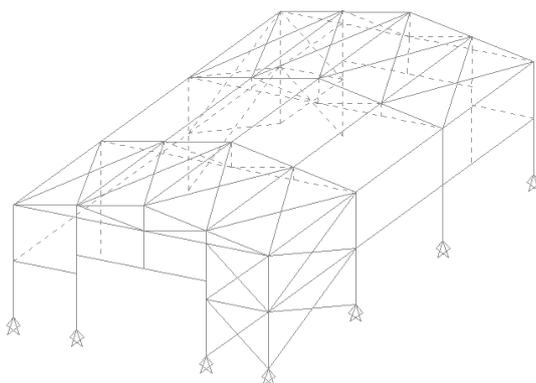




UNIVERSIDADE DE ÉVORA
ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

**APLICAÇÃO DA AÇÃO DO VENTO AO DIMENSIONAMENTO DE
EDIFÍCIOS DE ACORDO COM O EUROCÓDIGO 1**

Luisa Teresa Brady



Dissertação
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL
(CONSTRUÇÃO)

ORIENTADOR: Doutor Jorge Manuel Vinagre Alfaiate

CO-ORIENTADOR: Doutor Rui Carlos Gonçalves Graça e Costa

Setembro de 2012

APLICAÇÃO DA AÇÃO DO VENTO AO DIMENSIONAMENTO DE EDIFÍCIOS DE ACORDO COM O EUROCÓDIGO 1

RESUMO

A ação do vento causa efeitos sobre as estruturas exercendo pressões e sucções que se alternam conforme a sua incidência. Este fenómeno manifesta-se em qualquer tipo de edifício, mas acentua-se em edifícios mais leves ou com uma altura considerável, sendo assim imprescindível uma análise prévia do comportamento do vento e a quantificação das respetivas ações sobre os sistemas estruturais para o seu correto dimensionamento.

Numa perspetiva mais específica, pretende-se analisar a resposta da estrutura a solicitações estáticas e dinâmicas do vento segundo várias formulações. Serão assim analisados dois métodos de dimensionamento utilizados correntemente, o do antigo “*Regulamento de Segurança e Ações de edifícios e pontes*” e o atual “*Eurocódigo 1*”, aplicados a um caso de estudo.

Esta dissertação consiste assim na análise e aplicação dos dois regulamentos anteriormente referidos num edifício de estrutura metálica de modo a efetuar uma análise comparativa entre os resultados obtidos. Esta análise é efetuada com recurso ao programa de elementos finitos SAP2000.

DETERMINATION OF WIND EFFECTS ON STRUCTURES ACCORDING TO THE EUROCODE 1

ABSTRACT

The wind creates effects on structures such as pressure and suction forces that alternate depending on its direction. This phenomenon manifests itself in any type of building, but the emphasis is on lighter buildings or those with a considerable height, making it very important to analyze the behavior of the wind and quantify its actions on the structures to create an appropriate design.

This dissertation provides the principles and requirements for calculating design wind loads on structures. Based on this, two different methods will be applied to a study case concerning the design of a steel structure. The regulations that will be studied are the long established “*Regulamento de Segurança e Ações de edifícios e pontes*” and the more recent “*Eurocode 1*”, and with the results obtained it will be possible to make a comparative analysis between the two codes. This analysis will be performed using the program SAP2000.

PALAVRAS-CHAVE

- Ação do vento
- Dimensionamento
- Estruturas metálicas
- Regulamentos

KEYWORDS

- Building codes
- Design
- Steel structures
- Wind loads

AGRADECIMENTOS

Para a concretização desta dissertação e a conclusão do mestrado deixo uma palavra de agradecimento aos que contribuíram de alguma forma, ou com a sua ajuda ou apoio.

Aos meus orientadores pela orientação prestada ao longo da realização deste trabalho e um obrigado especial ao meu co-orientador, Dr. Rui Carlos Gonçalves Graça e Costa, pela sua disponibilidade e permanente incentivo.

Aos meus pais e namorado pelo apoio incondicional e pela ajuda ao longo deste percurso académico.

E ao Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve e a todos os professores pela formação e preparação para enfrentar o mundo profissional.

ÍNDICE GERAL

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
PALAVRAS-CHAVE.....	iii
KEYWORDS	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
ÍNDICE DE TABELAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	xv
1. INTRODUÇÃO	1
2. CASO DE ESTUDO	7
2.1. Descrição da estrutura	7
2.2. Material.....	7
2.3. Perfis.....	8
3. MODELO COMPUTACIONAL (SAP2000)	9
3.1. Malha adotada.....	9
3.2. Definição dos materiais	11
3.3. Definição dos perfis.....	11
3.4. Definição da estrutura.....	12
3.5. Inserção das cargas	13
3.5.1. Carregamento na cobertura	13
3.5.2. Carregamento nas fachadas	14
4. DIMENSIONAMENTO COM RECURSO AO RSA	15

4.1.	Critérios gerais de segurança	15
4.1.1.	Estados limites.....	15
4.1.2.	Coeficientes de segurança das ações	15
4.2.	Ação do vento	16
4.2.1.	Introdução à ação do vento.....	16
4.2.2.	Características da ação do vento	17
4.2.3.	Determinação dos efeitos da ação do vento	20
4.3.	Dimensionamento do caso de estudo pelo RSA	24
4.3.1.	Combinação de ações	25
4.3.2.	Quantificação de ações	26
4.3.3.	Cargas atuantes no edifício	38
4.3.4.	Modelo computacional (Programa SAP2000)	49
5.	DIMENSIONAMENTO COM RECURSO AO EC	54
5.1.	Critérios gerais de segurança	54
5.1.1.	Generalidades	54
5.1.2.	Estados limites.....	54
5.1.3.	Coeficientes de segurança das ações	56
5.2.	Ações Térmicas (EC1.1.5).....	58
5.2.1.	Representação das ações	58
5.2.2.	Variações de temperatura em edifícios	58
5.3.	Ação do vento (EC1.1.4)	61
5.3.1.	Introdução ao EC1.1.4.....	61
5.3.2.	Introdução à ação do vento.....	62
5.3.3.	Modelação das ações do vento	63
5.3.4.	Pressão dinâmica	67
5.3.5.	Ações do vento	68

5.3.6.	Coeficiente estrutural $c_s c_d$	71
5.3.7.	Coeficiente de pressão e de força	71
5.4.	Dimensionamento do caso de estudo pelo EC	75
5.4.1.	Combinação de ações	75
5.4.2.	Quantificação de ações	76
5.4.3.	Cargas atuantes no edifício	103
5.4.4.	Modelo computacional (Programa SAP 2000)	114
6.	ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE RSA E EC	119
7.	CONCLUSÕES	123
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
	ANEXOS	128

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 – Valores recomendados para os limites dos deslocamentos verticais (EC3.1.1 QNA.I).....	5
Tabela 3.1 – Alinhamentos e ordenadas do eixo x-x (SAP2000)	9
Tabela 3.2 - Alinhamentos e ordenadas do eixo y-y (SAP2000)	9
Tabela 3.3 - Alinhamentos e ordenadas do eixo z-z (SAP2000)	9
Tabela 4.1 – Coeficientes de segurança das ações (RSA §9.º)	16
Tabela 4.2 – Coeficientes de pressão interior para edifícios com planta retangular (RSA AI.3.2.3)	23
Tabela 4.3 – Valor total, máximo e mínimo da reação nos apoios do edifício no eixo Z para W1, W2 e as combinações (RSA).....	51
Tabela 5.1 – Coeficientes de segurança das ações (EC0 QA1.2(A) NOTA1) – EQU.....	56
Tabela 5.2 - Coeficientes de segurança das ações (EC0 QA1.2(A) NOTA2) – EQU	56
Tabela 5.3 - Coeficientes de segurança das ações (EC0 QA1.2(B)) – STR	57
Tabela 5.4 - Coeficientes de segurança das ações (EC0 QA1.2(C)) – GEO.....	57
Tabela 5.5 – Temperatura interior no Verão, T ₁ , e no Inverno, T ₂ (EC1.1.5 QNA-5.1)	59
Tabela 5.6 – Temperatura do ambiente exterior para zonas acima do solo (EC1.1.5 QNA-5.2) .	60
Tabela 5.7 - Temperatura do ambiente exterior para zonas abaixo do solo (EC1.1.5 QNA-5.3) .	61
Tabela 5.8 – Valor básico da velocidade de referência do vento para a zona A e B (EC).....	64
Tabela 5.9 – Classificação de coberturas de acordo com a acessibilidade (EC1.1.1 Q6.9).....	76
Tabela 5.10 – Temperatura do ar ambiente exterior para zonas acima do solo para o caso de estudo (EC1.1.5 QNA-5.2).....	78
Tabela 5.11 – Valores de temperatura do ar ambiente exterior para cada superfície (EC1.1.5)...	79
Tabela 5.12 – Valor básico da velocidade de referência do vento para zona B (EC1.1.4 QNA.I)	82
Tabela 5.13 – Categoria do terreno e respetivo comprimento de rugosidade e altura mínima (EC1.1.4 QNA-4.1)	83
Tabela 5.14 – Coeficientes de pressão exterior nas fachadas para W1 para h/d=0,53 (EC1.1.4) .	88
Tabela 5.15 - Coeficientes de pressão exterior nas fachadas para W2 para h/d=0,41 (EC1.1.4) .	88
Tabela 5.16 – Coeficientes de pressão exterior e interior nas fachadas para W1 com h/d=0,53 na situação 1 (EC1.1.4).....	89

