução de aproximadamente 76% na ação sísmica próxima.

Ainda assim todos os valores apresentados merecem destaque uma vez que a menor diferença se situa aproximadamente em 73%, que representa uma desigualdade importante. Estas desigualdades devem-se novamente ao facto de as acelerações sísmicas aplicadas á estrutura serem superiores segundo o RSA, tal como foi discutido anteriormente.

4.3.1.2 Estruturas em Pórtico

- Espectros de resposta de cálculo

Na Figura 4.12 e no Quadro 4.14 apresentam-se, respetivamente, os espectros de resposta de cálculo e as correspondentes acelerações espectrais consideradas no dimensionamento das estruturas em Pórtico, na zona do Porto, para o sismo afastado.

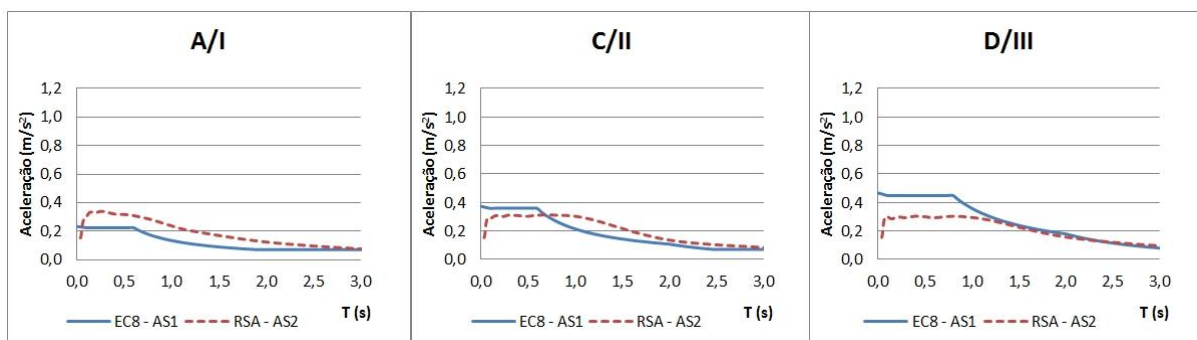


Figura 4.12 - Espectros de resposta de cálculo no Porto - estrutura em Pórtico, Sismo Afastado

Quadro 4.14 - Acelerações Espectrais no Porto - estrutura em Pórtico, Sismo Afastado

Acelerações Espectrais, S_d (m/s^2), Sismo Afastado										
Estrutura	Modo de Vibração	A/I			C/II			D/III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	1	0,296	0,142	-109	0,311	0,226	-37	0,297	0,377	27
	2	0,303	0,154	-97	0,311	0,245	-27	0,295	0,408	38
PT8	1	0,217	0,086	-152	0,287	0,137	-109	0,282	0,229	-23
	2	0,255	0,107	-139	0,307	0,170	-80	0,298	0,284	-5

Na Figura 4.13 e no Quadro 4.15 apresentam-se, respetivamente, os espectros de resposta de cálculo e as correspondentes acelerações espectrais consideradas no dimensionamento das estruturas em Pórtico, na zona do Porto, para o sismo próximo.

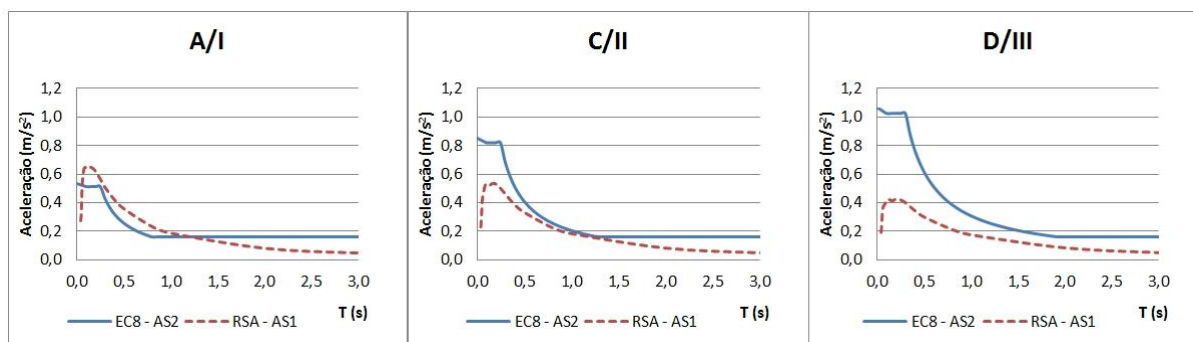


Figura 4.13 - Espectros de resposta de cálculo no Porto - estrutura em Pórtico, Sismo Próximo

Quadro 4.15 - Acelerações Espectrais no Porto - estrutura em Pórtico, Sismo Próximo

Acelerações Espectrais, S_d (m/s^2), Sismo Próximo										
Estrutura	Modo de Vibração	A/I			C/II			D/III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	1	0,282	0,160	-76	0,266	0,215	-24	0,246	0,323	32
	2	0,299	0,160	-87	0,282	0,233	-21	0,258	0,350	35
PT8	1	0,174	0,160	-9	0,171	0,160	-7	0,164	0,196	20
	2	0,206	0,160	-29	0,200	0,163	-23	0,190	0,243	28

- Deslocamento no topo da estrutura

No Quadro 4.16 apresentam-se os deslocamentos máximos no topo da estrutura para o sismo afastado.

Quadro 4.16 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Afastado

Deslocamentos (cm) – Sismo Afastado							
Estrutura	Tipo de Terreno	Deslocamento x (cm)			Deslocamento y (cm)		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	A / I	1,57	1,62	3	1,43	1,53	7
	C / II	1,65	2,59	58	1,47	2,44	66
	D / III	1,57	4,32	174	1,40	4,08	192
PT8	A / I	3,24	2,81	-15	2,68	2,40	-12
	C / II	4,30	4,51	5	3,23	3,83	19
	D / III	4,22	7,48	77	3,14	6,36	102

No terreno de referência em Portugal, um terreno tipo A/I, verificam-se ligeiras diferenças entre os dois regulamentos. Na estrutura PT4 os deslocamentos do EC8 são superiores em ambas as direções, sendo a maior diferença na direção y (cerca de 7%). Já na estrutura PT8 a situação inverte-se, uma vez que os deslocamentos obtidos pelo RSA são superiores, em ambas as direções, face aos valores do EC8. Na direção x a superioridade é cerca de 15% e 12% na direção y.

Observando o Quadro 4.16 constata-se que apenas na estrutura PT8 considerando um terreno tipo A/I os deslocamentos no topo da estrutura obtidos pelo RSA são superiores aos valores determinados segundo o EC8. Nos restantes casos os deslocamentos do EC8 são claramente superiores aos deslocamentos do RSA, sendo que a maior diferença acontece na estrutura PT4 considerando um terreno tipo D/III, em que os deslocamentos na direção y atingem uma diferença de valores de sensivelmente 192%.

Esta disparidade de valores é explicada por dois fatores distintos. Primeiro porque o RSA apresenta, em alguns casos, um espectro menos gravoso para piores condições geotécnicas, ao contrário do que EC8 propõe. Em segundo lugar porque no dimensionamento sísmico segundo o EC8 é definido uma redução de 50% da rigidez dos elementos primários da estrutura, como referido em 4.2.3, que resulta num aumento dos deslocamentos da mesma.

Seguidamente apresentam-se, no Quadro 4.17, os deslocamentos máximos no topo da estrutura para o sismo próximo.

Quadro 4.17 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Próximo

Deslocamentos (cm) – Sismo Próximo							
Estrutura	Tipo de Terreno	Deslocamento x (cm)			Deslocamento y (cm)		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	A / I	1,49	1,84	23	1,42	1,61	13
	C / II	1,41	2,48	75	1,34	2,34	75
	D / III	1,30	3,71	185	1,22	3,51	187
PT8	A / I	2,61	5,22	100	2,18	3,59	65
	C / II	2,56	5,24	105	2,12	3,68	74
	D / III	2,46	6,44	162	2,01	5,50	173

À semelhança do que sucede na consideração de uma ação sísmica afastada, os deslocamentos obtidos de acordo com o EC8 são claramente superiores aos respetivos valores determinados pelo RSA. Nesta ação os deslocamentos determinados pelo EC8 são superiores aos do RSA em todos os casos analisados, sendo que a maior discrepância acontece na estrutura PT4 num terreno tipo D/III e na direção y, em que a desigualdade ascende a cerca de 187%.

Os deslocamentos nas duas direções são semelhante na generalidade dos casos, no entanto verificam-se algumas diferenças neste aspeto, essencialmente na estrutura PT8.

- Corte Basal

Seguidamente apresentam-se os Quadro 4.18 e Quadro 4.19 respeitantes ao corte basal da estrutura para o sismo afastado nas direções x e y respetivamente.

Quadro 4.18 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção x

Corte Basal – Sismo Afastado, Direção x										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	F_x (kN)	275	133	-107	288	213	-35	275	351	28
	M_y (kN.m)	2397	1147	-109	2514	1834	-37	2403	3053	27
PT8	F_x (kN)	410	171	-140	538	274	-96	528	442	-19
	M_y (kN.m)	6650	2638	-152	8827	4224	-109	8663	7031	-23

Quadro 4.19 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção y

Corte Basal – Sismo Afastado, Direção y										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	F_y (kN)	267	137	-95	273	219	-25	259	360	39
	M_x (kN.m)	2372	1200	-98	2435	1916	-27	2310	3197	38
PT8	F_y (kN)	446	197	-127	531	314	-69	516	504	-2
	M_x (kN.m)	7495	3139	-139	9029	5003	-80	8777	8332	-5

Examinando os quadros Quadro 4.18 e Quadro 4.19 verifica-se que, na generalidade dos casos, as forças basais obtidas através do dimensionamento de acordo com o RSA são superiores às respetivas forças de acordo com o EC8. Esta situação apenas não se verifica para a estrutura PT4, num terreno tipo D/II,I em que os valores do EC8 apresentam superioridade, mas reduzida (máximo de cerca de 39%).

Num terreno de referência em Portugal, A/I, verificam-se as maiores diferenças das forças basais, sendo o momento na direção y, M_y , na estrutura PT8 cerca de 152% superior, e a força na direção x, F_x , aproximadamente 140% superior na mesma estrutura. Na direção perpendicular a diferença situa-se em 127% para F_y e aproximadamente 139% no momento na direção x, M_x .

Os Quadro 4.20 e Quadro 4.21, que se apresentam de seguida, dizem respeito ao corte basal da estrutura para o sismo próximo nas direções x e y respetivamente.

Quadro 4.20 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção x

Corte Basal – Sismo Próximo, Direção x										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	F_x (kN)	268	155	-73	253	213	-18	232	319	38
	M_y (kN.m)	2276	1296	-76	2153	1747	-23	1987	2620	32
PT8	F_x (kN)	345	305	-13	335	319	-5	319	402	26
	M_y (kN.m)	5343	4915	-9	5242	4918	-7	5029	6034	20

Quadro 4.21 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção y

Corte Basal – Sismo Próximo, Direção y										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	F_y (kN)	276	154	-79	257	229	-12	233	342	47
	M_x (kN.m)	2347	1255	-87	2210	1829	-21	2024	2744	36
PT8	F_y (kN)	386	289	-34	370	319	-16	347	476	37
	M_x (kN.m)	6061	4705	-29	5882	4792	-23	5597	7159	28

À semelhança do que se sucede no sismo afastado, as forças basais para uma ação sísmica próxima, apresentam, na generalidade dos casos, valores superiores quando a estrutura em questão é dimensionada de acordo com o RSA. No entanto, a referida diferença reduz-se neste tipo de ação, sendo que a maior diferença surge na estrutura PT4 para o momento na direção x, M_x , cujo valor ascende a 87%. Os valores determinados pelo EC8 apenas são superiores aos respetivos valores do RSA num terreno tipo D/III, em ambas as estruturas, sendo que a maior superioridade se situa em aproximadamente 47% na força F_y , para a estrutura PT4.

4.3.1.3 Estruturas Mistas Pórtico-Parede

- Espectros de resposta de cálculo

Na Figura 4.14 e no Quadro 4.22 apresentam-se, respetivamente, os espectros de resposta de cálculo e as correspondentes acelerações espectrais consideradas no dimensionamento das estruturas Mistas Pórtico-Parede, na zona do Porto, para o sismo afastado.

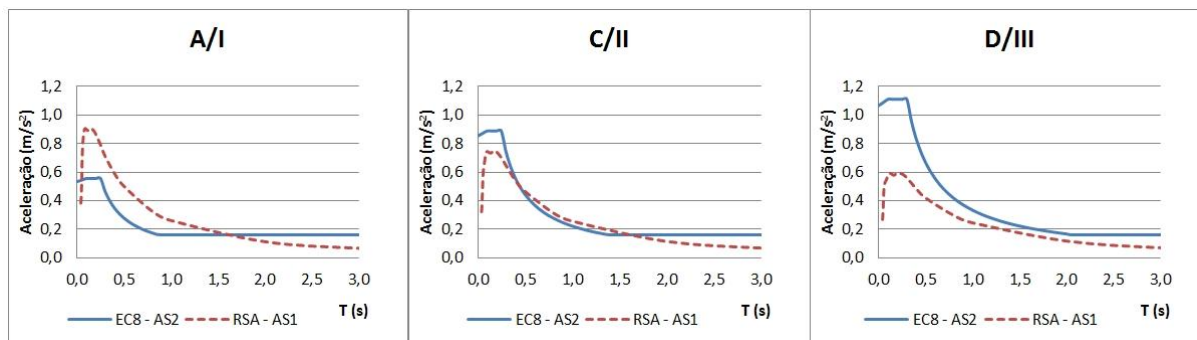


Figura 4.14 - Espectros de resposta de cálculo no Porto - estrutura Mista, Sismo Afastado

Quadro 4.22 - Acelerações Espectrais no Porto - estrutura Mista, Sismo Afastado

Acelerações Espectrais, S_d (m/s^2), Sismo Afastado										
Estrutura	Modo de Vibração	A/I			C/II			D/III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	1	0,421	0,161	-162	0,435	0,257	-69	0,414	0,429	4
	2	0,438	0,189	-131	0,430	0,304	-41	0,414	0,486	17
EM16	1	0,248	0,076	-225	0,322	0,122	-164	0,329	0,203	-62
	2	0,265	0,083	-221	0,352	0,132	-166	0,354	0,221	-60

Na Figura 4.15 e no Quadro 4.23 apresentam-se, respetivamente, os espectros de resposta de cálculo e as correspondentes acelerações espectrais consideradas no dimensionamento das estruturas Mistas Pórtico-Parede, na zona do Porto, para o sismo próximo.

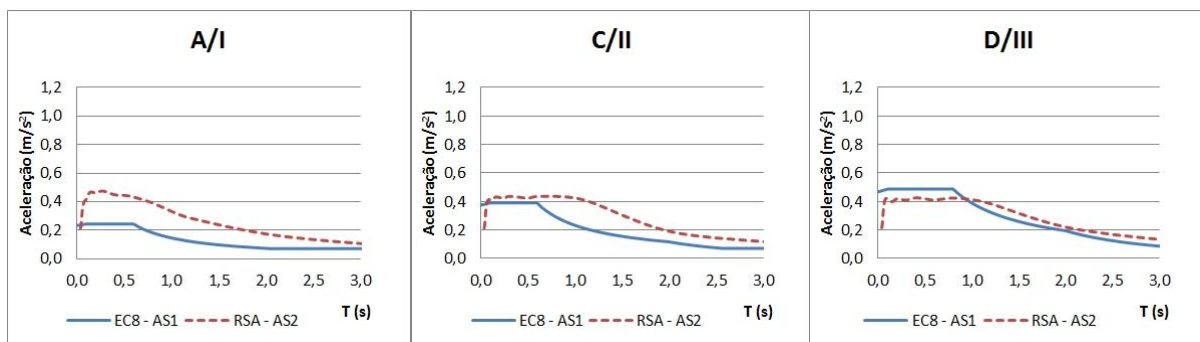


Figura 4.15 - Espectros de resposta de cálculo no Porto - estrutura Mista, Sismo Próximo

Quadro 4.23 - Acelerações Espectrais no Porto - estrutura Mista, Sismo Próximo

Acelerações Espectrais, S_d (m/s ²), Sismo Próximo										
Estrutura	Modo de Vibração	A/I			C/II			D/III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	1	0,410	0,160	-156	0,387	0,245	-58	0,355	0,367	3
	2	0,469	0,181	-159	0,438	0,289	-51	0,396	0,434	9
EM16	1	0,192	0,160	-20	0,190	0,160	-19	0,185	0,174	-7
	2	0,209	0,160	-31	0,208	0,160	-30	0,201	0,189	-6

- Deslocamento no topo da estrutura

No Quadro 4.24 apresentam-se os deslocamentos máximos no topo da estrutura para o sismo afastado.