Tabela 5.17 - Coeficientes de pressão exterior e interior nas fachadas para W2 com $h/d=0,41$ na situação 1 (EC1.1.4).....	89
Tabela 5.18 – Coeficientes de pressão global nas fachadas para W1 na situação 1 (EC1.1.4).....	89
Tabela 5.19 - Coeficientes de pressão global nas fachadas para W2 na situação 1 (EC1.1.4)	90
Tabela 5.20 – Coeficiente de pressão exterior na cobertura para W1 para $\alpha=11^\circ$ (EC1.1.4).....	92
Tabela 5.21 - Coeficiente de pressão exterior na cobertura para W2 para $\alpha=11^\circ$ (EC1.1.4)	92
Tabela 5.22 – Coeficientes de pressão exterior e interior na cobertura para W1 na situação 1 (EC1.1.4).....	93
Tabela 5.23 - Coeficientes de pressão exterior e interior na cobertura para W2 na situação 1 (EC1.1.4).....	93
Tabela 5.24 – Coeficientes de pressão global na cobertura para W1 na situação 1 (EC1.1.4)	93
Tabela 5.25 – Coeficientes de pressão global na cobertura para W2 na situação 1 (EC1.1.4).....	94
Tabela 5.26 – Coeficientes de pressão global nas fachadas para W1 na situação 2 (EC1.1.4).....	98
Tabela 5.27 – Coeficientes de pressão global nas fachadas para W2 na situação 2 (EC1.1.4).....	99
Tabela 5.28 – Coeficientes de pressão global na cobertura para W1 na situação 2 (EC1.1.4) ...	100
Tabela 5.29 – Coeficientes de pressão global na cobertura para W2 na situação 2 (EC1.1.4) ...	100
Tabela 5.30 – Valor total, máximo e mínimo da reação nos apoios do edificio no eixo Z para W1, W2 e as combinações de ações (EC).....	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Deslocamentos verticais a considerar na análise das flechas (E. L. Utilização) (EC3.1.1 NA2.3l)	6
Figura 2.1 – Local de implantação do edifício em estudo (GoogleEarth)	7
Figura 3.1 – Plano y-x (SAP2000)	10
Figura 3.2 - Plano z-x (SAP2000)	10
Figura 3.3 - Plano z-y (SAP2000)	10
Figura 3.4 – Material Property Data (SAP2000)	11
Figura 3.5 – Definição do perfil: I/Wide Flange Section para HE 200-B (SAP2000)	12
Figura 3.6 – Definição do perfil: I/Wide Flange Section para HE 120-B (SAP2000)	12
Figura 3.7 – Estrutura do edifício em estudo em 3D devidamente orientado	12
Figura 3.8 – Define Loads (SAP2000)	13
Figura 3.9 – Barras realçadas no edifício onde são aplicadas as cargas na cobertura e a direção do W1 e W2	14
Figura 3.10 – Barras realçadas no edifício onde são aplicadas as cargas nas fachadas e a direção do W1 e W2	14
Figura 4.1 – Altura acima do solo a considerar no caso de terrenos inclinados (RSA AI.2)	19
Figura 4.2 – Valores caraterísticos da pressão dinâmica do vento para a zona A (RSA §24.º F1)	20
Figura 4.3 – Coeficientes de pressão interior em edifícios de planta retangular das fachadas (Martins, J. G., 2008)	24
Figura 4.4 – Sobrecarga na cobertura (RSA)	26
Figura 4.5 – Pressão dinâmica do vento para h=8,5 m (RSA §24.º F1)	28
Figura 4.6 – Direção do W1 e W2 em planta e identificação das zonas A, B, C e D para os coeficientes de pressão exterior nas fachadas (RSA)	29
Figura 4.7 – Coeficientes de pressão exterior nas paredes (A, B, C e D) para h/b=0,53 e a/b=1,31 (RSA AI.3 QI-I)	29
Figura 4.8 – Coeficientes de pressão exterior nas fachadas para W1 e W2 (RSA)	30
Figura 4.9 – Identificação das fachadas permeáveis e impermeáveis na situação 1	30
Figura 4.10 – Coeficientes de pressão interior nas fachadas na situação 1 (RSA)	31
Figura 4.11 – Coeficientes de pressão globais nas fachadas para W1 e W2 na situação 1 (RSA)	31

Figura 4.12 – Planta do edifício e identificação das zonas E, F, G e H para os coeficientes de pressão exterior na cobertura (RSA)	32
Figura 4.13 – Coeficientes de pressão exterior na cobertura para $h/b=0,53$ e $\alpha=10^\circ$ (RSA AI.3 QI-II)	33
Figura 4.14 – Coeficientes de pressão interior na cobertura na a situação 1 (RSA).....	33
Figura 4.15 – Coeficientes de pressão globais na cobertura na situação 1 (RSA).....	34
Figura 4.16 – Pressões exercidas pelo vento nas fachadas na situação 1 (RSA).....	34
Figura 4.17 – Pressões exercidas pelo vento na cobertura na situação 1 (RSA).....	35
Figura 4.18 - Coeficientes de pressão interior nas fachadas na situação 2 (RSA).....	36
Figura 4.19 - Coeficientes de pressão globais nas fachadas para W1 e W2 na situação 2 (RSA).....	36
Figura 4.20 - Coeficientes de pressão globais na cobertura na situação 2 (RSA).....	37
Figura 4.21 - Pressões exercidas pelo vento nas fachadas na situação 2 (RSA).....	38
Figura 4.22 - Pressões exercidas pelo vento na cobertura na situação 2 (RSA)	38
Figura 4.23 – Sobrecarga na cobertura (RSA)	39
Figura 4.24 – Revestimento na cobertura (RSA)	39
Figura 4.25 – Vento W1 na cobertura na situação 1 (RSA).....	40
Figura 4.26 – Zonas na cobertura com diferentes pressões exercidas pelo vento W2 na situação 1 (RSA)	40
Figura 4.27 - Vento W2 na cobertura para $x=[0;8];[8;13];[13;21]$ na situação 1 (RSA).....	41
Figura 4.28 – Vento W1 nas fachadas orientadas a Este e Oeste na situação 1 (RSA)	41
Figura 4.29 – Vento W1 na fachada orientada a Sul na situação 1 (RSA)	42
Figura 4.30 – Vento W1 na fachada orientada a Norte na situação 1 (RSA).....	42
Figura 4.31 – Vento W2 nas fachadas orientadas a Este e Oeste na situação 1 (RSA)	43
Figura 4.32 – Vento W2 na fachada orientada a Sul na situação 1 (RSA)	43
Figura 4.33 – Vento W2 na fachada orientada a Norte na situação 1 (RSA).....	44
Figura 4.34 - Vento W1 na cobertura na situação 2 (RSA)	44
Figura 4.35 - Zonas na cobertura com diferentes pressões exercidas pelo vento W2 na situação 2 (RSA)	45
Figura 4.36 - Vento W2 na cobertura para $x=[0;8];[8;13];[13;21]$ na situação 2 (RSA).....	45
Figura 4.37 - Vento W1 nas fachadas orientadas a Este e Oeste na situação 2 (RSA).....	46
Figura 4.38 – Vento W1 na fachada orientada a Sul na situação 2 (RSA)	47
Figura 4.39 – Vento W1 na fachada orientada a Norte na situação 2 (RSA).....	47