Quadro 4.24 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Afastado

Deslocamentos (cm) – Sismo Afastado							
Estrutura	Tipo de Terreno	Deslocamento x (cm)			Deslocamento y (cm)		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	A / I	1,63	1,72	5	1,23	1,47	19
	C / II	1,69	2,74	63	1,21	2,36	95
	D / III	1,61	4,57	185	1,17	3,77	223
EM16	A / I	4,85	3,68	-32	4,44	3,42	-30
	C / II	6,30	5,88	-7	5,90	5,49	-8
	D / III	6,43	9,75	51	5,93	9,12	54

Num terreno tipo A/I os deslocamentos obtidos de acordo com o EC8 são ligeiramente superiores aos respetivos valores segundo o RSA, no caso da estrutura EM8, e inferiores no caso da estrutura EM16. Esta superioridade de deslocamentos do RSA vai-se atenuando para piores condições geotécnicas, chegando os valores obtidos pelo EC8 a ser superiores aos respetivos valores do RSA num terreno tipo D/III (sensivelmente 50%).

No caso da estrutura EM8 os deslocamentos do EC8 apresentam superioridade em todos os casos estudados, atingindo-se uma diferença de aproximadamente 223% num terreno tipo D/III, para a direção y.

Seguidamente apresentam-se, no Quadro 4.25, os deslocamentos máximos no topo da estrutura para o sismo próximo.

Quadro 4.25 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Próximo

Deslocamentos (cm) – Sismo Próximo							
Estrutura	Tipo de Terreno	Deslocamento x (cm)			Deslocamento y (cm)		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	A / I	1,59	1,71	8	1,32	1,41	7
	C / II	1,50	2,63	75	1,23	2,25	82
	D / III	1,38	3,93	185	1,12	3,37	202
EM16	A / I	3,76	7,64	103	3,53	6,61	87
	C / II	3,74	7,67	105	3,49	6,63	90
	D / III	3,63	8,38	131	3,38	7,85	133

Analisando o Quadro 4.25 verifica-se que, neste tipo de ação sísmica, o EC8 apresenta valores superiores do deslocamento em todos os casos analisados. Num terreno tipo A/I a diferença é muito pouco significativa na estrutura EM8 em ambas as direções, mas apresenta algum significado na estrutura EM16 onde atinge cerca de 103% na direção x e 87% na direção y.

A maior discrepância entre os deslocamentos verifica-se na estrutura EM8 dimensionada para um terreno tipo D/III, em que a diferença ascende a 202% na direção y.

- Corte Basal

Seguidamente apresentam-se os Quadro 4.26 e Quadro 4.27 respeitantes ao corte basal da estrutura para o sismo afastado nas direções x e y respetivamente.

Quadro 4.26 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção x

Corte Basal – Sismo Afastado, Direção x										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	F_x (kN)	765	303	-153	784	484	-62	746	783	5
	M_y (kN.m)	13086	5013	-161	13512	8013	-69	12858	13348	4
EM16	F_x (kN)	967	340	-185	1212	543	-123	1235	837	-47
	M_y (kN.m)	30368	9429	-222	39440	15069	-162	40297	25047	-61

Quadro 4.27 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção y

Corte Basal – Sismo Afastado, Direção y										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	F_y (kN)	777	343	-126	758	550	-38	730	861	18
	M_x (kN.m)	13446	5834	-131	13191	9354	-41	12709	14953	18
EM16	F_y (kN)	1011	358	-182	1293	574	-125	1297	884	-47
	M_x (kN.m)	32055	10072	-218	42584	16145	-164	42824	26860	-59

Num terreno tipo A/I os valores das forças basais determinadas segundo o RSA apresentam clara superioridade face aos valores determinados pelo EC8. As maiores discrepâncias verificam-se na estrutura EM16, concretamente no momento M_y , cerca de 222% e na força F_x , sensivelmente 185%, valores estes muito idênticos na direção perpendicular.

À semelhança do que acontece nas estruturas em Pórtico, nas estruturas mistas as forças basais obtidas pelo dimensionamento de acordo com o RSA apresentam valores superiores às forças obtidas segundo o EC8, na maioria dos casos analisados. Esta situação apenas não se verifica na estrutura EM8 num terreno tipo D/III.

Os Quadros 4.28 e Quadro 4.29, que se apresentam de seguida, dizem respeito ao corte basal da estrutura para o sismo próximo nas direções x e y respetivamente.

Quadro 4.28 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção x

Corte Basal – Sismo Próximo, Direção x										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	F_x (kN)	824	377	-118	755	589	-28	673	817	21
	M_y (kN.m)	12781	5030	-154	12049	7709	-56	11044	11513	4
EM16	F_x (kN)	855	628	-36	822	696	-18	776	842	9
	M_y (kN.m)	23527	19704	-19	23357	19749	-18	22723	21526	-6

Quadro 4.29 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção y

Corte Basal – Sismo Próximo, Direção y										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	F_y (kN)	905	405	-123	822	648	-27	729	907	24
	M_x (kN.m)	14444	5629	-157	13478	9001	-50	12186	13449	10
EM16	F_y (kN)	931	631	-47	890	720	-24	832	913	10
	M_x (kN.m)	25495	19483	-31	25225	19565	-29	24366	23144	-5

Analisando os Quadros Quadro 4.28 e Quadro 4.29 verifica-se, tal como na ação sísmica afastada, uma superioridade clara das forças basais determinadas de acordo com o RSA face ao EC8. No terreno tipo A/I, na estrutura EM8 essa superioridade é mais acentuada, ascendendo a 157% no momento na direção x, M_x , e a 123% na força F_y .

Num terreno tipo D/III as forças basais do EC8 apresentam valores superiores às respetivas forças do RSA, exceto na estrutura EM16 no momento nas duas direções, M_x e M_y .

4.3.2 LISBOA

4.3.2.1 Estruturas em Pórtico

- Espectros de resposta de cálculo

Na Figura 4.16 e no Quadro 4.30 apresentam-se, respetivamente, os espectros de resposta de cálculo e as correspondentes acelerações espectrais consideradas no dimensionamento das estruturas em Pórtico, na zona de Lisboa, para o sismo afastado.

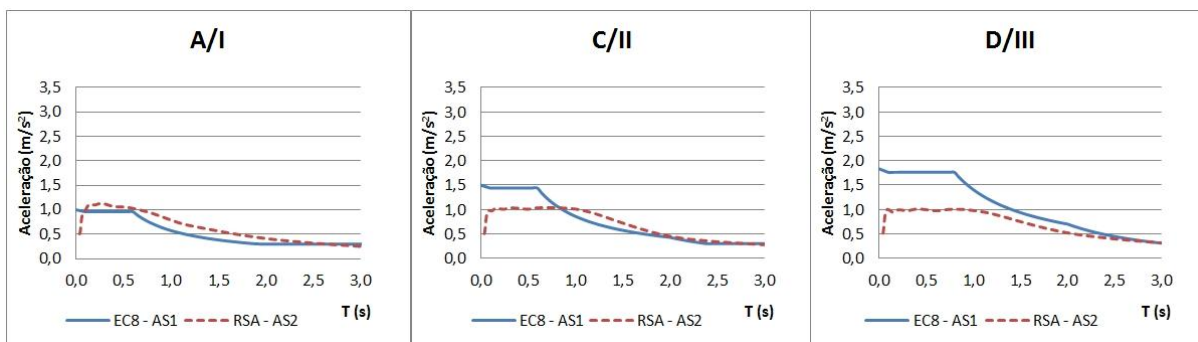


Figura 4.16 - Espectros de resposta de cálculo em Lisboa - estrutura em Pórtico, Sismo Afastado

Quadro 4.30 - Acelerações Espectrais em Lisboa - estrutura em Pórtico, Sismo Afastado

Acelerações Espectrais, S_d (m/s^2), Sismo Afastado										
Estrutura	Modo de Vibração	A/I			C/II			D/III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	1	0,989	0,606	-63	1,036	0,909	-14	0,990	1,480	50
	2	1,010	0,656	-54	1,035	0,984	5	0,983	1,603	63
PT8	1	0,722	0,368	-96	0,959	0,551	-74	0,941	0,898	-5
	2	0,848	0,456	-86	1,023	0,684	-50	0,993	1,114	12

Na Figura 4.17 e no Quadro 4.31 apresentam-se, respetivamente, os espectros de resposta de cálculo e as correspondentes acelerações espectrais consideradas no dimensionamento das estruturas em Pórtico, na zona de Lisboa, para o sismo próximo.

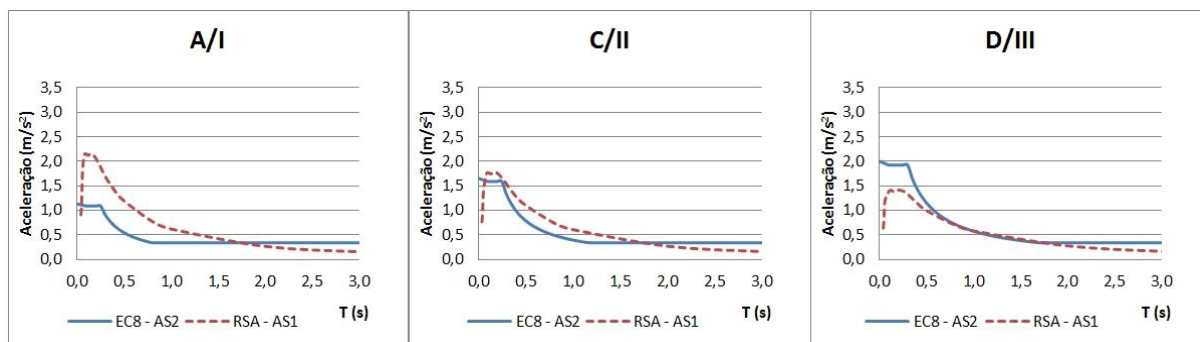


Figura 4.17 - Espectros de resposta de cálculo em Lisboa - estrutura em Pórtico, Sismo Próximo

Quadro 4.31 - Acelerações Espectrais em Lisboa - estrutura em Pórtico, Sismo Próximo

Acelerações Espectrais, S_d (m/s^2), Sismo Próximo										
Estrutura	Modo de Vibração	A/I			C/II			D/III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	1	0,938	0,340	-176	0,889	0,418	-113	0,819	0,607	-35
	2	0,999	0,340	-194	0,941	0,452	-108	0,861	0,657	31
PT8	1	0,579	0,340	-70	0,570	0,340	-68	0,545	0,368	-48
	2	0,684	0,340	-101	0,666	0,340	-96	0,632	0,456	-38

- Deslocamento no topo da estrutura

No Quadro 4.32 apresentam-se os deslocamentos máximos no topo da estrutura para o sismo afastado.

Quadro 4.32 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Afastado

Deslocamentos (cm) – Sismo Afastado							
Estrutura	Tipo de Terreno	Deslocamento x (cm)			Deslocamento y (cm)		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	A / I	5,23	6,93	32	4,78	6,56	37
	C / II	5,48	10,41	90	4,90	9,84	101
	D / III	5,24	16,94	223	4,65	16,02	244
PT8	A / I	10,80	12,06	12	8,94	10,27	15
	C / II	14,32	18,08	26	10,77	15,39	43
	D / III	14,06	29,36	109	10,46	24,99	139

Analisando o Quadro 4.32 constata-se que os deslocamentos obtidos segundo o EC8 são superiores aos respetivos valores determinados pelo RSA em todos os casos analisados. No terreno de referência do território nacional, A/I, a diferença é maior na direção y, atingindo aproximadamente 37 % na estrutura PT4 e cerca de 15% na estrutura PT8.

A maior discrepância obtém-se na estrutura PT4, num terreno tipo D/III, na direção y, sendo o valor dessa diferença aproximadamente 244%.

Seguidamente apresentam-se, no Quadro 4.33, os deslocamentos máximos no topo da estrutura para o sismo próximo.

Quadro 4.33 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Próximo

Deslocamentos (cm) – Sismo Próximo							
Estrutura	Tipo de Terreno	Deslocamento x (cm)			Deslocamento y (cm)		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	A / I	4,97	3,90	-28	4,74	3,41	-39
	C / II	4,71	4,80	2	4,46	4,54	2
	D / III	4,34	6,97	61	4,08	6,59	62
PT8	A / I	8,69	11,09	28	7,26	7,63	5
	C / II	8,55	11,12	30	7,06	7,68	9
	D / III	8,17	12,09	48	6,69	10,32	54

Analisando o terreno tipo A/I verifica-se que os deslocamentos de acordo com o RSA apresentam valores superiores ao EC8 na estrutura PT4, 28% e 39% nas direções x e y, respetivamente, e inferiores na estrutura PT8, 28% na direção x e 5% na direção y. No entanto, esta superioridade do RSA não se verifica nos restantes casos analisados uma vez que os deslocamentos do EC8 assumem superioridade. A diferença mais significativa acontece na estrutura PT4, num terreno tipo D/III, na direção y e é de cerca de 62%.

- Corte Basal

Seguidamente apresentam-se os Quadro 4.34 e Quadro 4.35 respeitantes ao corte basal da estrutura para o sismo afastado nas direções x e y respetivamente.

Quadro 4.34 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção x

Corte Basal – Sismo Afastado, Direção x										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	F_x (kN)	918	569	-61	958	855	-12	917	1378	50
	M_y (kN.m)	7993	4904	-63	8375	7359	-14	8006	11987	50
PT8	F_x (kN)	1368	733	-87	1793	1100	-63	1760	1735	-1
	M_y (kN.m)	22176	11301	-96	29431	16945	-74	28893	27608	-5

Quadro 4.35 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção y

Corte Basal – Sismo Afastado, Direção y										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	F_y (kN)	890	588	-52	909	881	-3	863	1414	64
	M_x (kN.m)	7909	5140	-54	8106	7711	-5	7695	12560	63
PT8	F_y (kN)	1486	842	-77	1769	1261	-40	1718	1981	15
	M_x (kN.m)	24973	13419	-86	30096	20109	-50	29232	32749	12

Analisando os quadros anteriormente apresentados num terreno de referência em Portugal, A/I, verifica-se que, como nos casos até agora apresentados, as forças basais obtidas pelo dimensionamento de acordo com o RSA apresentam valores superiores aos correspondentes valores determinados pelo EC8. A referida diferença é mais significativa na estrutura PT8, ascendendo a 87% na força basal F_x e a 96% no momento M_y .

Estas diferenças vão-se atenuando para piores condições geotécnicas chegando mesmo a inverter-se a situação num terreno tipo D/III em ambas as estruturas. Nesse caso, a maior diferença verifica-se na estrutura PT4 atingindo cerca de 64% na força F_y e 63% no momento M_x .

Os Quadros 4.36 e Quadro 4.37, que se apresentam de seguida, dizem respeito ao corte basal da estrutura para o sismo próximo nas direções x e y respetivamente.

Quadro 4.36 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção x

Corte Basal – Sismo Próximo, Direção x										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	F _x (kN)	894	330	-171	842	414	-103	771	599	-29
	M _y (kN.m)	7583	2754	-175	7184	3388	-112	6619	4916	-35
PT8	F _x (kN)	1150	647	-78	1120	669	-67	1061	755	-40
	M _y (kN.m)	17775	10445	-70	17495	10449	-67	16734	11324	-48

Quadro 4.37 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção y

Corte Basal – Sismo Próximo, Direção y										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	F _y (kN)	919	327	-181	858	444	-93	777	641	-21
	M _x (kN.m)	7821	2667	-193	7371	3547	-108	6745	5149	-31
PT8	F _y (kN)	1285	613	-109	1235	655	-89	1155	892	-29
	M _x (kN.m)	20173	9997	-102	19640	10010	-96	18614	13435	-39

Observando os Quadros Quadro 4.36 e Quadro 4.37 constata-se que os valores das forças basais determinados de acordo com o RSA, para a ação sísmica próxima, são superiores aos correspondentes valores do EC8 em todos os casos analisados. As maiores diferenças encontram-se no terreno tipo A/I, na estrutura PT4 chegando a aproximadamente 1801% na força F_y e a 193% no momento M_x.

Como habitual estas diferenças vão-se atenuando para piores condições geotécnicas, reduzindo-se neste caso para valores entre 20% a 50%.

4.3.2.2 Estruturas Mistas Pórtico-Parede

- Espectros de resposta de cálculo

Na Figura 4.18 e no Quadro 4.38 apresentam-se, respetivamente, os espectros de resposta de cálculo e as correspondentes acelerações espectrais consideradas no dimensionamento das estruturas Mistas Pórtico-Parede, na zona de Lisboa, para o sismo afastado.