Figura 4.40 – Vento W2 nas fachadas orientadas a Este e Oeste na situação 2 (RSA)	48
Figura 4.41 – Vento W2 na fachada orientada a Sul na situação 2 (RSA)	48
Figura 4.42 – Vento W2 na fachada orientada a Norte na situação 2 (RSA).....	49
Figura 4.43 – Edifício dimensionado pelo RSA com indicação dos perfis adotados	50
Figura 4.44 - Identificação dos elementos estruturais críticos no edifício em estudo na situação 1 (RSA)	52
Figura 4.45 – Identificação dos elementos estruturais críticos no edifício em estudo na situação 2 (RSA)	53
Figura 5.1 – Coeficiente de rugosidade do terreno em função da altura da construção e da categoria do terreno (EC1.1.4 FNA.I).....	65
Figura 5.2 – Ilustração do aumento da velocidade do vento devido à orografia (EC1.1.4 FA.1) .	66
Figura 5.3 - Coeficiente de exposição do terreno em função da altura da construção e da categoria do terreno (EC1.1.4 FNA-4.2).....	68
Figura 5.4 – Ilustração do sinal de pressão e sucção nas superfícies de uma construção (EC1.1.4 F5.1)	69
Figura 5.5 – Sobrecarga na cobertura (EC1.1.1).....	77
Figura 5.6 – Temperatura do ar ambiente exterior nas fachadas (EC1.1.5).....	79
Figura 5.7 – Valores da variação uniforme de temperatura, interior e exterior, no Verão (EC1.1.5).....	80
Figura 5.8 - Valores da variação uniforme de temperatura, interior e exterior, no Inverno (EC1.1.5)	80
Figura 5.9 - Valores da variação uniforme de temperatura no Inverno (EC1.1.5).....	81
Figura 5.10 - Valores da variação uniforme de temperatura no Verão (EC1.1.5)	81
Figura 5.11 – Coeficiente de rugosidade para $z=8,5$ m e terreno de categoria II (EC1.1.4 FNA.1)	83
Figura 5.12 – Coeficiente de exposição para $z=8,5$ m e terreno de categoria II (EC1.1.4 FNA-4.2).....	85
Figura 5.13 – Perfil do diagrama da pressão dinâmica para $h<b$ (EC1.1.4 F7.4)	86
Figura 5.14 – Zonas nas fachadas com diferentes coeficientes de pressão exterior para o vento W1 (EC1.1.4)	87
Figura 5.15 - Zonas nas fachadas com diferentes coeficientes de pressão exterior para o vento W2 (EC1.1.4)	87

Figura 5.16 – Coeficientes de pressão global nas fachadas para W1 na situação 1 (EC1.1.4).....	90
Figura 5.17 - Coeficientes de pressão global nas fachadas para W2 na situação 1 (EC1.1.4).....	90
Figura 5.18 - Zonas na cobertura com diferentes coeficientes de pressão exterior para o vento W1 (EC1.1.4)	91
Figura 5.19 - Zonas na cobertura com diferentes coeficientes de pressão exterior para o vento W2 (EC1.1.4)	91
Figura 5.20 – Coeficientes de pressão globais na cobertura para W1 na situação 1 (EC1.1.4)...	94
Figura 5.21 – Coeficientes de pressão globais na cobertura para W2 na situação 1 (EC1.1.4)....	94
Figura 5.22 – Pressão exercida pelo vento nas fachadas para W1 na situação 1 (EC1.1.4)	95
Figura 5.23 - Pressão exercida pelo vento nas fachadas para W2 na situação 1 (EC1.1.4).....	96
Figura 5.24 - Pressão exercida pelo vento na cobertura para W1 na situação 1 (EC1.1.4)	96
Figura 5.25 - Pressão exercida pelo vento na cobertura para W2 na situação 1 (EC1.1.4)	97
Figura 5.26 – Coeficientes de pressão interior no caso de aberturas uniformemente distribuídas (EC1.1.4 F7.13).....	98
Figura 5.27 – Coeficientes de pressão global nas fachadas para W1 na situação 2 (EC1.1.4)	99
Figura 5.28 - Coeficientes de pressão global nas fachadas para W2 na situação 2 (EC1.1.4).....	99
Figura 5.29 – Coeficientes de pressão globais na cobertura para W1 na situação 2 (EC1.1.4)..	100
Figura 5.30 – Coeficientes de pressão globais na cobertura para W2 na situação 2 (EC1.1.4)..	101
Figura 5.31 – Pressão exercida pelo vento nas fachadas para W1 na situação 2 (EC1.1.4)	101
Figura 5.32 – Pressão exercida pelo vento nas fachadas para W2 na situação 2 (EC1.1.4)	102
Figura 5.33 – Pressão exercida pelo vento na cobertura para W1 na situação 2 (EC1.1.4).....	102
Figura 5.34 – Pressão exercida pelo vento na cobertura para W2 na situação 2 (EC1.1.4).....	103
Figura 5.35 – Sobrecarga na cobertura (EC1.1.1).....	104
Figura 5.36 – Revestimento na cobertura (EC).....	104
Figura 5.37 – Vento W1 na cobertura na situação 1 (EC1.1.4)	105
Figura 5.38 - Zonas na cobertura com diferentes pressões exercidas pelo vento W2 na situação 1 (EC1.1.4).....	105
Figura 5.39 – Vento W2 na cobertura para $x=[0;13];[13;19,40];[19,40;21]$ na situação 1 (EC1.1.4).....	106
Figura 5.40 – Vento W1 nas fachadas orientadas a Este e Oeste na situação 1 (EC1.1.4).....	107
Figura 5.41 – Vento W1 na fachada orientada a Sul na situação 1 (EC1.1.4).....	107
Figura 5.42 – Vento W1 na fachada orientada a Norte na situação 1 (EC1.1.4)	108

Figura 5.43 – Vento W2 nas fachadas orientadas a Este e Oeste na situação 1 (EC1.1.4).....	108
Figura 5.44 - Vento W2 na fachada orientada a Sul na situação 1 (EC1.1.4).....	109
Figura 5.45 - Vento W2 na fachada orientada a Norte na situação 1 (EC1.1.4).....	109
Figura 5.46 - Vento W1 na cobertura na situação 2 (EC1.1.4).....	110
Figura 5.47 - Zonas na cobertura com diferentes pressões exercidas pelo vento W2 na situação 2 (EC1.1.4).....	110
Figura 5.48 - Vento W2 na cobertura para $x=[0;13];[13;19,40];[19,40;21]$ na situação 2 (EC1.1.4).....	111
Figura 5.49 - Vento W1 nas fachadas orientadas a Oeste e Este na situação 2 (EC1.1.4).....	112
Figura 5.50 - Vento W1 na fachada orientada a Sul na situação 2 (EC1.1.4).....	112
Figura 5.51 - Vento W1 na fachada orientada a Norte na situação 2 (EC1.1.4).....	113
Figura 5.52 - Vento W2 na fachada orientada a Este e Oeste na situação 2 (EC1.1.4).....	113
Figura 5.53 - Vento W2 na fachada orientada a Sul na situação 2 (EC1.1.4).....	114
Figura 5.54 - Vento W2 na fachada orientada a Norte na situação 2 (EC1.1.4).....	114
Figura 5.55 - Edifício dimensionado pelo EC com indicação dos perfis adotados.....	115
Figura 5.56 – Identificação dos elementos estruturais críticos no edifício em estudo na situação 1 (EC).....	117
Figura 5.57 - Identificação dos elementos estruturais críticos no edifício em estudo na situação 2 (EC).....	117
Figura 6.1 – Análise dos rácios nos elementos estruturais do edifício dimensionado segundo o RSA sujeito às ações determinadas pelo RSA e pelo EC (Situação 1).....	120
Figura 6.2 - Análise dos rácios nos elementos estruturais do edifício dimensionado segundo o RSA sujeito às ações determinadas pelo RSA e pelo EC (Situação 2).....	121
Figura 6.3 – Comparação entre edifícios dimensionados pelo RSA e EC.....	123

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

- **Gerais**

Letras maiúsculas latinas

A – ação de acidente

A_{Ed} – valor de cálculo de uma ação sísmica

E – módulo de elasticidade

E. L. U. – Estados limites últimos

E. L. Utilização – Estados limites de utilização

G – ação permanente

HE – European wide flange beams

L – comprimento de um elemento

PP – peso próprio

Q – sobrecarga

Q' – ação variável

R_d – valor do esforço resistente

REV – revestimento

S_d – valor do esforço atuante

S275 – aço de tensão de cedência de 275 N/mm²

ΔT – ações térmicas

W1 – vento na direção 1

W2 – vento na direção 2

Letras minúsculas latinas

f_u – tensão última

f_y – tensão de cedência

t – espessura nominal

Letras gregas

α_T – coeficiente de dilatação linear

γ – peso volúmico

δ_{\max} – flecha máxima do elemento em relação à posição inicial

ν – coeficiente de Poisson

Ψ_0 – coeficiente para determinação do valor de combinação de uma ação variável

Ψ_1 – coeficiente para determinação do valor frequente de uma ação variável

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

• **Referências Bibliográficas**

EC – Eurocódigo

EC0 – Eurocódigo – Bases para o projeto de estruturas

EC1 – Eurocódigo 1 – Ações em estruturas

EC1.1.1 – Eurocódigo 1 – Ações em estruturas, Parte 1-4: Ações gerais, Pesos volúmcicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios

EC1.1.4 – Eurocódigo 1 – Ações em estruturas, Parte 1-4: Ações gerais, Ação do vento

EC1.1.5 - Eurocódigo 1 – Ações em estruturas, Parte 1-4: Ações gerais, Ações térmicas

EC3.1.1 – Eurocódigo 3 – Projeto de estruturas de aço, Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios

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

(RSA/EC AV) – anexo V do RSA/EC

(RSA/EC EQW) – equação W do RSA/EC

(RSA/EC FX) – figura X do RSA/EC

(RSA/EC QY) – quadro Y do RSA/EC

(RSA/EC §Z) – artigo Z do RSA/EC

(RSA/EC §Z EQ2) – equação 2 do artigo Z do RSA/EC

(RSA/EC §Z F1) – figura 1 do artigo Z do RSA/EC

- **RSA**

Letras maiúsculas latinas

A – área de referência

F – força resultante das pressões do vento

P – pressão estática do vento

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

S_{Gm} – esforço resultante de uma ação permanente, tomada com o seu valor médio

S_{Q1k} – esforço resultante de uma ação variável considerada como ação de base da combinação, tomada com o seu valor característico

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

S_{Fa} – esforço resultante de uma ação de acidente, tomada com o seu valor nominal

S_{rara} – esforço resultante de uma ação tendo em conta a combinação de ação rara

S_{freq} – esforço resultante de uma ação tendo em conta a combinação de ação frequente

$S_{q,perm}$ – esforço resultante de uma ação tendo em conta a combinação de ação quase-permanente

Letras minúsculas latinas

a – parâmetro que depende da rugosidade do solo

h – altura acima do solo

h_0 – altura em que se deixa de sentir a rugosidade do solo (10m)

v – velocidade do vento

v_0 – velocidade do vento correspondente a h_0

Letras gregas

γ_g – coeficiente de segurança para ações permanentes

γ_q – coeficiente de segurança para ações variáveis

ω_k – pressão dinâmica do vento

δ_p – coeficiente de forma de pressão

δ_p – coeficiente de pressão global

δ_{pe} – coeficiente de pressão exterior

δ_{pi} – coeficiente de pressão interior

δ_f – coeficiente de força global

- **EC**

Letras maiúsculas latinas

A_d – valor de cálculo de uma ação de acidente

A_{fr} – área varrida pelo vento

E_d – valor de cálculo do efeito das ações

F_w – força resultante exercida pelo vento

F_{we} – força exercida pelo vento na superfície exterior

F_{wi} – força exercida pelo vento na superfície interior

F_{fr} – força de atrito resultante

G_k – valor característico de uma ação permanente

H – altura do elemento orográfico isolado

I_v – intensidade de turbulência

L_u – comprimento real da vertente virada a barlavento

P – valor representativo de uma ação de pré-esforço

$Q_{k,1}$ – valor característico da ação variável de base

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

T – temperatura média de um elemento

T_{in} – temperatura do ar ambiente interior

T_{max} – temperatura máxima do ar à sombra com uma probabilidade anual de ser excedida de 0,02 (equivalente a um período médio de retorno de 50 anos)

T_{min} – temperatura mínima do ar à sombra com uma probabilidade anual de ser excedida de 0,02 (equivalente a um período médio de retorno de 50 anos)

T_{out} – temperatura do ar ambiente exterior

T_0 – temperatura inicial de um elemento

T_1 – temperatura interior no Verão

T_2 – temperatura interior no Inverno

ΔT_E – componente não linear da variação diferencial de temperatura

ΔT_{MY} – componente linear da variação diferencial de temperatura ao longo do eixo z

ΔT_{MZ} – componente linear da variação diferencial de temperatura ao longo do eixo y

ΔT_M – componente linear da variação diferencial de temperatura

ΔT_P – diferença de temperatura entre as várias partes de uma estrutura

ΔT_u – componente de variação uniforme de temperatura

Letras minúsculas latinas

c_{dir} – coeficiente de direção

$c_e(z)$ – coeficiente de exposição

c_f – coeficiente de força

c_{fr} – coeficiente de atrito

c_o – coeficiente de orografia

c_p – coeficiente de pressão

$c_{p,net}$ – coeficiente de pressão resultante

c_{pe} – coeficiente de pressão exterior

$c_{pe,1}$ – coeficiente local de pressão exterior

$c_{pe,10}$ – coeficiente global de pressão exterior

c_{pi} – coeficiente de pressão interior

c_r – coeficiente de rugosidade do terreno

c_{season} – coeficiente de sazão

$c_s c_d$ – coeficiente estrutural

d – profundidade da construção

h – altura da construção

k_I – coeficiente de turbulência

k_r – coeficiente de terreno

q_p – pressão dinâmica de pico

v_b – velocidade de referência da velocidade do vento

$v_{b,0}$ – valor básico da velocidade de referência do vento

v_m – velocidade média

w – pressão exercida pelo vento numa superfície

w_e – pressão exercida pelo vento numa superfície exterior

w_i – pressão exercida pelo vento numa superfície interior

z – altura de referência no campo de escoamento não perturbado

z_0 – comprimento de rugosidade

$z_{0,II}$ – comprimento de rugosidade do terreno de categoria II

z_e – altura de referência para a pressão exterior exercida pelo vento

z_i – altura de referência para a pressão interior exercida pelo vento

z_{max} – altura máxima

z_{min} – altura mínima

Letras gregas

γ_G – coeficiente de segurança para ações permanentes

γ_P – coeficiente de segurança para ações de pré-esforço

γ_Q – coeficiente de segurança para ações variáveis

η – coeficiente, em função de β , para obter T_{out} em todas as superfícies (em todas as orientações)

β – ângulo, em graus, que a normal exterior do elemento estrutural faz com o Norte (medido no sentido horário)

μ – índice de aberturas; permeabilidade de uma superfície

θ – ângulo que mede a direção do vento

ρ – massa volúmica do ar

σ_v – desvio padrão da turbulência

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A ação do vento resulta da interação de uma massa de ar em movimento com uma superfície perpendicular à direção do escoamento, exercendo uma pressão sobre as superfícies exteriores das construções. No caso de construções fechadas, as pressões atuam também indiretamente sobre as superfícies interiores devido à porosidade da superfície exterior. Das pressões que atuam sobre os elementos da superfície resultam forças perpendiculares à superfície da construção.

Para a determinação dos efeitos do vento nas estruturas é necessário ter em conta as características geométricas e dinâmicas da estrutura e a interação do escoamento do ar com a construção. Dado que tal envolve meios de análise complexos, o regulamento antigo “Regulamento de Segurança e Ações de edifícios e pontes (RSA)” e a norma atual “Eurocódigo 1 (EC1)” formulam métodos simplificados para obter, com uma determinada aproximação, os efeitos do vento sobre as construções.

1.2. Objetivos

Este trabalho tem como principal objetivo a obtenção de um melhor conhecimento do efeito da ação do vento nas estruturas leves e as principais diferenças entre o regulamento e a norma referidos anteriormente. Assim, procedeu-se ao dimensionamento de um edifício de estrutura metálica com recurso ao programa de elementos finitos SAP2000.