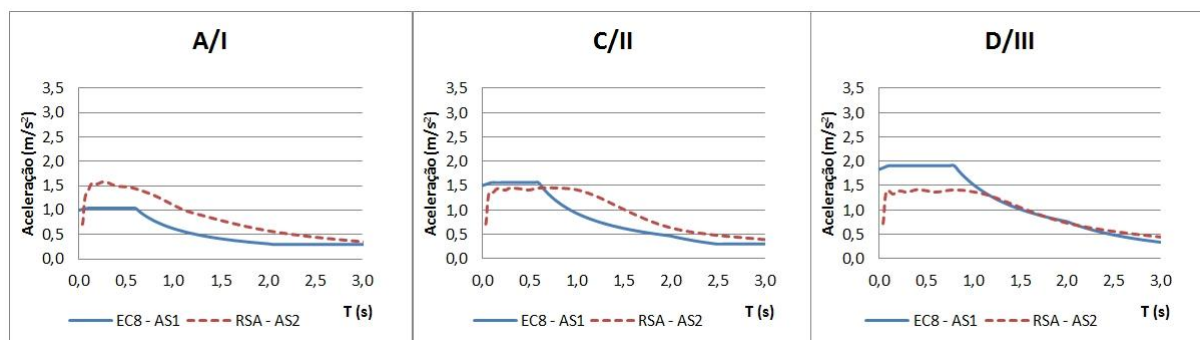


Figura 4.18 - Espectros de resposta de cálculo em Lisboa - estrutura Mista, Sismo Afastado

Quadro 4.38 - Acelerações Espectrais em Lisboa - estrutura Mista, Sismo Afastado

Acelerações Espectrais, S_d (m/s^2), Sismo Afastado										
Estrutura	Modo de Vibração	A/I			C/II			D/III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	1	1,403	0,689	-104	1,450	1,034	-40	1,379	1,685	22
	2	1,459	0,813	-79	1,433	1,22	-17	1,380	1,910	38
EM16	1	0,826	0,326	-153	1,075	0,489	-120	1,098	0,797	-38
	2	0,881	0,355	-148	1,174	0,533	-120	1,180	0,868	-36

Na Figura 4.19 e no Quadro 4.39 apresentam-se, respetivamente, os espectros de resposta de cálculo e as correspondentes acelerações espectrais consideradas no dimensionamento das estruturas Mistas Pórtico-Parede, na zona de Lisboa, para o sismo próximo.

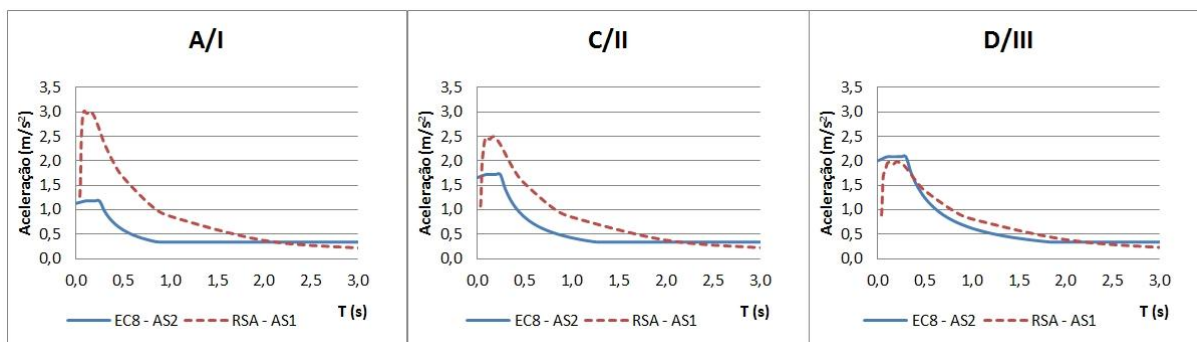


Figura 4.19 - Espectros de resposta de cálculo em Lisboa - estrutura Mista, Sismo Próximo

Quadro 4.39 - Acelerações Espectrais em Lisboa - estrutura Mista, Sismo Próximo

Acelerações Espectrais, S_d (m/s^2), Sismo Próximo										
Estrutura	Modo de Vibração	A/I			C/II			D/III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	1	1,366	0,340	-302	1,291	0,475	-172	1,184	0,540	-119
	2	1,562	0,384	-306	1,460	0,561	-160	1,321	0,814	-62
EM16	1	0,639	0,340	-88	0,635	0,340	-87	0,616	0,340	-81
	2	0,699	0,340	-106	0,692	0,340	-103	0,668	0,356	-88

- Deslocamento no topo da estrutura

No Quadro 4.40 apresentam-se os deslocamentos máximos no topo da estrutura para o sismo afastado.

Quadro 4.40 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Afastado

Deslocamentos (cm) – Sismo Afastado							
Estrutura	Tipo de Terreno	Deslocamento x (cm)			Deslocamento y (cm)		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	A / I	5,44	7,35	35	4,11	6,31	54
	C / II	5,62	11,03	96	4,03	9,46	135
	D / III	5,35	17,96	236	3,88	14,81	281
EM16	A / I	16,15	15,73	-3	14,78	14,71	-1
	C / II	21,00	23,58	12	19,67	22,08	12
	D / III	21,44	38,26	78	19,78	35,86	81

Observando o Quadro 4.40 constata-se que, na estrutura EM8 e para um terreno tipo A/I, os deslocamentos calculados pelo dimensionamento segundo o EC8 apresentam superioridade face aos valores do RSA. No entanto, na estrutura EM16 o mesmo não se sucede, uma vez que os deslocamentos de ambos os regulamentos apresentam valores cujas diferenças são insignificantes.

Como se vem a suceder nos restantes casos já analisados, para piores condições geotécnicas verificam-se as maiores diferenças ao nível dos deslocamentos, com clara superioridade do EC8. Neste caso a diferença ascende, na estrutura EM8, a 236% na direção x e a 281% na direção y.

Seguidamente apresentam-se, no Quadro 4.41, os deslocamentos máximos no topo da estrutura para o sismo próximo.

Quadro 4.41 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Próximo

Deslocamentos (cm) – Sismo Próximo							
Estrutura	Tipo de Terreno	Deslocamento x (cm)			Deslocamento y (cm)		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	A / I	5,30	3,64	-46	4,40	2,99	-47
	C / II	5,01	5,09	2	4,11	4,37	6
	D / III	4,59	7,38	61	3,72	6,33	70
EM16	A / I	12,56	16,24	29	11,78	14,04	19
	C / II	12,46	16,28	31	11,64	14,08	21
	D / III	12,09	16,37	35	11,23	14,79	32

Analisando os deslocamentos destas estruturas para a ação sísmica próxima, num terreno tipo A/I, verifica-se que na estrutura EM8 os deslocamentos obtidos pelo RSA apresentam superioridade face aos respetivos valores do EC8 (cerca de 46% em ambas as direções). Esta situação inverte-se, no entanto, quando se analisa a estrutura EM16, já que os deslocamentos obtidos pelo EC8 são superiores aos valores do RSA, em ambas as direções.

Analisando piores tipos de terreno verifica-se, como habitual, que existe superioridade dos deslocamentos do EC8. Na estrutura EM8 a situação referida no parágrafo anterior inverte-se, sendo que num terreno tipo D/III os deslocamentos do EC8 são 61% e 70% superiores aos deslocamentos do RSA, na direção x e y respetivamente. Já na estrutura EM16 verifica-se um aumento mas muito reduzido, passando a diferença a situar-se nos 35% na direção x e 32% na direção y.

- Corte Basal

Seguidamente apresentam-se os Quadro 4.42 e Quadro 4.43 respeitantes ao corte basal da estrutura para o sismo afastado nas direções x e y respetivamente.

Quadro 4.42 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção x

Corte Basal – Sismo Afastado, Direção x										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	F_x (kN)	2547	1297	-96	2615	1947	-34	2487	3079	24
	M_y (kN.m)	43588	21467	-103	45050	32226	-40	42852	52467	22
EM16	F_x (kN)	3218	1454	-121	4041	2180	-85	4116	3288	-25
	M_y (kN.m)	101063	40307	-151	131494	60400	-118	134308	98320	-37

Quadro 4.43 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção y

Corte Basal – Sismo Afastado, Direção y										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	F_y (kN)	2590	1473	-76	2528	2211	-14	2433	3384	39
	M_x (kN.m)	44812	25043	-79	43985	37579	-17	42358	58765	39
EM16	F_y (kN)	3365	1537	-119	4312	2308	-87	4324	3477	-24
	M_x (kN.m)	106709	43278	-147	141999	64978	-119	142738	105614	-35

As forças basais obtidas através do dimensionamento segundo o RSA apresentam, na maioria dos casos analisados, valores consideravelmente superiores aos valores obtidos pelo EC8. No terreno tipo A/I verificam-se as maiores diferenças entre os referidos valores, especialmente na estrutura EM16 em que as forças basais em ambas as direções apresentam diferenças a rondar os 120%, ascendendo a aproximadamente 150% nos momentos dessas mesmas direções.

Caminhando para piores condições geotécnicas esta diferença vai-se esbatendo, verificando-se superioridade dos valores do EC8 face aos valores do RSA na estrutura EM8 analisando um terreno tipo D/III.

Os Quadro 4.44 e Quadro 4.45, que se apresentam de seguida, dizem respeito ao corte basal da estrutura para o sismo próximo nas direções x e y respetivamente.

Quadro 4.44 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção x

Corte Basal – Sismo Próximo, Direção x										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	F_x (kN)	2745	801	-243	2519	1142	-121	2246	1535	-46
	M_y (kN.m)	42592	10688	-298	40196	14952	-169	36841	21623	-70
EM16	F_x (kN)	2854	1336	-114	2742	1442	-90	2581	1618	-60
	M_y (kN.m)	78526	41871	-88	77870	41941	-86	75578	42070	-80

Quadro 4.45 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção y

Corte Basal – Sismo Próximo, Direção y										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	F_y (kN)	3016	861	-250	2742	1257	-118	2432	1704	-43
	M_x (kN.m)	48143	11969	-302	44952	17473	-157	40635	25247	-61
EM16	F_y (kN)	3107	1342	-132	2968	1481	-100	2771	1717	-61
	M_x (kN.m)	85088	41401	-106	84072	41529	-102	81049	43589	-86

Neste tipo de ação sísmica verifica-se que as forças basais obtidas pelo dimensionamento do RSA apresentam valores superiores aos do EC8, em todos os casos analisados. Tal como acontece na ação sísmica afastada as maiores diferenças acontecem no terreno tipo A/I e rondam, na estrutura EM8, os 245% nas forças e os 300% nos momentos, em ambas as direções.

Num terreno tipo D/III as diferenças já não são tão significativas uma vez que a maior discrepância neste tipo de terreno se situa nos 86% (M_x).

4.3.3 PORTIMÃO

4.3.3.1 Estruturas em Pórtico

- Espectros de resposta de cálculo

Na Figura 4.20 e no Quadro 4.46 apresentam-se, respetivamente, os espectros de resposta de cálculo e as correspondentes acelerações espectrais consideradas no dimensionamento das estruturas em Pórtico, na zona de Portimão, para o sismo afastado.

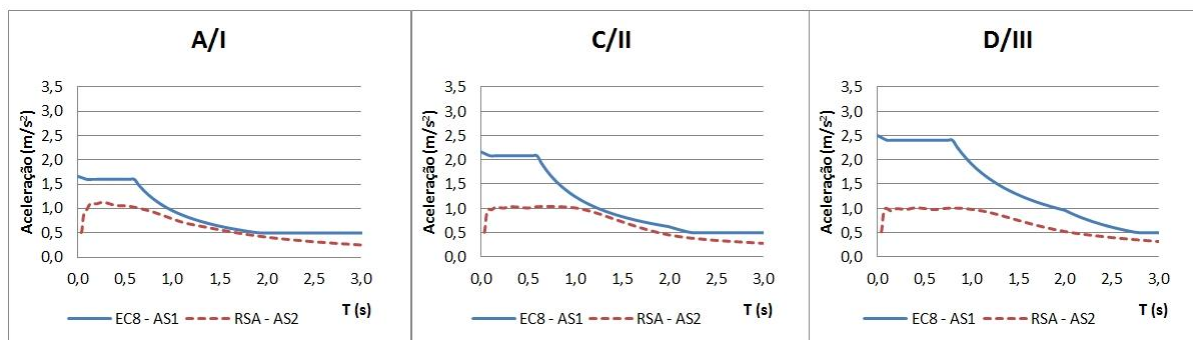


Figura 4.20 - Espectros de resposta de cálculo em Portimão - estrutura em Pórtico, Sismo Afastado

Quadro 4.46 - Acelerações Espectrais em Portimão - estrutura em Pórtico, Sismo Afastado

Acelerações Espectrais, S_d (m/s ²), Sismo Afastado										
Estrutura	Modo de Vibração	A/I			C/II			D/III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	1	0,989	1,010	2	1,036	1,313	27	0,990	2,019	104
	2	1,010	1,093	8	1,035	1,421	37	0,983	2,186	122
PT8	1	0,722	0,612	-18	0,959	0,796	-20	0,941	1,226	30
	2	0,848	0,760	-12	1,023	0,988	-4	0,993	1,519	53

Na Figura 4.21 e no Quadro 4.47 apresentam-se, respetivamente, os espectros de resposta de cálculo e as correspondentes acelerações espectrais consideradas no dimensionamento das estruturas em Pórtico, na zona de Portimão, para o sismo próximo.

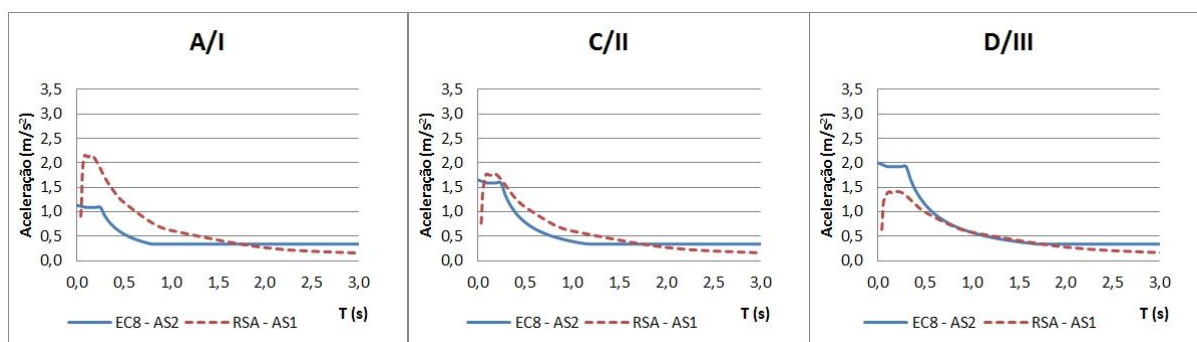


Figura 4.21 - Espectros de resposta de cálculo em Portimão - estrutura em Pórtico, Sismo Próximo

Quadro 4.47 - Acelerações Espectrais em Portimão - estrutura em Pórtico, Sismo Próximo

Acelerações Espectrais, S_d (m/s^2), Sismo Próximo										
Estrutura	Modo de Vibração	A/I			C/II			D/III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	1	0,938	0,340	-176	0,889	0,418	-113	0,819	0,607	-35
	2	0,999	0,340	-194	0,941	0,452	-108	0,861	0,657	31
PT8	1	0,579	0,340	-70	0,570	0,340	-68	0,545	0,368	-48
	2	0,684	0,340	-101	0,666	0,340	-96	0,632	0,456	-38

- Deslocamento no topo da estrutura

No Quadro 4.48 apresentam-se os deslocamentos máximos no topo da estrutura para o sismo afastado.

Quadro 4.48 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Afastado

Deslocamentos (cm) – Sismo Afastado							
Estrutura	Tipo de Terreno	Deslocamento x (cm)			Deslocamento y (cm)		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	A / I	5,23	11,56	121	4,78	10,93	129
	C / II	5,48	15,03	174	4,90	14,21	190
	D / III	5,24	23,11	341	4,65	21,84	370
PT8	A / I	10,80	20,09	86	8,94	17,10	91
	C / II	14,32	26,11	82	10,77	22,24	107
	D / III	14,06	40,05	185	10,46	34,07	226

Na zona de Portimão verifica-se uma superioridade clara dos deslocamentos do EC8 face aos deslocamentos do RSA. Num terreno tipo A/I a referida superioridade é menor na estrutura PT8, cerca de 86% na direção x e 91% na direção y, mas na estrutura PT4 esses valores aumentam, atingindo cerca de 121% na direção x e 129% na direção y.