Primeiramente efetuou-se o dimensionamento tendo em consideração os requisitos de segurança do RSA e posteriormente do EC1 com o intuito de efetuar uma comparação entre os dois com base nos resultados obtidos. Este dimensionamento foi feito com as aberturas totalmente abertas considerando desta forma a situação extrema e a mais gravosa. Posteriormente foi efetuada uma avaliação da estrutura para duas situações (com aberturas e sem aberturas) para enriquecer as conclusões. Após a realização do dimensionamento do caso de estudo é possível ter uma noção da influência da ação do vento neste tipo de edifícios, efetuar uma análise comparativa entre os resultados obtidos para detetar diferenças e semelhanças entre o regulamento antigo e a norma atual e concluir finalmente acerca de qual das aproximações é a mais conservativa.

Assim, podem-se enumerar alguns dos objetivos principais deste trabalho:

- a) Detetar semelhanças e diferenças entre o RSA e o EC0/EC1 em relação aos critérios gerais de segurança;
- b) Detetar semelhanças e diferenças entre o RSA e o EC1.1.4 em relação à ação do vento;
- c) Concluir acerca de qual o mais conservativo entre o RSA e o EC1.1.4;
- d) Detetar aspetos causadores de diferenças entre os resultados obtidos pelo RSA e EC1.1.4;
- e) Detetar diferenças entre o RSA e o EC1.1.5 em relação às ações térmicas;
- f) Concluir acerca de qual o mais conservativo entre o RSA e o EC1.1.5.

1.3. Organização do trabalho

Para além do presente capítulo, em que se faz um enquadramento teórico, com indicação dos objetivos do trabalho e a sua estruturação, este trabalho encontra-se organizado em mais 6 capítulos, nomeadamente:

- **Capítulo 2** – Apresenta-se o caso de estudo para o desenvolvimento deste trabalho. Neste capítulo encontra-se a descrição da estrutura, o seu material constituinte e os tipos de perfis adotados.
- **Capítulo 3** – É descrito o modelo computacional, mais concretamente, o processo envolvido no dimensionamento da estrutura recorrendo ao programa de elementos finitos SAP2000. Explicam-se os vários parâmetros a inserir no programa de modo a proceder à inserção da estrutura e posteriormente efetuar o seu dimensionamento.
- **Capítulo 4** – A primeira parte deste capítulo consiste na apresentação dos conceitos teóricos fundamentais ao dimensionamento de um edifício pelo RSA relativamente aos critérios gerais de segurança e à ação do vento e expõe também a formulação a seguir no dimensionamento do edifício. De seguida é descrito o procedimento seguido para o dimensionamento do caso de estudo segundo o RSA, assim como os cálculos efetuados e a modelação computacional para duas situações simuladas.
- **Capítulo 5** – É aplicada uma metodologia idêntica ao capítulo 4 mas recorrendo à norma atual, o EC1. Nos conceitos teóricos, para além da ação do vento, encontra-se também um subcapítulo relativo ao EC1.1.5 (ações térmicas).

- **Capítulo 6** – É efetuada uma análise comparativa entre o RSA e o EC1 tendo em conta os resultados obtidos nos capítulos 4 e 5.
- **Capítulos 7** – Por fim, apresentam-se as conclusões finais decorrentes do trabalho desenvolvido e apresentam-se algumas propostas para trabalhos futuros.

1.4. Fundamentos teóricos

Para a realização deste trabalho, torna-se necessário abordar alguns parâmetros teóricos importantes relativamente aos critérios gerais de segurança nos edifícios.

1.4.1. Critérios gerais de segurança

A verificação da segurança das estruturas é feita em relação a determinados estados limites, comparando-os aos estados que a estrutura é conduzida pela atuação das ações a que está sujeita, quantificadas e combinadas de acordo com determinadas regras. De modo a quantificar e combinar as ações, estas são classificadas em permanentes (G), variáveis (Q') ou de acidente (A).

- **Ações permanentes** – assumem valores constantes ou com pequena variação em torno do seu valor médio durante toda ou praticamente toda a vida da estrutura (pesos próprios, pesos de equipamentos fixos, impulsos de terras, etc.).

- **Ações variáveis** – assumem valores com variação significativa em torno do seu valor médio durante a vida da estrutura (sobrecargas, ação do vento, dos sismos, variação da temperatura, etc.).

- **Ações de acidente** – só com muito fraca probabilidade assumem valores significativos durante a vida da estrutura (explosões, choques, incêndios).

Quantificação das ações

As ações são quantificadas por valores característicos em que se adotam determinados coeficientes de segurança e no caso das ações variáveis também por valores reduzidos. Os valores reduzidos das ações variáveis são obtidos a partir dos seus valores característicos multiplicados por coeficientes ψ e destinam-se a quantificar as ações tendo em conta a sua combinação e o estado limite em consideração (ψ_0, ψ_1, ψ_2).

- $\Psi_0 Q_k$ – valor de combinação
- $\Psi_1 Q_k$ – valor frequente
- $\Psi_2 Q_k$ – valor quase permanente

Coeficientes de segurança das ações

A segurança dos elementos construtivos é avaliada mediante os chamados coeficientes de segurança que afetam os valores característicos das ações com o intuito de majorá-las (γ_g para ações permanentes e γ_q para ações variáveis). Estes expressam a relação entre o valor da solicitação atuando sobre os elementos das estruturas e o valor da resistência desses elementos.

Estados limites

Estado limite é o estado a partir do qual se considera que a estrutura fica prejudicada total ou parcialmente na sua capacidade para desempenhar as funções que lhe são atribuídas. Os estados limites a considerar na verificação da segurança são de dois tipos: Estados limites últimos e Estados limites de utilização.

Para a verificação da segurança em relação aos diferentes estados limites devem ser considerados as combinações de ações que produzam na estrutura os efeitos mais desfavoráveis.

As ações permanentes devem figurar em todas as combinações com os seus valores característicos superiores ou inferiores, conforme for mais desfavorável, e as ações variáveis apenas devem figurar nas combinações quando os seus efeitos forem desfavoráveis para a estrutura.

Estados limites últimos (E. L. U.)

Os E. L. U. prendem-se com a estabilidade e resistência, assegurando que a estrutura não colapsa. Assim, na verificação da segurança em relação aos E. L. U. tem-se em consideração que o valor do esforço atuante tem que ser inferior ao valor do esforço resistente.

$$S_d \leq R_d \quad (1.1)$$

Estados limites de utilização (E. L. Utilização)

Os E. L. Utilização dizem respeito à durabilidade e funcionalidade das estruturas quando sujeitas às ações características. No caso da verificação de segurança em relação aos E. L. Utilização, as combinações de ações a considerar dependerão da duração do estado limite em causa.

A verificação dos estados limites de utilização deve-se basear em critérios relacionados com os seguintes aspetos:

- Deformações que afetam o aspeto, o conforto dos utentes ou o funcionamento da estrutura;
- Vibrações que causem desconforto às pessoas ou que limitem a eficiência funcional da estrutura;
- Danos que possam afetar negativamente o aspeto, a durabilidade ou o funcionamento da estrutura.

Para a análise das deformações, isto é, das flechas provocadas nas barras, é necessário comparar os deslocamentos verticais com os estipulados no regulamento (neste caso tratando-se de uma estrutura metálica, o Eurocódigo 3). Estes valores recomendados para os limites dos deslocamentos verticais encontram-se na seguinte tabela.