Analisando o terreno tipo D/III, na estrutura PT4, verifica-se a maior discrepância de valores de todas as estruturas em pórtico analisadas. Na direção x a diferença ascende a 341% e a aproximadamente 370% na direção y. Esta diferença, apesar de muito avultada é, no entanto, compreensível. Isto porque, tal como referido na zona do Porto neste tipo de terrenos existe a incoerência de valores do RSA tal como já foi exposto em 3.2.3 que apresenta um espectro mais leve para piores condições geotécnicas, ao contrário do que EC8 propõe. Em segundo lugar porque no dimensionamento sísmico segundo o EC8 é definido uma redução de 50% da rigidez dos elementos primários da estrutura, como referido em 4.2.3, que resulta num aumento dos deslocamentos da mesma. A juntar a estes dois fatores existe ainda a maior exigência preconizada pelo EC8 nesta zona do território nacional, face ao RSA, visto tratar-se da zona com maior atividade sísmica do território continental.

Seguidamente apresentam-se, no Quadro 4.49, os deslocamentos máximos no topo da estrutura para o sismo próximo.

Quadro 4.49 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Próximo

Deslocamentos (cm) – Sismo Próximo							
Estrutura	Tipo de Terreno	Deslocamento x (cm)			Deslocamento y (cm)		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	A / I	4,97	3,90	-28	4,74	3,41	-39
	C / II	4,71	4,80	2	4,46	4,54	2
	D / III	4,34	6,97	61	4,08	6,59	62
PT8	A / I	8,69	11,09	28	7,26	7,63	5
	C / II	8,55	11,12	30	7,06	7,68	9
	D / III	8,17	12,09	48	6,69	10,32	54

À semelhança do que acontece na zona de Lisboa para este tipo de ação sísmica, analisando a estrutura PT4, num terreno tipo A/I verifica-se que os deslocamentos de acordo com o RSA apresentam valores superiores ao EC8. No entanto, esta superioridade do RSA não se verifica nos restantes casos analisados uma vez que os deslocamentos do EC8 assumem superioridade. A diferença mais significativa acontece na estrutura PT4, num terreno tipo D/III, na direção y e é de cerca de 62%.

- Corte Basal

Seguidamente apresentam-se os Quadro 4.50 e Quadro 4.51 respeitantes ao corte basal da estrutura para o sismo afastado nas direções x e y respetivamente.

Quadro 4.50 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção x

Corte Basal – Sismo Afastado, Direção x										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	F_x (kN)	918	949	3	958	1235	29	917	1880	105
	M_y (kN.m)	7993	8176	2	8375	10631	27	8006	16349	104
PT8	F_x (kN)	1368	1222	-12	1793	1588	-13	1760	2367	34
	M_y (kN.m)	22176	18826	-18	29431	24471	-20	28893	37657	30

Quadro 4.51 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção y

Corte Basal – Sismo Afastado, Direção y										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	F_y (kN)	890	979	10	909	1273	40	863	1928	123
	M_x (kN.m)	7909	8563	8	8106	11137	37	7695	17128	123
PT8	F_y (kN)	1486	1401	-6	1769	1822	3	1718	2701	57
	M_x (kN.m)	24973	22345	-12	30096	29055	-4	29232	44648	53

Contrariamente ao que tem sido comum nas restantes zonas analisadas, na zona de Portimão verifica-se que as forças basais obtidas de acordo com o EC8 apresentam superioridade, na generalidade dos casos, face às forças basais do RSA.

No terreno tipo A/I as forças basais do EC8 são superiores às correspondentes forças do RSA apenas na estrutura PT4, sendo que, em ambas as estruturas as diferenças são muito pouco significativas (máximo de 18%).

Esta diferença vai-se esbatendo, no caso da estrutura PT8, e aumentando, no caso da estrutura PT4, sendo que no terreno tipo D/III já se verifica uma superioridade considerável dos valores do EC8 face ao RSA, especialmente na estrutura PT4 em que a diferença atinge 123% na força F_y e no momento M_x .

Os Quadros 4.52 e Quadro 4.53, que se apresentam de seguida, dizem respeito ao corte basal da estrutura para o sismo próximo nas direções x e y respetivamente.

Quadro 4.52 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção x

Corte Basal – Sismo Próximo, Direção x										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	F_x (kN)	894	330	-171	842	414	-103	771	599	-29
	M_y (kN.m)	7583	2754	-175	7184	3388	-112	6619	4916	-35
PT8	F_x (kN)	1150	647	-78	1120	669	-67	1061	755	-40
	M_y (kN.m)	17775	10445	-70	17495	10449	-67	16734	11324	-48

Quadro 4.53 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção y

Corte Basal – Sismo Próximo, Direção y										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
PT4	F_y (kN)	919	327	-181	858	444	-93	777	641	-21
	M_x (kN.m)	7821	2667	-193	7371	3547	-108	6745	5149	-31
PT8	F_y (kN)	1285	613	-109	1235	655	-89	1155	892	-29
	M_x (kN.m)	20173	9997	-102	19640	10010	-96	18614	13435	-39

A situação verificada para a ação sísmica afastada inverte-se totalmente quando se analisa a ação sísmica próxima, como pode ser verificado pelos Quadros Quadro 4.52 e Quadro 4.53. Neste caso os valores das forças basais obtidos de acordo com o RSA são superiores aos valores das forças basais de acordo com o EC8, em todos os casos analisados.

Novamente se verificam as maiores diferenças no terreno tipo A/I, 181% e 193% na força F_y e no momento M_x respetivamente, na estrutura PT4, atenuando-se este efeito para piores tipos de terreno, onde a diferença dos mesmos parâmetros referidos anteriormente se situa em 21% e 31% respetivamente.

4.3.3.2 Estruturas Mistas Pórtico-Parede

- Espectros de resposta de cálculo

Na Figura 4.22 e no Quadro 4.54 apresentam-se, respetivamente, os espectros de resposta de cálculo e as correspondentes acelerações espectrais consideradas no dimensionamento das estruturas Mistas Pórtico-Parede, na zona de Portimão, para o sismo afastado.

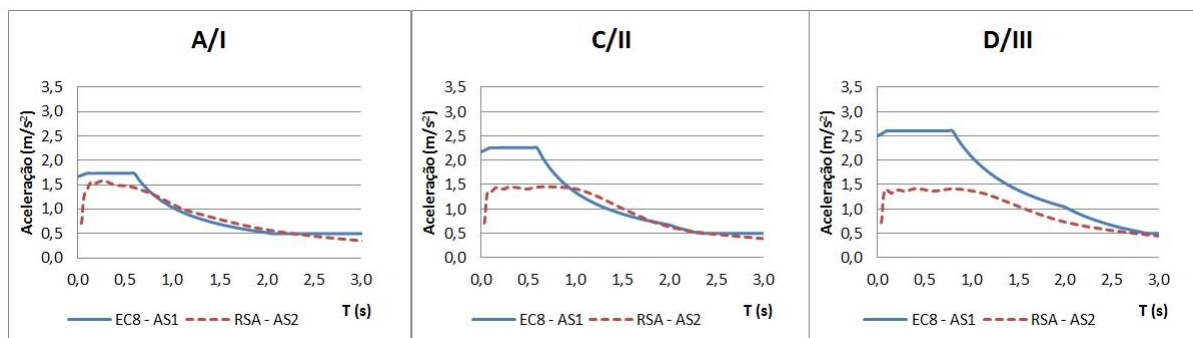


Figura 4.22 - Espectros de resposta de cálculo em Portimão - estrutura Mista, Sismo Afastado

Quadro 4.54 - Acelerações Espectrais em Portimão - estrutura Mista, Sismo Afastado

Acelerações Espectrais, S_d (m/s^2), Sismo Afastado										
Estrutura	Modo de Vibração	A/I			C/II			D/III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	1	1,403	1,148	-22	1,450	1,493	3	1,379	2,297	67
	2	1,460	1,356	-8	1,433	1,763	23	1,380	2,604	89
EM16	1	0,826	0,544	-52	1,075	0,707	-52	1,098	1,087	-1
	2	0,881	0,592	-49	1,174	0,769	-53	1,180	1,183	0

Na Figura 4.23 e no Quadro 4.55 apresentam-se, respetivamente, os espectros de resposta de cálculo e as correspondentes acelerações espectrais consideradas no dimensionamento das estruturas Mistas Pórtico-Parede, na zona de Portimão, para o sismo próximo.

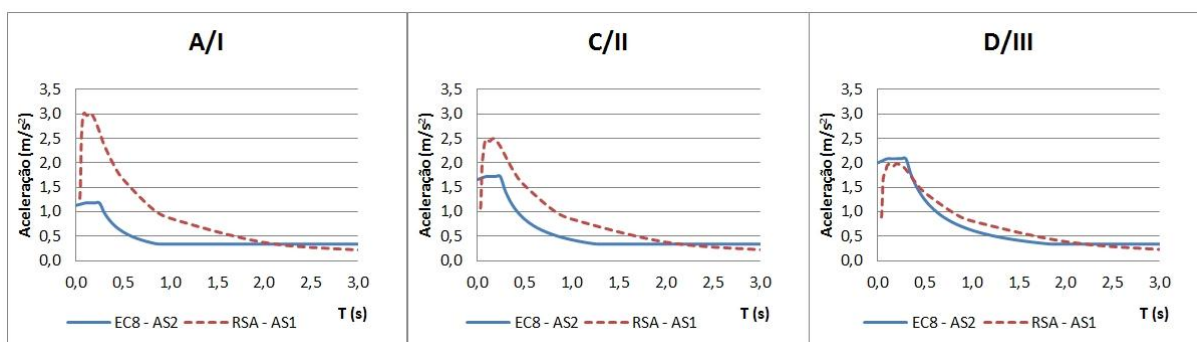


Figura 4.23 - Espectros de resposta de cálculo em Portimão - estrutura Mista, Sismo Próximo

Quadro 4.55 - Acelerações Espectrais em Portimão - estrutura Mista, Sismo Próximo

Acelerações Espectrais, S_d (m/s^2), Sismo Próximo										
Estrutura	Modo de Vibração	A/I			C/II			D/III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	1	1,366	0,340	-302	1,291	0,475	-172	1,184	0,541	-119
	2	1,562	0,384	-306	1,460	0,561	-160	1,321	0,814	-62
EM16	1	0,639	0,340	-88	0,635	0,340	-87	0,616	0,340	-81
	2	0,699	0,340	-106	0,692	0,340	-103	0,668	0,356	-88

- Deslocamento no topo da estrutura

No Quadro 4.56 apresentam-se os deslocamentos máximos no topo da estrutura para o sismo afastado.

Quadro 4.56 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Afastado

Deslocamentos (cm) – Sismo Afastado							
Estrutura	Tipo de Terreno	Deslocamento x (cm)			Deslocamento y (cm)		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	A / I	5,44	12,24	125	4,11	10,51	156
	C / II	5,62	15,93	183	4,03	13,67	239
	D / III	5,35	24,49	358	3,88	20,19	420
EM16	A / I	16,15	26,20	62	14,78	24,52	66
	C / II	21,00	34,07	62	19,67	31,88	62
	D / III	21,44	52,16	143	19,78	48,88	147

Analisando o Quadro 4.56 verifica-se que, como seria expectável, existe uma superioridade clara dos deslocamentos obtidos pelo dimensionamento segundo o EC8.

Num terreno de referência em Portugal, A/I, a maior diferença acontece na estrutura EM8, na direção y, ascendendo a 156%.

Esta superioridade fica ainda mais denotada num terreno tipo D/III, uma vez que o deslocamento da mesma estrutura e na mesma direção aumenta para 420%, valor este que é o máximo obtido neste tipo de estruturas.

É importante, por último, realçar o valor obtido para o deslocamento na direção x, de acordo com o EC8, na estrutura EM16 num terreno D/III, por ser consideravelmente elevado, aproximadamente 52 cm. Um deslocamento desta dimensão pode constituir um problema à estrutura, pelo que é importante verificar se os respetivos deslocamentos entre pisos estão de acordo com os valores máximos regulamentares, definidos no EC8. Para tal, apresenta-se primeiramente, na Figura 4.24, os deslocamentos máximos por piso na estrutura em questão.

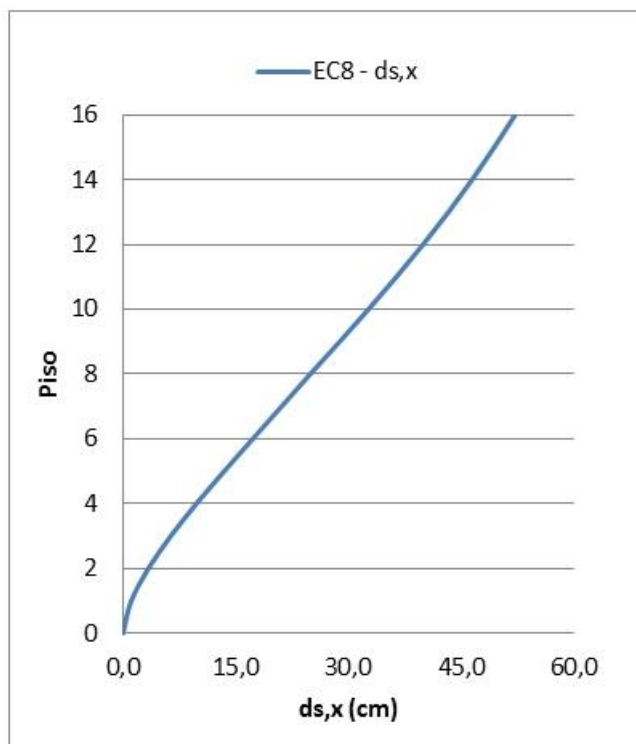


Figura 4.24 - Deslocamentos máximos por piso, sismo afastado, direção x (EC8)

Como se verifica pela Figura 4.24 os deslocamentos obtidos na estrutura são, de facto, bastante elevados. Constata-se ainda que nos pisos intermédios da estrutura o deslocamento entre pisos assume valores importantes, do qual se destaca o valor máximo que ocorre entre o 8º e o 9º pisos da estrutura. No Quadro 4.57 apresenta-se o valor do deslocamento entre os referidos pisos, sendo posteriormente comparado com o menor dos valores regulamentares do deslocamento entre pisos, tal como foi definido em 2.2.2.5.

Quadro 4.57 - Deslocamentos no piso 8 e 9 e correspondente deslocamento entre pisos

Estrutura	Piso	Deslocamentos x (cm)	d_r x (m)	d_r regulamentar máximo (m)
EM16	9	28,80	0,0390	0,0375
	8	24,90		

Em que:

d_r – Valor de cálculo do deslocamento entre pisos

Analisando o Quadro 4.57 verifica-se que o valor do deslocamento entre os pisos 8 e 9 é superior ao menor dos valores regulamentares do deslocamento entre pisos e portanto a estrutura não satisfaz o requisito de “limitação de danos” definido no EC8. A estrutura em questão teria que ser redimensionada para que o referido requisito fosse cumprido, no entanto, o mesmo não será feito neste trabalho, visto não se enquadrar nos objetivos do mesmo.

Seguidamente apresentam-se, no Quadro 4.58, os deslocamentos máximos no topo da estrutura para o sismo próximo.

Quadro 4.58 - Deslocamentos no topo da estrutura, Sismo Próximo

Deslocamentos (cm) – Sismo Próximo							
Estrutura	Tipo de Terreno	Deslocamento x (cm)			Deslocamento y (cm)		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	A / I	5,30	3,64	-46	4,40	2,99	-47
	C / II	5,01	5,09	2	4,11	4,37	6
	D / III	4,59	7,38	61	3,72	6,33	70
EM16	A / I	12,56	16,24	29	11,78	14,04	19
	C / II	12,46	16,28	31	11,64	14,08	21
	D / III	12,09	16,37	35	11,23	14,79	32

Observando o Quadro 4.58 constata-se que as diferenças entre os deslocamentos para este tipo de ação são consideravelmente inferiores às obtidas para a ação sísmica afastada. Neste caso, para o terreno tipo A/I verifica-se superioridade dos valores dos deslocamentos do RSA face ao EC8 na estrutura EM8, ligeiramente superior a 45% nas duas direções, situação que se inverte na estrutura EM16, onde na direção x se verifica aproximadamente 30% de superioridade dos deslocamentos do EC8.

A maior diferença destes casos analisados surge na estrutura EM8, no terreno tipo D/III, na direção y e situa-se em 70%

- Corte Basal

Seguidamente apresentam-se os Quadro 4.59 e Quadro 4.60 respeitantes ao corte basal da estrutura para o sismo afastado nas direções x e y respetivamente.

Quadro 4.59 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção x

Corte Basal – Sismo Afastado, Direção x										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	F_x (kN)	2547	2162	-18	2615	2812	8	2487	4197	69
	M_y (kN.m)	43588	35783	-22	45050	46543	3	42852	71535	67
EM16	F_x (kN)	3218	2422	-33	4041	3150	-28	4116	4482	9
	M_y (kN.m)	101063	67115	-51	131494	87296	-51	134308	134050	0

Quadro 4.60 - Corte Basal da estrutura, Sismo Afastado, Direção y

Corte Basal – Sismo Afastado, Direção y										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	F_y (kN)	2590	2457	-5	2528	3194	26	2433	4614	90
	M_x (kN.m)	44812	41754	-7	43985	54291	23	42358	80117	89
EM16	F_y (kN)	3365	2563	-31	4312	3332	-29	4324	4739	10
	M_x (kN.m)	106709	72150	-48	141999	93820	-51	142738	143956	1

Examinando os Quadros Quadro 4.59 e Quadro 4.60 verifica-se que num terreno tipo A/I as forças basais determinadas pelo RSA são superiores às correspondentes forças determinadas pelo EC8. Esta superioridade é mais significativa na estrutura EM16 onde se verifica uma diferença de sensivelmente 30% nas forças e de cerca de 50% nos momentos.

Considerando piores condições geotécnicas verifica-se uma redução destes valores. No caso da estrutura EM16, considerando um terreno tipo D/III constata-se que a diferença é praticamente nula e, na estrutura EM8, verificam-se diferenças de aproximadamente 90% na força F_y e no momento M_x mas, neste caso, com superioridade do EC8.

Os Quadros 4.61 e Quadro 4.62, que se apresentam de seguida, dizem respeito ao corte basal da estrutura para o sismo próximo nas direções x e y respetivamente.

Quadro 4.61 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção x

Corte Basal – Sismo Próximo, Direção x										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	F_x (kN)	2745	801	-243	2519	1142	-121	2246	1535	-46
	M_y (kN.m)	42592	10688	-298	40196	14952	-169	36841	21623	-70
EM16	F_x (kN)	2854	1336	-114	2742	1442	-90	2581	1618	-60
	M_y (kN.m)	78526	41871	-88	77870	41941	-86	75578	42070	-80

Quadro 4.62 - Corte Basal da estrutura, Sismo Próximo, Direção y

Corte Basal – Sismo Próximo, Direção y										
Estrutura	Força Basal	A / I			C / II			D / III		
		RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
EM8	F_y (kN)	3016	861	-250	2742	1257	-118	2432	1704	-43
	M_x (kN.m)	48143	11969	-302	44952	17473	-157	40635	25247	-61
EM16	F_y (kN)	3107	1342	-132	2968	1481	-100	2771	1717	-61
	M_x (kN.m)	85088	41401	-106	84072	41529	-102	81049	43589	-86

Na ação sísmica próxima verificam-se diferenças consideravelmente mais significativas, comparativamente com a ação sísmica afastada, tal como pode ser observado pelos Quadros Quadro 4.61 e Quadro 4.62. Num terreno tipo A/I, na estrutura EM8 constata-se diferenças de 250% na força F_y e de 302% no momento M_x , em ambos os casos com superioridade dos valores do RSA face ao EC8.

Novamente verifica-se uma atenuação destes valores para piores condições geotécnicas, baixando a diferença dos parâmetros referidos anteriormente para 118% e 157% respetivamente num terreno tipo C/II e para 43% e 61% num terreno tipo D/III.

4.3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De seguida será apresentado, e posteriormente discutido, um quadro resumo que visa analisar ao detalhe as diferenças existentes entre os dois regulamentos em estudo, em quatro casos concretos do estudo realizado. Os casos analisados correspondem às estruturas PT4 e EM8, num terreno A/I e num terreno tipo C/II, na zona de Lisboa, considerando uma ação sísmica afastada.

Os parâmetros que foram alvo de discussão são a frequência do primeiro modo de vibração da estrutura (translação na direção x), a aceleração espectral correspondente ao 1º modo, o deslocamento no topo da estrutura na direção x e, por fim, a força basal F_x .

Primeiramente é apresentado, no Quadro 4.63, as referidas estruturas e parâmetros para um terreno tipo A/I.

Quadro 4.63 - Quadro Resumo, terreno tipo A/I

Sismo Afastado					
Tipo de Terreno	Estrutura	RSA	EC8	Diferença (%)	
A/I	PT4	f (Hz)	1,463	1,050	-39
		S _d (m/s ²)	0,988	0,606	-63
		d _x (cm)	5,23	6,93	32
		F _x (kN)	918	569	-61
	EM8	f (Hz)	1,524	1,102	-38
		S _d (m/s ²)	1,403	0,689	-104
		d _x (cm)	5,44	7,35	35
		F _x (kN)	2547	1297	-96

Analisando os parâmetros referentes à estrutura PT4, presentes no Quadro 4.63, verifica-se desde logo uma superioridade clara da frequência do primeiro modo de vibração do RSA face ao EC8. Esta diferença de 39% deve-se em grande parte, tal como foi exposto em 4.2.4, à redução de 50% da rigidez dos elementos primários da estrutura proposta pelo EC8, facto este que não é abordado no RSA.

Seguidamente constata-se que a aceleração sísmica obtida pelo dimensionamento do RSA é cerca de 63% superior à correspondente aceleração do EC8. Este valor é diretamente influenciado pela frequência do primeiro modo de vibração, discutido no parágrafo anterior. Isto porque sendo a frequência do RSA superior à do EC8, implica que o correspondente período seja inferior ao do EC8, obtendo-se daí uma frequência numa zona do espectro de resposta em que as acelerações sísmicas são superiores, no RSA.

Observando agora os deslocamentos no topo da estrutura denota-se uma superioridade considerável do EC8, cerca de 32%, ainda que a aceleração sísmica a que está sujeita a estrutura seja superior no RSA. No entanto, devido à redução de 50% da rigidez nos elementos primários preconizada pelo EC8, a estrutura dimensionada por este regulamento vai possuir maior “liberdade” de movimentos aquando da ocorrência de um evento sísmico, resultando daí os deslocamentos maiores que se verificam.

Por último verifica-se uma superioridade clara na força basal F_x do RSA, que é aproximadamente 61% superior à correspondente força do EC8. Esta superioridade reflete-se totalmente no valor da aceleração sísmica S_d que, como se viu anteriormente, é superior segundo o RSA. Relembro que as estruturas analisadas possuem a mesma massa e o mesmo carregamento vertical e portanto, em termos gerais, a força basal F_x vai-se diferenciar nos dois regulamentos através da ação sísmica que é aplicada a estrutura. Daí que o valor da diferença percentual obtido na aceleração sísmica e na força basal seja tão similar.

As conclusões apresentadas nos parágrafos anteriores podem ser transportadas do mesmo modo para a estrutura EM8 que também é apresentada no Quadro 4.63. Neste caso verifica-se aproximadamente a mesma diferença na frequência do modo de vibração, cerca de 38%. A aceleração sísmica do RSA, por sua vez, apresenta um valor ainda mais distante do EC8, apresentando uma superioridade de 104%. Esta maior superioridade na aceleração sísmica vai consequentemente originar numa força basal F_x mais elevada no RSA, tal como explicado anteriormente, apresentando neste caso uma superioridade a rondar os 100%. O deslocamento no topo da estrutura aumenta ligeiramente em ambos os regulamentos, mantendo-se assim aproximadamente constante a diferença entre estes (35%), comparativamente com a diferença obtida na estrutura PT4 (32%).

Segue-se agora o Quadro 4.64, referente à análise das estruturas PT4 e EM8 num terreno tipo C/II, em Lisboa considerando um sismo afastado.

Quadro 4.64 - Quadro Resumo, terreno tipo C/II

Sismo Afastado				
Tipo de Terreno	Estrutura	RSA	EC8	Diferença (%)
C/II	PT4	f (Hz)	1,463	1,050
		S_d (m/s^2)	1,036	0,909
		d_x (cm)	5,48	10,41
		F_x (kN)	958	855
	EM8	f (Hz)	1,524	1,102
		S_d (m/s^2)	1,450	1,034
		d_x (cm)	5,62	11,03
		F_x (kN)	2615	1947

Examinando os parâmetros presentes no Quadro 4.64, referentes à estrutura PT4, constata-se que, tal como se analisou no Quadro 4.63, existe uma redução da frequência do modo primeiro de vibração do EC8 face ao RSA, igualmente de 39%.

Relativamente à aceleração sísmica verifica-se, novamente, uma redução do valor obtido no dimensionamento do EC8 em relação ao valor obtido segundo o RSA. No entanto, comparativamente com um terreno tipo A/I (Quadro 4.63), essa desigualdade é menos acentuada, atingindo cerca de 14%. Esta menor diferença deve-se ao facto de o RSA propor uma redução das acelerações sísmicas para piores condições geotécnicas, contrariamente ao que propõe o EC8. Deste modo, a diferença que se verificava para um terreno tipo A/I (63%) é atenuada quando se analisa um terreno tipo C/II.

Relativamente aos deslocamentos obtidos no topo da estrutura, de acordo com o EC8, observa-se um aumento claro destes face ao RSA (na ordem dos 90%). Este valor corresponde a um aumento considerável face ao valor que se obtém para um terreno tipo A/I (32%). Esta diferença deve-se ao facto de num terreno tipo C/II a variação da aceleração sísmica entre os regulamentos ser mais reduzida, resultando daí que a redução de rigidez preconizada pelo EC8 apresente maior “relevância”.

Por último, analisando a força basal F_x , constata-se que a redução obtida pelo dimensionamento do EC8 é menor, quando comparado com a correspondente força num terreno tipo A/I. O valor obtido, 12%, é em tudo semelhante à diferença da aceleração sísmica S_d verificada entre os dois regulamentos, cerca de 14%, tal como seria expectável como anteriormente foi referido.

Passando agora à análise da estrutura EM8, verifica-se o mesmo valor da frequência do primeiro modo de vibração, em ambos os regulamentos, como seria expectável uma vez que esse valor apenas depende do tipo de estrutura.

Relativamente à aceleração sísmica verifica-se que se mantém a redução do valor do EC8 face ao RSA, cerca de 40%, neste caso uma redução menos acentuada, comparativamente com um terreno tipo A/I (aproximadamente 100%). Tal como foi referido anteriormente este valor tem relação direta com o valor obtido para a força basal F_x , que neste caso concreto é de praticamente 35%, novamente com superioridade do valor do RSA.

Finalmente, constata-se um aumento de praticamente 100% no deslocamento do topo da estrutura dimensionada pelo EC8 comparativamente com o valor obtido no dimensionamento do RSA. Verifica-se assim um aumento considerável deste parâmetro, face ao valor obtido num terreno tipo A/I, à semelhança do que se conclui na estrutura PT4 anteriormente exposta.

É importante, por último, referir que algumas das estruturas dimensionadas anteriormente apresentam deslocamentos máximos consideravelmente elevados que, tal como se expôs, a título exemplificativo, em 4.3.3.2, podem não cumprir o requisito de “limitação de danos” definido pelo EC8. Assim, as referidas estruturas teriam que ser redimensionadas para que esse requisito fosse satisfeito. Visto que este trabalho tem como objetivo primordial a comparação entre os regulamentos em estudo, RSA/REBAP e EC8, o referido dimensionamento não foi realizado.

4.4 DIMENSIONAMENTO DE UMA PAREDE DE CONTRAVENTAMENTO

4.4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste subcapítulo realizou-se o dimensionamento de uma parede de contraventamento segundo o RSA e o EC8. Tal como referido anteriormente a estrutura utilizada nesse dimensionamento foi a estrutura EM8, na zona de Lisboa considerando um terreno de referência A/I (estrutura analisada no tópico anterior). A parede considerada no dimensionamento foi a parede P1 que está apresentada na figura seguinte. A referida parede tem 30 cm de espessura, 4 m de comprimento, estendendo-se em toda a altura do edifício, tal como já foi exposto em 4.2.1.2.

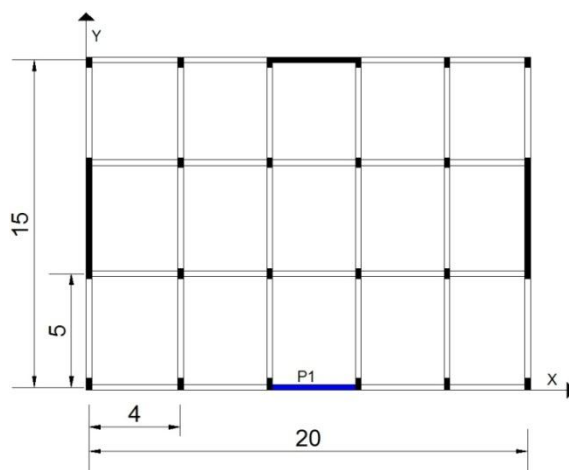


Figura 4.25 - Planta Estrutural do edifício EM8 - Parede P1

Na análise dos esforços na parede face à ação sísmica consideraram-se as combinações presentes no Quadro 4.65.

Quadro 4.65 - Combinações Sísmicas consideradas

Nomenclatura	Combinação
AS1X	$1,0 \times PP + 1,0 \times RCP + 0,3 \times SC + 1,0 \times EK_{1X} + 0,3 \times EK_{1Y}$
AS1Y	$1,0 \times PP + 1,0 \times RCP + 0,3 \times SC + 1,0 \times EK_{1Y} + 0,3 \times EK_{1X}$
AS2X	$1,0 \times PP + 1,0 \times RCP + 0,3 \times SC + 1,0 \times EK_{2X} + 0,3 \times EK_{2Y}$
AS2Y	$1,0 \times PP + 1,0 \times RCP + 0,3 \times SC + 1,0 \times EK_{2Y} + 0,3 \times EK_{2X}$

Em que:

AS1X – combinação sísmica da ação sísmica tipo 1, predominantemente na direção x

AS1Y – combinação sísmica da ação sísmica tipo 1, predominantemente na direção y

AS2X – combinação sísmica da ação sísmica tipo 2, predominantemente na direção x

AS2Y – combinação sísmica da ação sísmica tipo 2, predominantemente na direção y

PP – peso próprio da estrutura

RCP – restantes cargas permanentes

SC – sobrecarga no piso

EK_{1X} – Componente da ação sísmica tipo 1, na direção x

EK_{1Y} – Componente da ação sísmica tipo 1, na direção y

EK_{2X} – Componente da ação sísmica tipo 2, na direção x

EK_{2Y} – Componente da ação sísmica tipo 2, na direção y

As armaduras nas paredes foram calculadas de acordo com o exposto em 2.2.2.8. Nesse dimensionamento considerou-se que a parede apresentaria duas secções diferentes em altura. A primeira secção seria calculada através dos esforços obtidos na base e prolongar-se-ia 2 pisos, sendo que a segunda secção seria calculada através dos esforços obtidos no 3º piso, prolongando-se até ao último piso da estrutura.

4.4.2 ESFORÇOS MÁXIMOS

Apresenta-se agora, nas Figura 4.26 e Figura 4.27, os diagramas dos esforços transversos e dos momentos flectores obtidos na análise da parede P1, pelos dois regulamentos em estudo.