Tabela 1.1 – Valores recomendados para os limites dos deslocamentos verticais (EC3.1.1 QNA.I)

Condições	Limites (ver a Figura NA.I)	
	δ_{\max}	δ_2
Coberturas em geral	L/200	L/250
Coberturas utilizadas frequentemente por pessoas, para além do pessoal de manutenção	L/250	L/300
Pavimentos em geral	L/250	L/300
Pavimentos e coberturas que suportem rebocos ou outros acabamentos frágeis ou divisórias não flexíveis	L/250	L/350
Pavimentos que suportem colunas (a não ser que o deslocamento tenha sido incluído na análise global para o estado limite último)	L/400	L/500
Quando δ_{\max} possa afectar o aspecto do edifício	L/250	-
<i>NOTA: No caso geral, L representa o vão da viga. No caso de vigas em consola, L representa duas vezes o vão real da consola.</i>		

Os deslocamentos verticais a analisar encontram-se na seguinte figura:

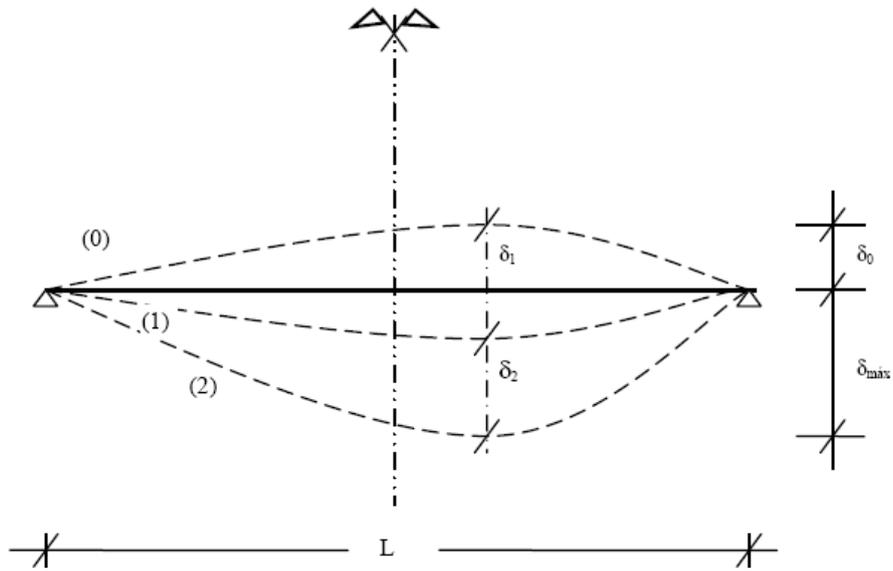


Figura 1.1 – Deslocamentos verticais a considerar na análise das flechas (E. L. Utilização)
(EC3.1.1 NA2.31)

2. CASO DE ESTUDO

2.1. Descrição da estrutura

O caso de estudo consiste num edifício destinado a uma oficina com estrutura metálica porticada constituída por aço de classe S275. Localiza-se na Quinta do Lago em Almancil, concelho de Loulé no Algarve, a uma distância inferior de 5 km da zona litoral.



Figura 2.1 – Local de implantação do edifício em estudo (GoogleEarth)

A estrutura porticada é simétrica e tem de dimensões em planta (forma retangular) 16,0 m x 21,0 m e altura de 7,0 m acrescida de 1,5 m até à cumeeira. A cobertura é de duas vertentes e nas fachadas a Este e a Oeste existe um portão que tem 8,0 m de largura e 4,5 m de altura.

A estrutura é constituída por contraventamentos devidamente distribuídos de modo a atribuir a rigidez necessária à estrutura, de modo a assegurar a sua estabilidade sob a influência das ações horizontais.¹

2.2. Material

O aço S275 tem uma tensão de cedência (f_y) de 275 N/mm² e uma tensão última (f_u) de 430 N/mm² para secções de espessura nominal (t) inferiores a 40mm (Quadro 3.1 do ponto 3 do EC3

¹ A distribuição de contraventamentos na cobertura poderá ser considerada excessiva, porém foi adotada esta solução para fornecer simetria à estrutura e evitar efeitos indesejáveis (como a torção).

parte 1-1). O aço S275 tem um peso volúmico (γ) de $77,0 \text{ kN/m}^3$ e módulo de elasticidade (E) de 200 GPa.

Para ter em conta os efeitos das ações devidas às componentes da temperatura considerou-se um coeficiente de dilatação linear (α_T) de $12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ para aço de construção (Quadro C.1 do Anexo C do EC1 parte 1-5). O coeficiente de Poisson (ν) a considerar foi de 0,3.

2.3. Perfis

Os perfis metálicos constituintes da estrutura são perfis laminados “H”, também designados perfis “*wide flange*”. As ligações aparafusadas dos perfis às fundações são efetuadas no alinhamento do centro de gravidade da secção transversal do perfil de modo a evitar a transmissão de momentos. Assim, relativamente aos apoios da estrutura, estes foram considerados apoios simples.²

Sobre os perfis metálicos são aplicados painéis do tipo sanduiche (isolamento térmico, chapa superior e inferior) e como acabamento utiliza-se um teto falso. Consultou-se a página www.perfitec.pt para obter uma estimativa do peso próprio desta solução tendo-se retirado valor de $0,3 \text{ kN/m}^2$.

² Não se optou pela utilização de apoios fixos, uma vez que na prática esta opção é difícil de executar pois requer sapatas de dimensões muito grandes e ligações aparafusadas complexas dos perfis às sapatas para que transmitam a rigidez necessária para garantir o encastramento.

3. MODELO COMPUTACIONAL (SAP2000)

A modelação computacional da estrutura em estudo teve como base o software de análise estrutural SAP2000. Para este efeito foi necessário definir uma malha, isto é, linhas de referência, para a inserção da estrutura, bem como os dados relativos ao aço utilizado e os perfis adotados inicialmente. Por fim, para proceder ao dimensionamento da estrutura, é necessário ter em conta as várias combinações de ações (E. L. U. e E. L. Utilização) e inserir as cargas a que a estrutura é sujeita.

3.1. Malha adotada

Como foi referido, previamente à inserção da estrutura em si no programa SAP2000 é necessário definir uma malha de linhas de referência adequadas de modo a permitir o ajuste correto das barras da estrutura e a facilitar a incorporação das cargas nas barras.

Assim, a malha no eixo X está dividida em A, B, B1, B2, C e D, a malha Y em 1, 2, 3, 4 e 5 e a malha Z em a, b, c, d e e. As seguintes tabelas indicam os alinhamentos de cada eixo da malha e as suas ordenadas.

Tabela 3.1 – Alinhamentos e ordenadas do eixo x-x (SAP2000)

X	Alinhamento	A	B	B1	B2	C	D
	Ordenada	0	7	8	13	14	21

Tabela 3.2 - Alinhamentos e ordenadas do eixo y-y (SAP2000)

Y	Alinhamento	1	2	3	4	5
	Ordenada	0	4	8	12	16

Tabela 3.3 - Alinhamentos e ordenadas do eixo z-z (SAP2000)

Z	Alinhamento	a	b	c	d	e
	Ordenada	0	3,5	4,5	7	8,5

As seguintes figuras representam a estrutura e os alinhamentos no eixo X e Y em cada plano.

- Plano Y-X

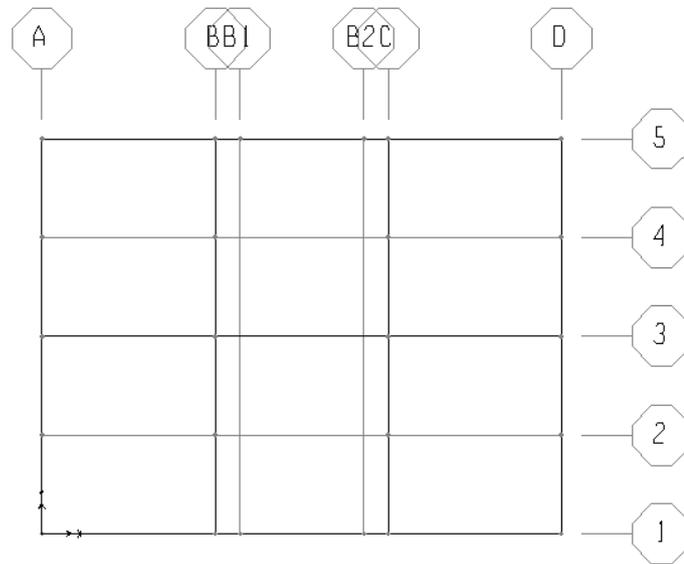


Figura 3.1 – Plano y-x (SAP2000)

- Plano Z-X

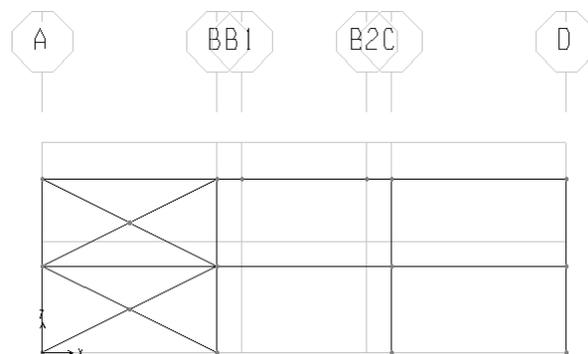


Figura 3.2 - Plano z-x (SAP2000)

- Plano Z-Y

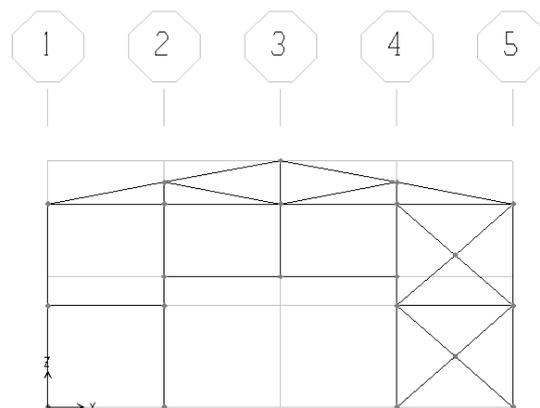


Figura 3.3 - Plano z-y (SAP2000)

3.2. Definição dos materiais

O primeiro passo na construção efetiva do modelo é a definição dos materiais envolvidos. Uma vez que no modelo só constam os elementos estruturais, o único material a definir é o aço. Tendo em conta os dados do aço adotado (S275), referidos no subcapítulo 2.2, procede-se à incorporação destes dados no programa.