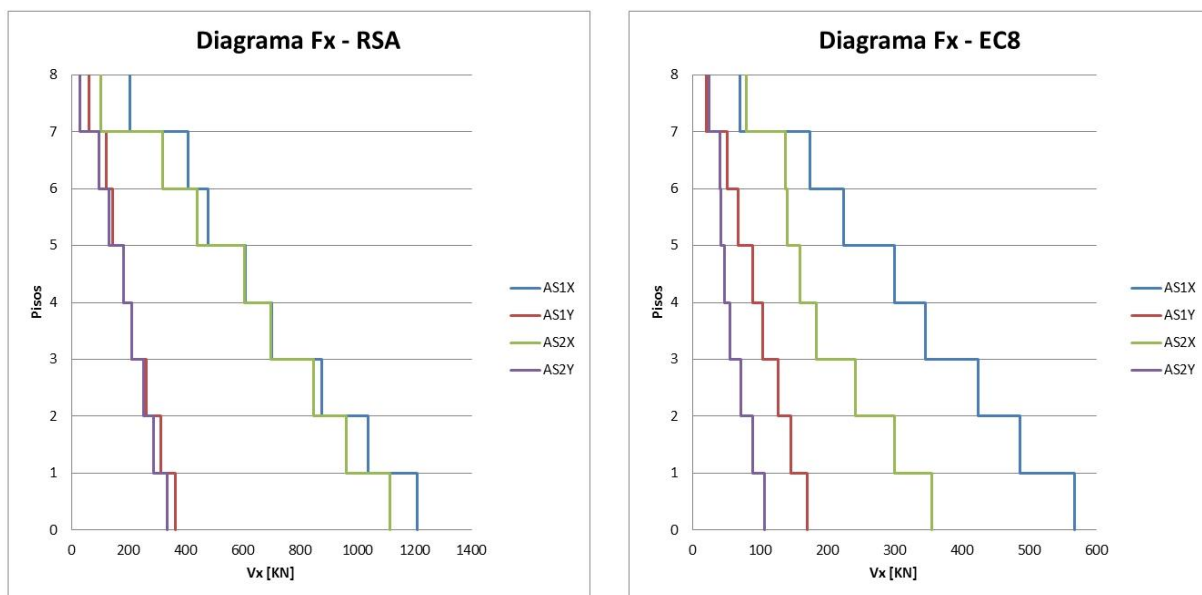


Figura 4.26 - Diagramas dos esforços transversos da parede P1

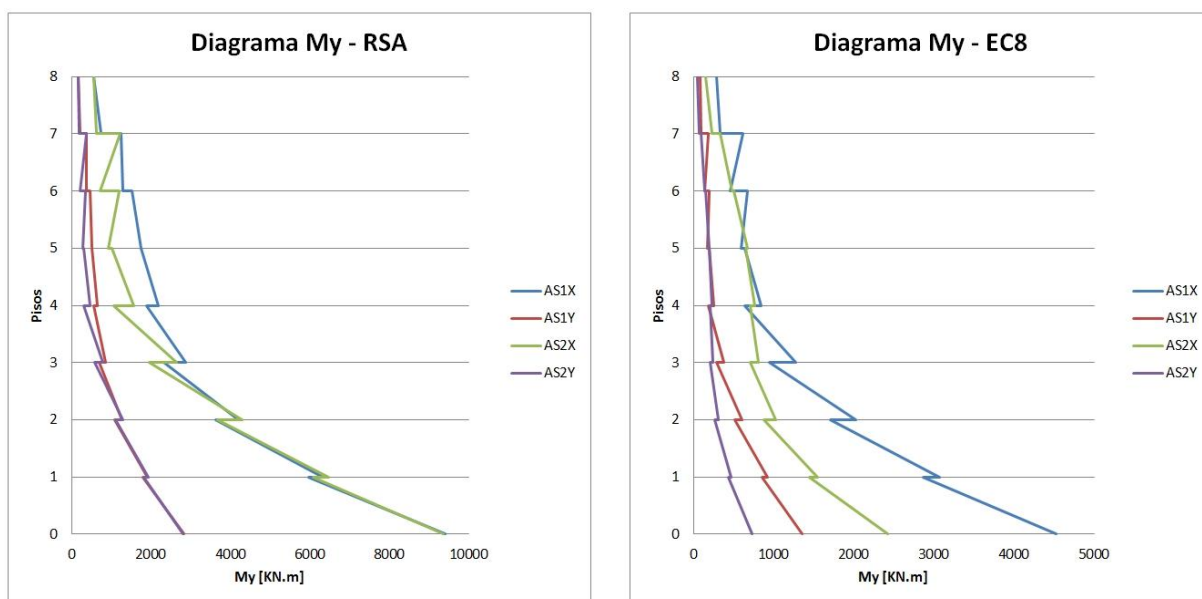


Figura 4.27 - Diagramas dos momentos flectores da parede P1

Para que seja possível uma melhor análise dos valores obtidos em ambos os regulamentos, apresenta-se, no Quadro 4.66, os valores dos esforços transversos e dos momentos fletores determinados, para a combinação sísmica condicionante, AS1X.

Quadro 4.66 - Esforços Transversos e Momentos Fletores obtidos da análise da parede

Combinação AS1X						
Pisos	F_x (kN)			M_y (kN.m)		
	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
0	1210	568	-113	9413	4523	-108
1	1210	568	-113	5968	2867	-108
1	1038	486	-113	6350	3071	-107
2	1038	486	-113	3640	1712	-113
2	877	424	-107	4217	2028	-108
3	877	424	-107	2322	952	-144
3	702	347	-102	2875	1282	-124
4	702	347	-102	1880	640	-194
4	608	301	-102	2199	841	-162
5	608	301	-102	1744	646	-170
5	478	225	-112	1746	594	-194
6	478	225	-112	1530	672	-128
6	410	174	-135	1288	464	-177
7	410	174	-135	1237	623	-99
7	204	71	-187	744	331	-124
8	204	71	-187	560	289	-94

Analisando o Quadro 4.66 verifica-se que os valores de F_x e M_y obtidos de acordo com o RSA são sempre superiores aos correspondentes valores do EC8. Esta diferença ascende, na generalidade dos casos, a pelo menos 100%, sendo que a maior discrepância de F_x se situa no piso 8 (187%) e em M_y situa-se no piso 4 (194%). De referir ainda que, ao nível da base da parede se verificam esforços transversos de 1210 kN e 568 kN no RSA e EC8 respetivamente, e momentos fletores de 9413 kN.m e 4523 kN.m igualmente no RSA e EC8 respetivamente.

Estas diferenças tão significativas seriam desde logo expectáveis uma vez que, e recordando o que foi dito em 4.3.4, a aceleração sísmica aplicada a esta estrutura é aproximadamente 104% superior no RSA, devido ao facto de a frequência do primeiro modo de vibração desta estrutura ser consideravelmente superior neste regulamento face ao EC8.

No entanto, à luz do que foi apresentado em 2.2.2.8, o EC8 define envolventes de cálculo a utilizar quer nos esforços transversos, quer nos momentos fletores, pelo que estes valores, de acordo com o EC8, vão ser consideravelmente superiores aos expostos no Quadro 4.66. A construção das referidas envolventes de cálculo estão apresentadas, para a combinação condicionante AS1X, nas Figura 4.28 e Figura 4.29. De referir que foi considerado que a força F_x no último piso da estrutura apresenta um valor igual a 50% do valor da base, que é o valor mínimo permitido nesta construção.

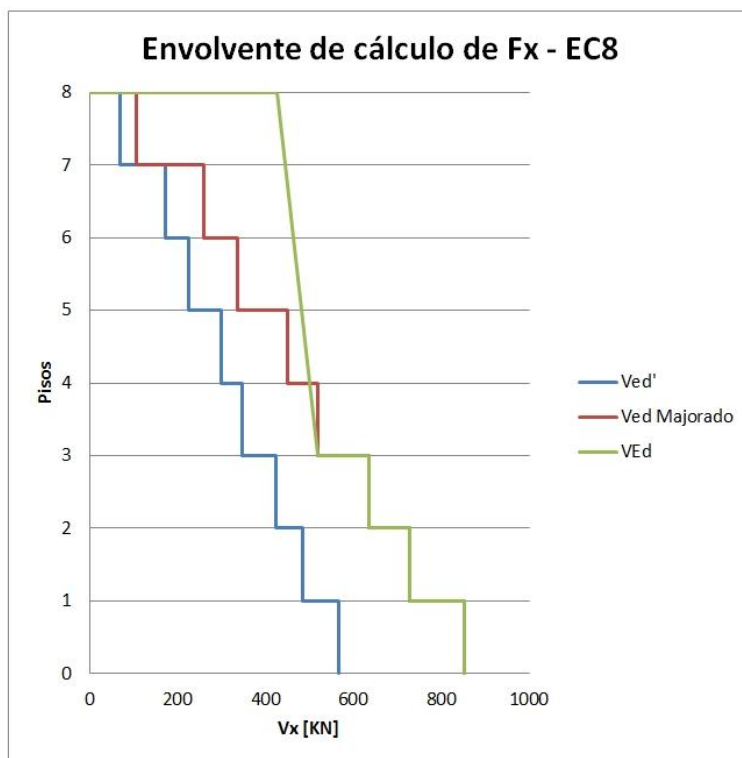


Figura 4.28 - Envolvente de cálculo dos Esforços Transversos

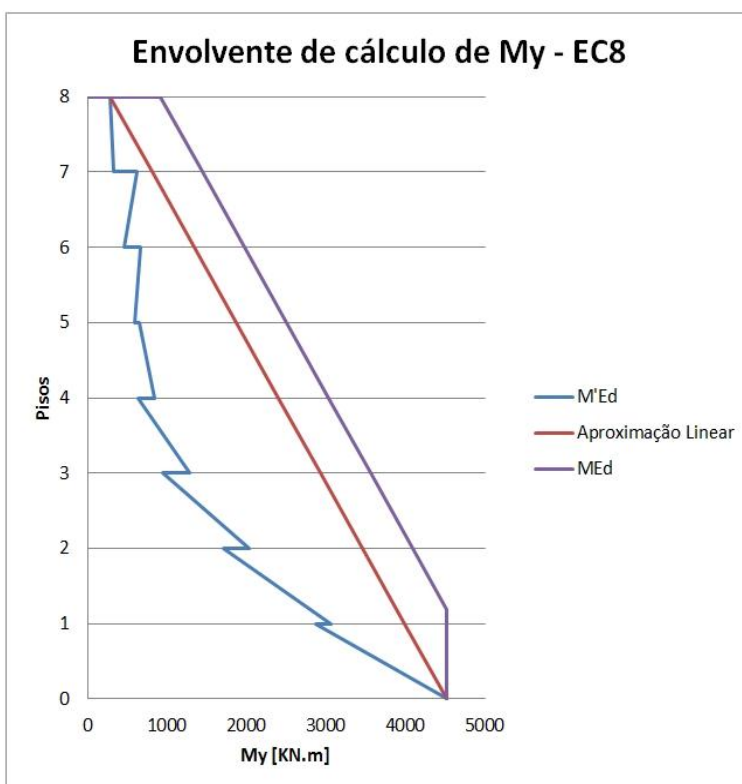


Figura 4.29 - Envolvente de cálculo dos Momentos Fletores

Tal como o EC8, o REBAP define que o valor de cálculo dos esforços transversos deve ser majorado, tal como foi apresentado na expressão (2.27). Na referida expressão, no limite, o valor de cálculo do momento resistente da secção, M_{Rd} , é igual ao valor de cálculo do momento atuante nessa secção, M_{Sd} , pelo que foi considerado que o quociente destes dois valores é 1. Assim, os esforços transversos de cálculo do REBAP correspondem a 1,1 vezes o valor dos esforços transversos atuantes.

Deste modo, os valores a considerar no dimensionamento da parede apresentam-se no Quadro 4.67.

Quadro 4.67 - Valores de cálculo dos Esforços Transversos e dos Momentos Fletores

Combinação AS1X						
Pisos	F_x (kN)			M_y (kN.m)		
	RSA	EC8 envolvente	Diferença (%)	RSA	EC8 envolvente	Diferença (%)
0	1331	852	-56	9413	4523	-108
1	1331	852	-56	5968	4523	-32
1	1142	729	-57	6350	4523	-40
2	1142	729	-57	3640	4092	12
2	965	636	-52	4217	4092	-3
3	965	636	-52	2322	3562	53
3	772	520	-48	2875	3562	24
4	772	501	-54	1880	3033	61
4	669	501	-33	2199	3033	38
5	669	482	-39	1744	2504	44
5	526	482	-9	1746	2504	43
6	526	463	-13	1530	1975	29
6	450	463	3	1288	1975	53
7	450	445	-1	1237	1446	17
7	225	445	98	744	1446	94
8	225	426	89	560	916	64

Desde logo se verifica uma redução importante face ao que se sucedia no Quadro 4.66. Analisando a força F_x constata-se que, na passagem para o piso 8 da estrutura, há um aumento de praticamente 100% da referida força segundo o EC8. Esta situação surge pelo facto de a envolvente de cálculo do EC8 definir que o valor do esforço transversal no último piso tem que ser igual ou superior a metade do correspondente valor da base. Assim surge um aumento bastante significativo do valor do esforço transversal nos últimos pisos da estrutura.

Relativamente ao momento M_y verifica-se que o RSA é superior ao EC8 apenas até ao piso 2, invertendo-se a situação daí até ao último piso. Esta inversão do que acontecia anteriormente deve-se, tal como no esforço transversal, à envolvente de cálculo dos momentos flectores que implica um aumento considerável do referido valor nos pisos médios do edifício.

4.4.3 ARMADURAS NA PAREDE P1

4.4.3.1 Armadura Longitudinal

A armadura longitudinal foi determinada, em ambos os regulamentos, com base no conceito de elemento de extremidade (E.E.) e/ou pilar fictício (P.F.). Os P.F./E.E. constituem uma zona de extremidade da parede onde se concentram grande parte dos esforços, cuja distribuição se esquematiza na Figura 4.30.

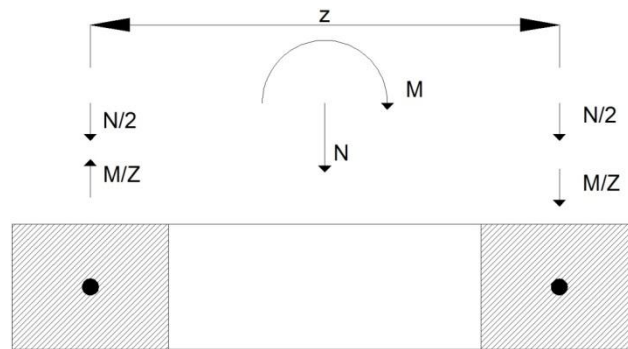


Figura 4.30 - Distribuição de esforços nos P.F./E.E.

As armaduras longitudinais calculam-se então através do esforço de tração F_t resultante da distribuição anteriormente apresentada, sendo calculado pela expressão (4.5). No cálculo da referida força de tração considerou-se o valor do esforço axial da combinação sísmica mínima, estando por isso do lado da segurança, uma vez que se está a majorar a força F_t .

$$F_t = \frac{M}{z} - \frac{N}{2} \quad (4.5)$$

Em que:

M – Momento na direção y (M_y)

N – Esforço axial (F_z)

EC8/EC2

- Geometria

A dimensão inicial dos E.E. foi calculada com base na expressão (2.22).

$$l_c \geq \begin{cases} 0,15l_w \\ 1,50b_w \end{cases} \geq \begin{cases} 0,15 \times 4 \\ 1,50 \times 0,3 \end{cases} \geq \begin{cases} 0,6 \\ 0,45 \end{cases} \geq 0,6m$$

- Esforços e Armadura

Os esforços a que a parede está sujeita, na base e ao nível do 3º piso apresentam-se no Quadro 4.68. O valor de z apresentado esquematicamente na Figura 4.30 foi determinado com base na dimensão l_c determinada anteriormente. Assim, $z = 4 - 2 \times \frac{0,6}{2} = 3,4m$.

Quadro 4.68 - Esforços de cálculo nos E.E. da parede segundo o EC8

Secção	F_z (kN)	M_v (kN.m)	F_t (kN)	$A_{s,aprox.}$ (cm ²)	$A_{s,mín.}$ (cm ²)
Base	2405	4523	128	2,9	9,0
3º Piso	1877	4092	265	6,1	9,0

Como se pode verificar no quadro anteriormente exposto, ambos os E.E. estão sujeitos a forças de tração reduzidas, uma vez que o valor do momento M_y não é suficientemente elevado, face ao esforço axial F_z , para provocar trações consideráveis nessas zonas. Deste modo a armadura que é necessária dispor na parede apresenta um valor consideravelmente reduzido, valor esse, inferior ao mínimo regulamentar na zona dos E.E.. Deste modo, será necessário considerar, no dimensionamento desta parede, o valor mínimo regulamentar da armadura longitudinal apresentado no mesmo quadro (9cm²).

Na zona da alma da parede (fora dos E.E.) adota-se, igualmente, o valor da armadura longitudinal regulamentar mínima.

$$A_s = 0,002 \times A_{alma} = 0,002 \times 30 \times (4 - 2 \times 60) = 16,8 \text{ cm}^2$$

Pelo facto de a armadura que se obtém neste dimensionamento ser a armadura mínima regulamentar, o processo iterativo de determinação da distância l_c , explicado em 2.2.2.8, não é realizado, uma vez que se adota o valor mínimo regulamentar dessa distância, como determinado anteriormente (0,6m).

Adicionalmente convém referir que, pelo facto de se obter a armadura regulamentar mínima na base da parede, apenas poderá ser considerada uma secção de armadura em toda a parede, não existindo redução da mesma a partir do 3º piso.

A armadura longitudinal calculada para a parede está apresentada no Quadro 4.69 e a sua disposição encontra-se nas Figura 4.32 e Figura 4.34.

Quadro 4.69 - Armadura Longitudinal da parede P1 - EC8

Pisos	Zona	$A_{s,mín}$ (cm ²)	Realização	$A_{s,adotado}$ (cm ²)	ρ (%)
1-8	E.E.	9,0	8Φ12	9,05	0,503
	Alma	16,8	24Φ10	18,85	0,224
	Secção Total	34,8	16Φ12 + 24Φ10	36,95	-

REBAP

- Geometria

A dimensão inicial dos P.F. foi calculada com base no que foi exposto no Quadro 2.16.

$$l_c \geq \left\{ \frac{l}{10} \right\} \geq \left\{ \frac{4}{2 \times 0,3} \right\} \geq \left\{ \frac{0,4}{0,6} \right\} \geq 0,6m$$

- Esforços e Armadura

Os esforços a que a parede está sujeita, na base e ao nível do 2º piso apresentam-se no Quadro 4.70. O valor de z apresentado esquematicamente na Figura 4.30 foi determinado com base na dimensão l_c determinada anteriormente. Assim, $z = 4 - 2 \times \frac{0,6}{2} = m$.