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box in SAP2000. The 'Material Name' is 'S275'. The 'Type of Material' is 'Isotropic'. The 'Type of Design' is 'Steel'. The 'Analysis Property Data' section includes: Mass per unit Volume (7.7), Weight per unit Volume (77), Modulus of Elasticity (2.000E+08), Poisson's Ratio (0.3), Coeff of Thermal Expansion (1.200E-05), and Shear Modulus (76923077). The 'Design Property Data (EUROCODE 3-1993)' section includes: Minimum Yield Stress, Fy (275000) and Minimum Tensile Stress, Fu (430000). The 'Advanced Material Property Data' section has buttons for 'Time Dependent Properties...', 'Material Damping Properties...', and 'Stress-Strain Curve Definitions...'. The dialog also has 'OK' and 'Cancel' buttons.

Figura 3.4 – Material Property Data (SAP2000)

3.3. Definição dos perfis

De seguida é necessário definir as secções dos perfis a utilizar na estrutura. Estas secções são provisórias pois na fase de dimensionamento, após a colocação das cargas no respetivo modelo, pode-se concluir que as mesmas não são as adequadas (por excesso ou por defeito).

Assim, o perfil adotado inicialmente foi de HE 200-B em toda a estrutura exceto nos contraventamentos em que se colocou HE 120-B. De seguida encontram-se os dados relativos às dimensões destes perfis adotados, extraídos do SAP2000 do ficheiro “EURO.pro”.

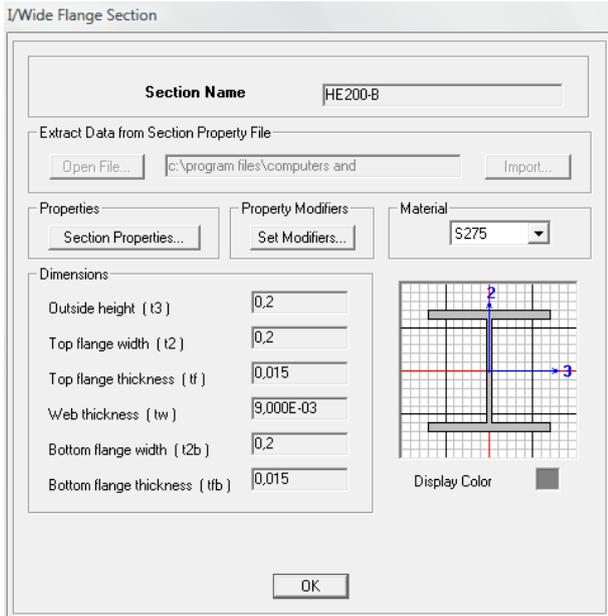


Figura 3.5 – Definição do perfil: I/Wide Flange Section para HE 200-B (SAP2000)

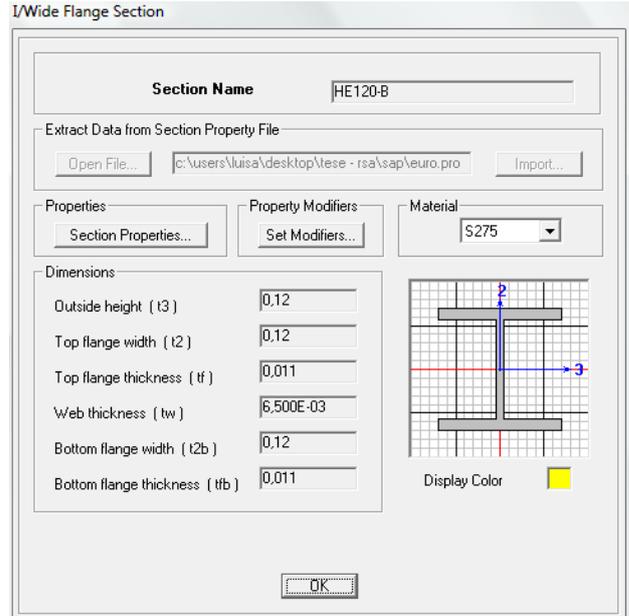


Figura 3.6 – Definição do perfil: I/Wide Flange Section para HE 120-B (SAP2000)

3.4. Definição da estrutura

Definidos a malha de linhas de referência, o material a adotar e as secções a utilizar procede-se à inserção da estrutura no programa, tendo em conta as especificações da estrutura definidas no capítulo 2. A seguinte figura representa a estrutura do caso de estudo devidamente orientada.³

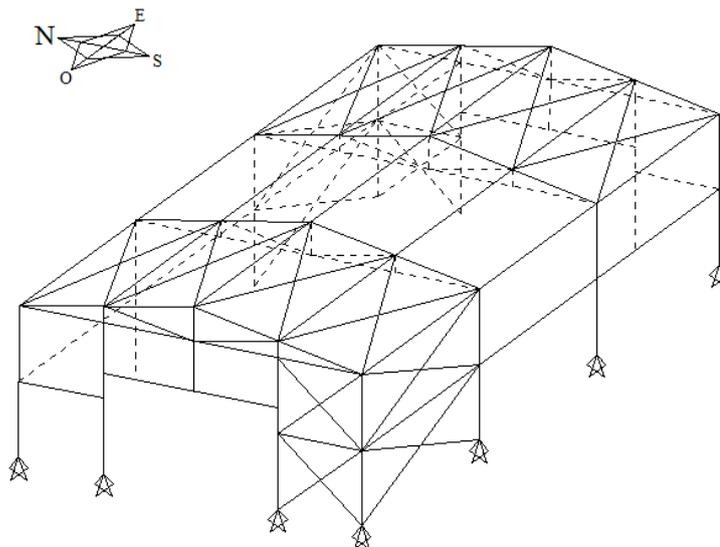


Figura 3.7 – Estrutura do edifício em estudo em 3D devidamente orientado

³ Na inserção das barras da estrutura é necessário ter em consideração a orientação dos perfis metálicos, sendo que na fase de dimensionamento da estrutura poderá ser necessário alterar a orientação dos perfis de modo a transmitir maior rigidez à estrutura.

3.5. Inserção das cargas

Por fim, podem ser aplicadas as cargas envolvidas no estudo, que serão determinadas no capítulo 4.3 para o dimensionamento do edifício segundo o RSA e no capítulo 5.4 para o dimensionamento do edifício segundo o EC.

É necessário assim definir as cargas existentes na estrutura para o caso em estudo, nomeadamente, o peso próprio (PP), o revestimento (REV), a sobrecarga (Q), o vento nas duas direções (W1 e W2) e as ações térmicas (ΔT)⁴.