Quadro 4.70 - Esforços de cálculo nos P.F. da parede segundo o REBAP

Secção	F_z (kN)	M_v (kN.m)	F_t (kN)	As,aprox. (cm ²)	As,mín. (cm ²)
Base	2301	9413	1618	37,2	18
3º Piso	1787	4217	347	8,0	18

Examinando o quadro anteriormente exposto verifica-se que, na secção da base da parede, a armadura longitudinal necessária dispor em cada P.F. é superior à armadura longitudinal mínima regulamentar. Esta situação já não se verifica no 3º piso, pelo que, desse piso até ao último piso da estrutura será considerada a armadura mínima regulamentar.

À semelhança do que se realizou no EC8, na zona da alma da parede (fora dos P.F.), adota-se o valor da armadura longitudinal regulamentar mínima.

$$A_s = 0,003 \times A_{alma} = 0,003 \times 30 \times (4 - 2 \times 60) = 25,2 \text{ cm}^2$$

Quadro 4.71 - Armadura Longitudinal da parede P1 - REBAP

Pisos	Zona	As,mín (cm ²)	Realização	As,adotado (cm ²)	ρ (%)
1-2	P.F.	18,0	12Φ20	37,70	0,31
	Alma	25,2	24Φ12	27,14	0,32
	Secção Total	61,2	24Φ20 + 24 Φ12	102,54	-
3-8	P.F.	18,0	6Φ20	18,85	0,16
	Alma	25,2	24Φ12	27,14	0,32
	Secção Total	61,2	12Φ20 + 24 Φ12	64,84	-

As disposições de armadura adotadas para a parede P1, entre a secção da base e o 2º piso e, entre o 3º piso e o 8º piso estão representadas nas Figura 4.31 e Figura 4.33, respetivamente.

4.4.3.2 Armadura Horizontal – Disposição de armadura mínima

EC8/EC2

A armadura horizontal foi determinada com base nas restrições mínimas definidas pelo EC2, tal como foi exposto no Quadro 2.15.

$$A_{s,hmin} = \max \left\{ 25\% A_{sv} \right. = \max \left\{ \frac{0,25 \times 36,95}{0,001 \times 100 \times 30} = \max \left\{ \frac{9,24}{3} = 9,24 \text{ cm}^2 \right. \right.$$

A armadura horizontal a considerar, por metro de altura da parede, será 9,24cm²/m que correspondem a 4,62cm²/m em cada face. A armadura realizada e correspondente área estão expostas no Quadro 4.72.

Quadro 4.72 - Armadura Horizontal por face - EC8

Pisos	As,mín (cm ² /m.face)	Diâmetro varões (mm)	s (m)	Realização	As,adotado (cm ² /m.face)
1-8	4,62	8	≤ 0,11	Φ8//0,10	5,03

REBAP

À semelhança do que sucede com o EC8/EC2, o REBAP apresenta restrições relativamente à armadura horizontal mínima regulamentar, tal como foi exposto no Quadro 2.17.

$$A_{sh,min} = 0,0005 \times b \times a = 0,0005 \times 30 \times 100 = 1,50 \text{ cm}^2/\text{m. face}$$

Quadro 4.73 - Armadura Horizontal por face - REBAP

Pisos	As,mín (cm ² /m.face)	Diâmetro varões (mm)	s (m)	Realização	As,adotado (cm ² /m.face)
1-8	1,50	8	≤ 0,34	Φ8//0,30	1,68

É importante referir que o espaçamento adotado (0,30m) na solução desta armadura foi limitado pelo espaçamento máximo definido pelas disposições construtivas da armadura horizontal segundo o REBAP, como foram apresentadas no Quadro 2.17.

4.4.3.3 Dimensionamento ao esforço transversal

No cálculo da armadura transversal procedeu-se à verificação de segurança ao esforço transversal quer no dimensionamento pelo EC8/EC2 quer pelo REBAP. O valor do esforço transversal atuante considerado no referido cálculo foi o da secção da base, uma vez que é o maior valor que se verifica na estrutura.

EC8/EC2

O EC8 define, em 5.4.3.4.2(12), que a armadura transversal poderá ser determinada apenas de acordo com o EC2, caso seja satisfeita uma das seguintes condições:

- $v_d \leq 0,15$;
- $v_d \leq 0,20$ e o coeficiente q na análise é reduzido de 15%.

Uma vez que

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}} = \frac{2543}{0,3 \times 4 \times 25000/1,5} = 0,13 \leq 0,15$$

Procedeu-se à verificação de segurança ao esforço transversal de acordo com 6.2 do EC2. Primeiramente verificou-se a necessidade ou não da utilização de armadura de esforço transversal, como disposto em 6.2.2 do referido regulamento.

Quadro 4.74 - Verificação ao esforço transversal não sendo requerida armadura de esforço transversal

V_{Ed} (kN)	$V_{Rd,c \min}$ (kN)	$V_{Rd,c}$ (kN)	Verificação
852	599,4	666,3	$V_{Ed} > V_{Rd,c}$ KO!

Como se verifica pelo Quadro 4.74 o esforço transversal atuante na base da parede é superior ao esforço transversal resistente caso não fosse exigida armadura de esforço transversal. Como tal é necessário verificar se a armadura horizontal mínima determinada anteriormente garante a resistência necessária para resistir aos esforços transversos, tal como disposto em 6.2.3 do EC2. Os resultados desse cálculo estão apresentados no Quadro 4.75, sendo a solução de armadura adotada apresentada no Quadro 4.76. Nesse cálculo foi considerado $\cot\theta = 2,0$, uma vez que foi o valor considerado anteriormente no cálculo de a_l .

Quadro 4.75 - Verificação ao esforço transversal sendo requerida armadura de esforço transversal

V_{Ed} (kN)	A_s (cm ² /m.face)	$V_{Rd,máx.}$ (kN)	Verificação	Realização
852	5,03	1456	$V_{Ed} < V_{Rd,c}$ OK!	Φ8//0,10

A armadura obtida, apresentada no quadro anteriormente exposto diz respeito à armadura de esforço transversal a colocar na totalidade da secção da parede. No entanto, devido às disposições construtivas definidas pelo EC8 para os E.E. (apresentadas no Quadro 2.15), terá que se realizar um reforço destas armaduras na referida zona dos E.E.. Concretamente, o EC8 define que a distância máxima entre dois varões longitudinais cintados, na zona dos E.E., é de 200mm. Assim, para que esta restrição seja cumprida, terá que se considerar um estribo de 4 ramos na zona dos E.E., como se pode constatar através das Figura 4.32 e Figura 4.34, e pelo Quadro 4.76. É importante referir que o espaçamento adotado (0,10m) na solução desta armadura foi limitado pelo espaçamento máximo definido pelas disposições construtivas da armadura transversal nos E.E. segundo o EC8, como foram apresentadas no Quadro 2.15.

Quadro 4.76 - Definição da armadura de esforço transversal nos E.E. - EC8

A_{sw}/s (cm ² /m)	Diâmetro varões (mm)	S (m)	S, adotado (m)	Realização	A_{sw}/s , adotado (cm ² /m)
5,03	4r Φ 8	$\leq 0,12$	0,10	4r Φ 8/0,10	20,11

REBAP

O REBAP define, no Artigo 53.º, que o valor de cálculo do esforço transversal resistente, V_{Rd} , é obtido pela expressão (4.4).

$$V_{Rd} = V_{cd} + V_{wd} \quad (4.6)$$

À semelhança do que sucedeu no EC8, é necessário verificar se a armadura horizontal mínima determinada anteriormente garante a resistência necessária para resistir aos esforços transversos. Os parâmetros necessários para este cálculo, e os correspondentes resultados, estão apresentados no Quadro 4.77.

Quadro 4.77 - Verificação ao esforço transversal (armadura mínima) - REBAP

τ_1 (MPa)	V_{cd} (kN)	α	V_{wd} (kN)	V_{Rd} (kN)	V_{Ed} (kN)	Verificação
0,75	833	90°	243	1075	1331	$V_{Rd} < V_{Ed}$ KO!

Uma vez que a armadura mínima determinada anteriormente não é suficiente para resistir ao esforço transversal atuante, terá que ser dimensionada uma armadura horizontal maior, para que essa condição se verifique. Assim, considerando a situação limite, em que $V_{Rd} = V_{Ed}$, determina-se a nova armadura de esforço transversal. No Quadro 4.78 apresenta-se o referido cálculo.

Quadro 4.78 - Verificação ao esforço transversal - REBAP

τ_1 (MPa)	V_{cd} (kN)	α	V_{wd} (kN)	V_{Rd} (kN)	V_{Ed} (kN)	Verificação
0,75	833	90°	498	1331	1331	$V_{Rd} \geq V_{Ed}$ OK!

A solução de armadura de esforço transversal obtida apresenta-se no Quadro 4.79

Quadro 4.79 - Definição da armadura de esforço transversal - REBAP

V_{wd} (kN)	A_{sw}/s (cm ² /m)	Diâmetro varões (mm)	S (m)	S, adotado (m)	Realização	A_{sw}/s , adotado (cm ² /m)
498	3,44	8	≤ 0,15	0,10	Φ8//0,10	5,03

A armadura obtida, apresentada no quadro anteriormente exposto diz respeito à armadura de esforço transversal a colocar na totalidade da secção da parede. No entanto, devido às disposições construtivas definidas pelo REBAP para os P.F. (apresentadas no Quadro 2.17), terá que se realizar um reforço destas armaduras na referida zona dos P.F.. Concretamente, o REBAP define que a distância máxima entre dois varões longitudinais cintados, na zona dos P.F., é de 300mm. Assim, para que esta restrição seja cumprida, terá que se considerar um estribo extra na zona dos E.E., como se pode constatar através das Figura 4.31 e Figura 4.33e ainda pelo Quadro 4.80.

Quadro 4.80 - Definição da armadura de esforço transversal nos P.F. - REBAP

Pisos	A_{sw}/s (cm ² /m)	Diâmetro varões (mm)	S (m)	S, adotado (m)	Realização	A_{sw}/s , adotado (cm ² /m)
1-2	3,44	8	≤ 0,14	0,10	4r Φ8//0,10	20,11
3-8	3,44	8	≤ 0,14	0,10	3r Φ8//0,10	15,08

4.4.3.4 Comparação entre os regulamentos

Uma vez que o modo de cálculo das armaduras a colocar na parede é um processo moroso, optou-se por realizar a comparação entre os regulamentos em análise separadamente, permitindo assim uma análise e uma leitura mais clara da referida comparação.

Armadura Longitudinal

- Geometria

No que diz respeito a geometria dos P.F./E.E. verifica-se desde logo uma igualdade entre os dois regulamentos. No entanto, caso se verificasse que no EC8 a armadura longitudinal necessária era superior à armadura mínima regulamentar, esta igualdade não seria expectável, uma vez que teria que se realizar o processo iterativo de determinação de l_e , que conduziria a um aumento desta dimensão do E.E..

- Esforços e Armadura

Nos Quadro 4.81 e Quadro 4.82 realiza-se a comparação dos esforços de cálculo considerados e correspondentes armaduras.

Quadro 4.81 - Esforços axiais e momentos fletores de cálculo

Secção	F_z (kN)			M_y (kN.m)		
	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
Base	2301	2405	4	9413	4523	-108
3º Piso	1787	1877	5	4217	4092	-3

Analisando o Quadro 4.81 verifica-se que o esforço axial obtido nos dois regulamentos é praticamente igual, tal como seria de esperar, uma vez que as cargas gravíticas aplicadas nas estruturas são as mesmas em ambos os regulamentos, como se explicou em 4.2.2.1. Esta situação não se verifica no entanto quando se analisam os momentos fletores da base, uma vez que nesse caso a superioridade do RSA/REBAP ascende a 108%.

Quadro 4.82 - Força de tração aplicada ao P.F./E.E. e correspondente armadura

Secção	F_t (kN)			$A_{s,aprox.}$ (cm ²)			$A_{s,adotado}$ (cm ²)		
	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
Base	1618	128	-1165	37,2 > $A_{s,min}$	2,9 < $A_{s,min}$	-1165	37,70	9,05	-317
3º Piso	347	265	-31	8,0 < $A_{s,min}$	6,1 < $A_{s,min}$	-31	18,85	9,05	-108

Examinando o quadro anteriormente exposto verificam-se desde logo diferenças realmente elevadas na secção da base, já que a força de tração obtida pelo dimensionamento do RSA/REBAP é aproximadamente 1165% superior à correspondente força do EC8. Esta diferença, apesar de muito avultada não seria de todo inesperada. Recordando a expressão (4.5) anteriormente exposta, sendo o valor da distância z e o valor do esforço axial aproximadamente os mesmos em ambos os regulamentos seria expectável uma clara superioridade da força F_t segundo o RSA/REBAP visto que e a diferença do momento fletor é cerca de 100%. Na secção do 3º piso continua a verificar-se superioridade do RSA/REBAP, mas, neste caso, de apenas 31%.

Analisando agora a armadura aproximada que se obtém devido a força F_t , verifica-se que as diferenças referidas anteriormente apresentam exatamente o mesmo valor. No entanto, devido à imposição da armadura mínima regulamentar, as referidas diferenças acabam por ser consideravelmente atenuadas, constatando-se uma diferença de 317% na área de armadura adotada na secção da base. No 3º piso, verifica-se que, quer no RSA/REBAP, quer no EC8, a armadura adotada corresponde à armadura mínima regulamentar. Daí se conclui que, para um P.F./E.E. com as mesmas dimensões, a armadura mínima regulamentar do RSA/REBAP é o dobro da referida armadura no EC8.

Quadro 4.83 - Soluções de armadura longitudinal adotadas na secção total da parede

Secção	As,mín (cm ²)			Realização		As,adotado (cm ²)		
	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	RSA	EC8	Diferença (%)
Base	61,2	34,8	-76	24Φ20 + 24Φ12	16Φ12 + 24Φ10	102,54	36,95	-178
3º Piso	61,2	34,8	-76	12Φ20 + 24Φ12	16Φ12 + 24Φ10	64,84	36,95	-75

Por último, no que diz respeito à armadura longitudinal da parede, apresenta-se no Quadro 4.83 as soluções de armadura que foram adotadas nos dois regulamentos. Como seria expectável, verifica-se que o dimensionamento pelo RSA/REBAP apresenta maior quantidade de armadura em todos os casos analisados, sendo que a maior diferença se verifica na secção da base (178%).

Armadura Horizontal – Disposição de armadura mínima

Quadro 4.84 - Soluções de armadura horizontal adotadas

Pisos	As,mín (cm ² /m.face)			Realização		As,adotado (cm ² /m.face)		
	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	RSA	EC8	Diferença (%)
1-8	1,5	4,62	208	Φ8//0,30	Φ8//0,10	1,68	5,03	199

Analisando o Quadro 4.84 verifica-se que a armadura horizontal mínima regulamentar do EC8 é 208% superior à correspondente armadura do RSA/REBAP. A armadura adotada fez cair ligeiramente este valor para 199%.

Dimensionamento ao esforço transverso

Como referido anteriormente, no cálculo da armadura transversal procedeu-se à verificação de segurança ao esforço transverso quer no dimensionamento pelo EC8/EC2 quer pelo REBAP. O esforço transverso atuante e o esforço transverso resistente determinado nesse cálculo estão apresentados no Quadro 4.85.

Quadro 4.85 - Esforço transverso atuante e resistente

V_{Ed} (kN)			V_{Rd} (kN)		
RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)
1331	852	-56	1331	1456	9

Desde logo se verifica que, apesar de o esforço transverso atuante obtido pelo RSA/REBAP ser superior ao correspondente valor do EC8 (56%), o esforço transverso resistente do EC8 é 9% superior ao respetivo valor do RSA/REBAP. Esta situação sucede porque a armadura horizontal mínima determinada segundo o RSA/REBAP não é suficiente para efetuar a verificação ao esforço transverso, pelo que, no cálculo da armadura necessária para verificar essa condição, se considera a situação limite, ou seja, considerar que $V_{Ed} = V_{Rd}$, o que não acontece na verificação do EC2. Este facto vai resultar em diferenças na armadura transversal calculada pelos dois regulamentos como pode ser verificado no Quadro 4.86 que a seguir se apresenta.

Quadro 4.86 - Soluções de armadura transversal adotadas

Zona	V_{Rd} (kN)			A_{sw}/s (cm ² /m)			Realização		As, adotado (cm ² /m.face)		
	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	Diferença (%)	RSA	EC8	RSA	EC8	Diferença (%)
Base	1331	1456	9	3,44	4,62	34	4rΦ8	4rΦ8	20,11	20,11	0
3º Piso							//0,10	//0,10			
							3rΦ8	4rΦ8	15,08	20,11	33
							//0,10	//0,10			

Tal como esperado verifica-se que a armadura transversal obtida segundo o EC8 é superior à correspondente armadura segundo o RSA/REBAP, sendo essa superioridade praticamente 35%. No entanto, devido às restrições respeitantes ao espaçamento máximo entre estribos esta diferença acaba por ser eliminada, na secção da base da parede, mantendo-se aproximadamente igual na secção do 3º piso da parede.

4.4.3.5 Desenhos de Execução

Base – 2º Piso

- RSA/REBAP

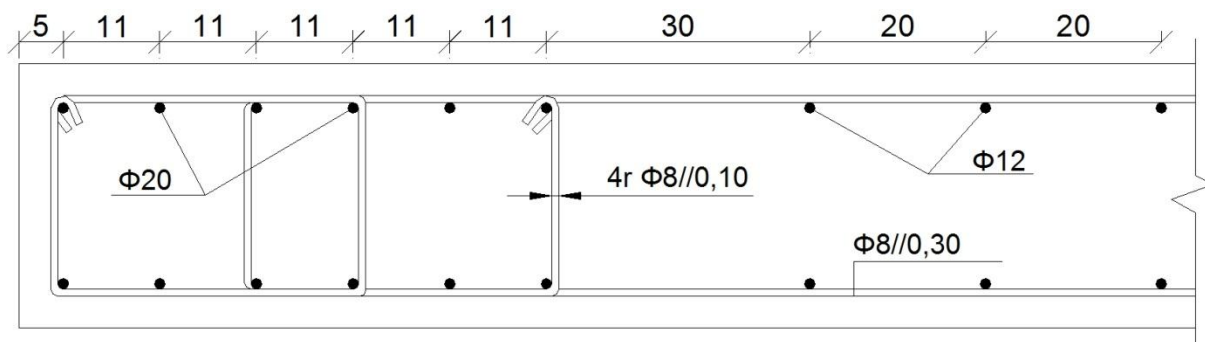


Figura 4.31 - Armadura Longitudinal e transversal da parede P1 (Base - 2º Piso) - RSA/REBAP

- EC8

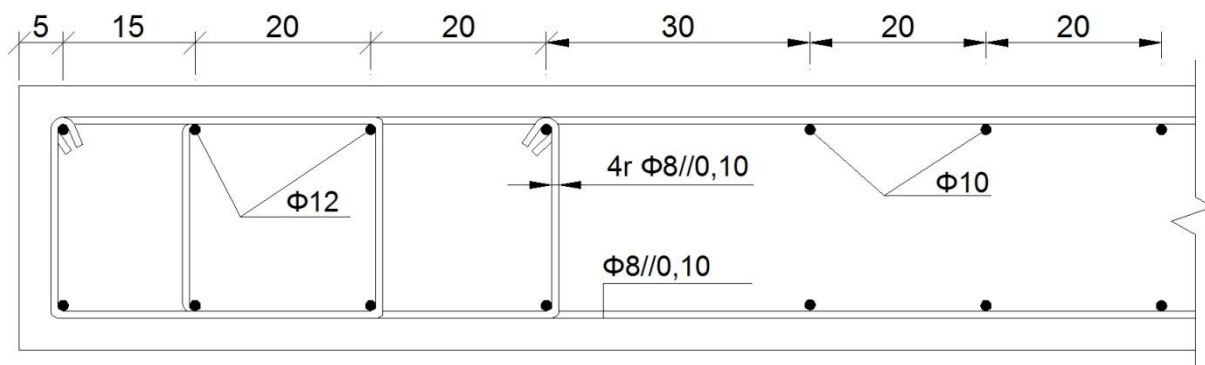


Figura 4.32 - Armadura longitudinal e transversal da parede P1 (Base - 2º Piso) - EC8

3º Piso – 8º Piso

- RSA/REBAP

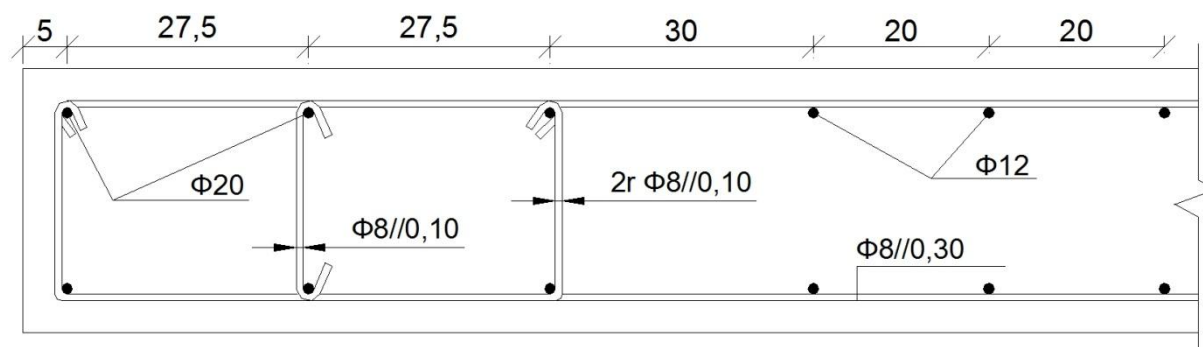


Figura 4.33 - Armadura Longitudinal e transversal da parede P1 (3º Piso - 8º Piso) - RSA/REBAP

- EC8

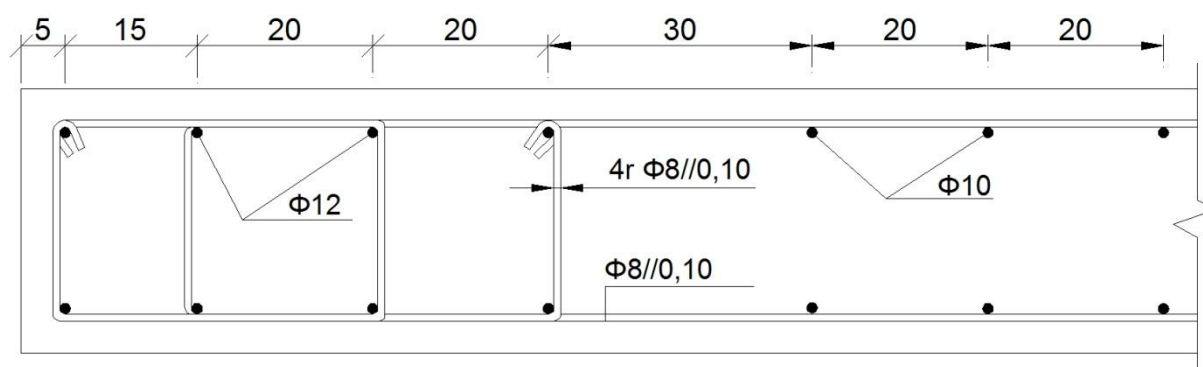


Figura 4.34 - Armadura longitudinal e transversal da parede P1 (3º Piso - 8º Piso) - EC8

5

CONCLUSÕES

5.1 CONCLUSÕES GERAIS

No decorrer deste trabalho foram analisados e comparados os aspetos mais importantes da análise sísmica de acordo com o EC8 e com o RSA/REBAP. Verificaram-se, nesta análise, diferenças significativas em vários aspetos do dimensionamento sísmico, como de seguida se apresentam.

Desde logo, e antes de analisar qualquer parâmetro concretamente, destaca-se o facto de o EC8 apresentar exigências ao nível da limitação de danos, situação esta que não é abordada pelo RSA/REBAP. De facto, aquando da ocorrência de um evento sísmico, pretende-se que a estrutura não colapse mas, ao mesmo tempo, deseja-se que esta não sofra danos significativos, ao ponto de tornarem a estrutura economicamente inviável para recuperar. Este fator importante passa, assim, a ser analisado com maior detalhe no EC8, ao contrário do que sucedia com o RSA/REBAP.

Seguidamente, comparando os espectros de resposta elásticos, constata-se imediatamente uma diferença significativa neste campo. Isto porque, tal como se explicou em 3.2.3, os regulamentos analisados não apresentam uniformidade no que respeita ao espectro proposto para condições geotécnicas mais desfavoráveis. Como se explicou no referido tópico, o RSA propõe um espectro de resposta menos severo para piores tipos de terreno, enquanto que o EC8 propõe um espectro mais gravoso.

Por este motivo verifica-se, na generalidade dos casos estudados, que o espectro de resposta da ação sísmica proposto pelo RSA é superior ao correspondente espectro proposto pelo EC8, para um terreno tipo A/I. Esta situação não se verifica, no entanto, nos restantes tipos de terreno analisados, C/II e D/III, uma vez que se verifica superioridade do espectro proposto pelo EC8.

Na zona de Coimbra constata-se, no entanto, uma exceção clara em relação ao que se disse anteriormente. Isto porque, nesta zona, os espectros de resposta da ação sísmica afastada propostos pelo RSA apresentam superioridade face aos correspondentes espectros do EC8, tal como se pode verificar pela Figura 3.3. Tal como se expôs em 3.2.3.2 o sucedido deve-se ao facto de a região de Coimbra se encontrar em zonas sísmicas diferentes nos dois regulamentos. De acordo com o EC8, a referida região encontra-se na zona sísmica 1.6, ou seja, na zona com menores índices sísmicos (tal como o Porto). No entanto, o RSA coloca a região de Coimbra na zona C, que apresenta um coeficiente de sismicidade superior à zona de menor sismicidade (zona D). É, por isso, nesta zona, que se verifica a maior superioridade do valor da aceleração sísmica máxima do RSA, face ao EC8, atingindo 126% num terreno tipo A/I. De modo inverso, a maior superioridade do valor da aceleração sísmica máxima do EC8, face ao RSA, verifica-se na zona de Portimão, num terreno tipo D/III, em que atinge 164%.

Após o estudo referido anteriormente procedeu-se à análise sísmica de 4 tipologias de edifícios distintas, duas estruturas em pórtico, denominadas de PT4 e PT8 e duas estruturas mistas pórtico-parede, denominadas de EM8 e EM16. Estas estruturas foram sujeitas à ação sísmica de diferentes zonas e diferentes tipos de terreno, ação esta contabilizada pelo correspondente espectro de resposta de cálculo.

Nesta análise é importante destacar o facto de o EC8 definir que, nos elementos primários da estrutura, deve ser considerada metade da sua rigidez, para que se contabilize os efeitos de fendilhação dos mesmos. Pelo facto de esta restrição apenas ser definida pelo EC8, provoca alterações nos parâmetros que foram alvo de estudo neste trabalho, condicionando desse modo os respetivos resultados e conclusões. Concretamente, a redução de rigidez implica uma redução da frequência dos modos de vibração do EC8 face ao RSA, como foi exposto no Quadro 4.5. Esta redução implica que, na generalidade dos casos, a estrutura sofra acelerações mais baixas segundo o EC8, uma vez que essa frequência vai estar localizada numa zona do espectro de resposta com acelerações sísmicas inferiores. Daqui resulta ainda que os valores das forças basais determinadas segundo o RSA sejam também superiores aos correspondentes valores determinados pelo EC8. Apesar de se verificar superioridade dos valores do RSA nos parâmetros anteriormente expostos, o mesmo não se verifica nos deslocamentos obtidos neste trabalho. Neste parâmetro verificam-se valores claramente superiores segundo o EC8, salvo raras exceções, sendo que a maior discrepância se verifica na zona de Portimão, no edifício EM8, para a ação sísmica afastada, ascendendo a 420% nos deslocamentos da direção y. As conclusões referidas neste parágrafo foram já discutidas e comentadas em 4.3.4, por intermédio de um exemplo de uma estrutura analisada.

Por último realizou-se o dimensionamento das armaduras de uma parede, concretamente a parede P1 referenciada em 4.4.1, através dos regulamentos em análise neste trabalho. Tal como anteriormente se concluiu, devido à redução de rigidez definida pelo EC8, a estrutura analisada está sujeita a acelerações sísmicas mais baixas, do que a respetiva estrutura no RSA.

Este fator volta a ser determinante neste estudo uma vez que, no dimensionamento segundo o EC8, se concluiu que a armadura longitudinal necessária colocar nos E.E. corresponde a armadura mínima regulamentar. No entanto, no dimensionamento segundo o RSA/REBAP não se verifica o mesmo, uma vez que a armadura necessária para resistir aos esforços a que a parede está sujeita é bastante superior a mínima. Daqui resulta desde logo uma superioridade clara da armadura longitudinal determinada segundo o RSA/REBAP face ao EC8, concretamente a referida superioridade ascende a praticamente 320% nos P.F./E.E. e a cerca de 180% na secção total da parede. Merece ainda destaque o facto de a armadura mínima definida pelo o RSA/REBAP corresponder a aproximadamente o dobro da armadura mínima definida pelo EC8.

Relativamente à armadura horizontal mínima constata-se o oposto, uma vez que a armadura obtida segundo o EC8 é cerca de 200% superior à respetiva armadura segundo o RSA/REBAP, uma vez que as disposições do primeiro são bem mais restritas que as disposições do RSA/REBAP. Após a realização da verificação ao esforço transversal nos dois regulamentos, verifica-se superioridade do EC8 (cerca de 50%) nesta armadura. Esta superioridade deve-se ao facto de, na verificação ao esforço transversal, o RSA/REBAP permitir considerar a situação limite, ou seja, considerar que $V_{Ed} = V_{Rd}$, o mesmo não sucedendo com o EC8, tal como foi explicado em 4.4.3.4. No entanto, devido às disposições construtivas de ambos os regulamentos esta diferença acaba por ser eliminada.

5.2 PROPOSTAS PARA DESENVOLVIMENTO FUTURO

Como desenvolvimento deste trabalho apresentam-se as seguintes sugestões:

- Estudo de edifícios com elementos de contraventamento distintos, nomeadamente núcleos, que poderia conduzir ao estudo de edifícios com maior número de pisos;
- Aplicação dos objetivos deste trabalho a edifícios com irregularidades, quer em planta, quer em altura, que possibilitariam conclusões distintas;
- Estudo mais detalhado sobre as disposições construtivas e processo de cálculo dos P.F./E.E..

BIBLIOGRAFIA

- Azevedo, J. (2003). *Critérios de utilização de programas de cálculo integral na análise e no dimensionamento sísmico de estruturas de edifícios*. Dissertação de Mestrado, FEUP.
- Chopra, A. K. (2007). *Dinamic of Structures – Theory and Applications to Earthquake Engineering*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Clough, R.W.; Penzien, J. (1993) *Dynamics of Structures*. McGraw-hill International Editions, Singapore.
- Dias, C. (2008). *Dimensionamento Sísmico de Edifícios de acordo com o Eurocódigo 8 e avaliação do seu comportamento*. Dissertação de Mestrado, FEUP.
- Eurocódigo. (Abril de 2002). Base para o projeto de estruturas. Comité Europeu de Normalização (CEN): Bruxelas.
- IPQ – Instituto Português da Qualidade (2009). *Eurocódigo: Base para o projecto de estruturas*. IPQ, Lisboa. NP-EN-1990.
- IPQ – Instituto Português da Qualidade (2010). *Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão – Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios*. IPQ, Lisboa. NP-EN-1992-1-1.
- IPQ – Instituto Português da Qualidade (2010). *Eurocódigo 8 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos – Parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios*. IPQ, Lisboa. NP-EN-1998-1.
- Gomes, J. (2009). *Dimensionamento Sísmico de Edifícios Hospitalares segundo o Eurocódigo 8*. Dissertação de Mestrado, FEUP.
- Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. (http://pwp.net.ipl.pt/dec.isel/pcandeias/ISEL_DE.htm). (Fevereiro de 2012).
- Lopes, H. (2007). *Comparação do Eurocódigo 8 com o RSA/REBAP - Dimensionamento Sísmico de Estruturas de Betão Armado*. Dissertação de Mestrado, IST.
- MHOPT – Ministério da Habilitação, Obras Públicas e Transportes (1983). *Decreto-lei n.º 235/83, de 31 de maio. Aprova o Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes*. Diário da República – 1.ª série, n.º 125, 31/05/1983, série, n.º 125, 31/05/1983, 1991-2024, Imprensa Nacional Casa da Moeda, Lisboa.
- MHOPT – Ministério da Habilitação, Obras Públicas e Transportes (1983). *Decreto-lei n.º 349-C/83, de 30 de julho. Aprova o Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado*. Diário da República – 1.ª série, 7.º Suplemento, n.º 174, 30/07/1983, 2832-(99)-2832(166), Imprensa Nacional Casa da Moeda, Lisboa.
- Paulino, M. (2011). *Aplicação do EC8 ao Dimensionamento Sísmico de Edifícios de Betão Armado*. Dissertação de Mestrado, FEUP.
- Pereira, N. (2010). *Simulação Numérica de Edifícios de Betão Armado sujeitos à ação sísmica*. Dissertação de Mestrado, FEUP.
- Romãozinho, M. (2008). *Dimensionamento para a ação do EC8*. Dissertação de Mestrado.
- SAP2000 v 15.1.0/1 - Structural analysis program. (2011). Computers and Structures, Inc., Berkeley.