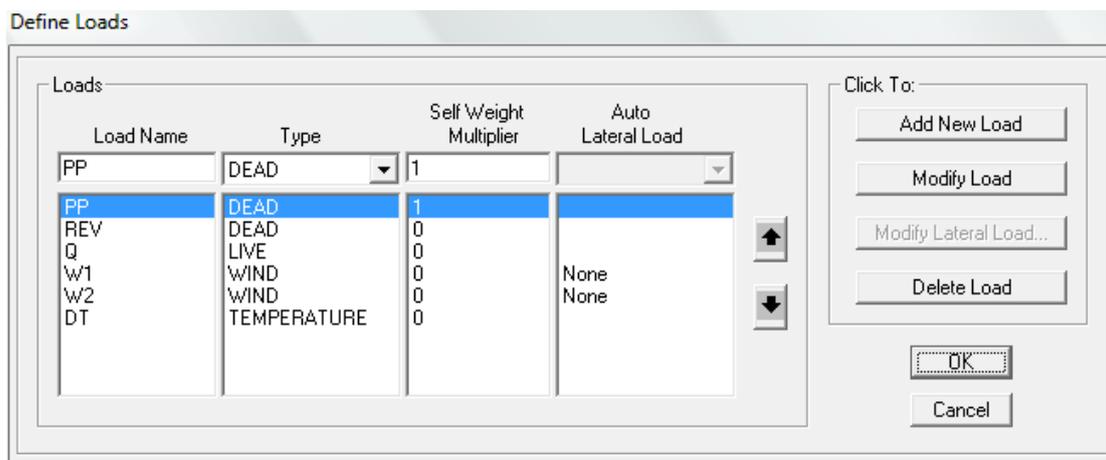


Figura 3.8 – Define Loads (SAP2000)

As cargas linearmente distribuídas, na cobertura e nas fachadas, são aplicadas em barras específicas e são descritas de seguida.

3.5.1. Carregamento na cobertura

As cargas linearmente distribuídas na cobertura devido à sobrecarga, ao revestimento e à ação do vento são aplicadas nas madres e na cumeeira. Estas barras estão realçadas na Figura 3.9 juntamente com a indicação da direção da incidência do vento W1 e W2.

⁴ No dimensionamento do edifício segundo o EC, as ações térmicas apresentam duas parcelas, a temperatura no inverno (ΔT_{inv}) e a temperatura no verão (ΔT_{ver}).

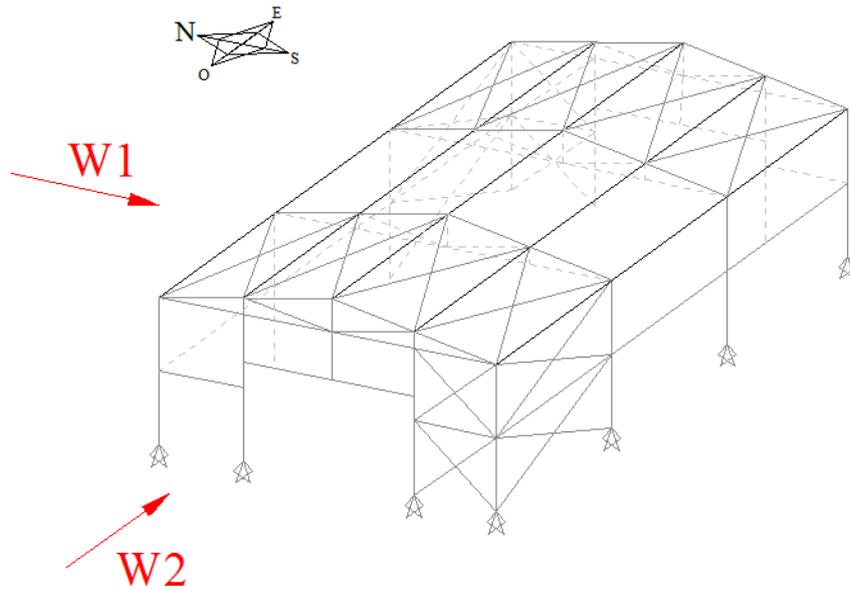


Figura 3.9 – Barras realçadas no edifício onde são aplicadas as cargas na cobertura e a direção do W1 e W2

3.5.2. Carregamento nas fachadas

As cargas nas fachadas, devidas à ação do vento, estão diretamente aplicadas nas vigas (barras horizontais) no caso das fachadas orientadas a Norte e a Sul e nos pilares (barras verticais) nas fachadas orientadas a Este e a Oeste (devido à falta de continuidade das vigas). Estas barras estão realçadas na Figura 3.10 juntamente com a indicação da direção da incidência do vento W1 e W2.

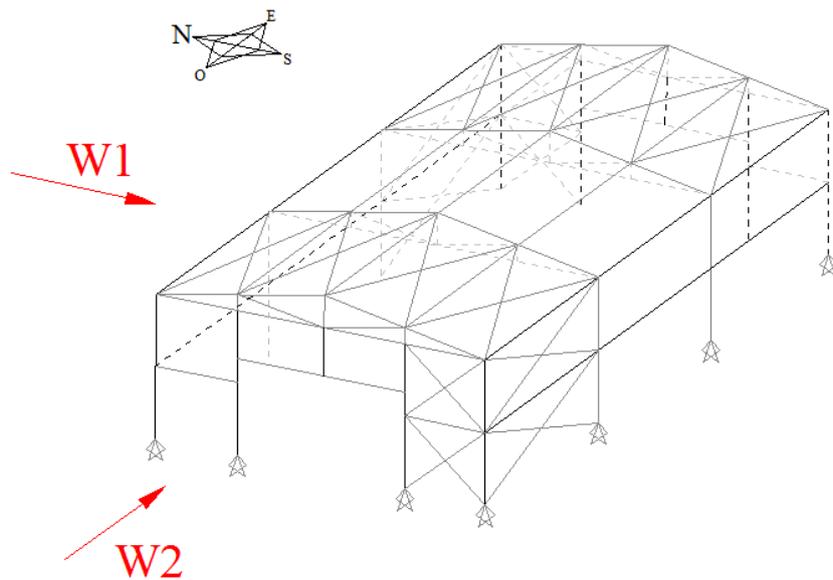


Figura 3.10 – Barras realçadas no edifício onde são aplicadas as cargas nas fachadas e a direção do W1 e W2

4. DIMENSIONAMENTO COM RECURSO AO RSA

4.1. Critérios gerais de segurança

4.1.1. Estados limites

4.1.1.1. Estados Limites Últimos (E. L. U.)

No caso de verificação de segurança em relação aos E. L. U., o RSA considera dois tipos de combinações de ações:

- Combinações Fundamentais (RSA §9.º)

$$S_d = \sum \gamma_{gi} S_{Gik} + \gamma_q \left[S_{Q1k} + \sum \psi_{0j} S_{Qjk} \right] \quad (4.1)$$

- Combinações Acidentais (RSA §9.º)

$$S_d = \sum S_{Gik} + S_{Fa} + \sum \psi_{2j} S_{Qjk} \quad (4.2)$$

4.1.1.2. Estados limites de utilização (E. L. Utilização)

Para a verificação aos Estados Limites de Utilização, o RSA considera três tipos de combinações de ações:

- Combinações raras (RSA §12.º)

$$S_{rara} = S_{Gm} + S_{Q1k} + \sum \psi_1 S_{Qik} \quad (4.3)$$

- Combinações frequentes (RSA §12.º)

$$S_{freq} = S_{Gm} + \psi_1 S_{Q1k} + \sum \psi_2 S_{Qik} \quad (4.4)$$

- Combinações quase permanentes (RSA §12.º)

$$S_{q.perm} = S_{Gm} + \sum \psi_2 S_{Qik} \quad (4.5)$$

4.1.2. Coeficientes de segurança das ações

Os coeficientes de segurança adotados no RSA são os seguintes:

Tabela 4.1 – Coeficientes de segurança das ações (RSA §9.º)

Coeficientes de segurança		
γ_g	com efeito desfavorável	1,50
	com efeito favorável	1,00
γ_q	com efeito desfavorável	1,50
	com efeito favorável	0

4.2. Ação do vento

4.2.1. Introdução à ação do vento

A ação do vento resulta da interação de uma massa de ar em movimento com uma determinada superfície, exercendo sobre esta uma pressão.

Para a determinação dos efeitos do vento nas estruturas, é necessário ter em conta as características geométricas e dinâmicas da estrutura bem como, a interação do escoamento do ar com a construção. Dado que tal envolve meios de análise complexos, o regulamento em estudo formula métodos simplificados para obter, com uma determinada aproximação, os efeitos do vento sobre as construções.

Assim, nos casos correntes e segundo o artigo 23º, o método simplificado a utilizar considera que a ação do vento é uma ação estática, isto é, uma pressão estática equivalente nas superfícies a qual é obtida multiplicando a pressão dinâmica do vento (artigo 24º) por adequados coeficientes – coeficientes de forma – que caracterizam as formas aerodinâmicas da estrutura (artigo 25º)⁵. A pressão estática do vento obtém-se assim através da seguinte expressão (RSA AI.3):

$$P = w_k \times \delta_p \quad (4.6)$$

Os modelos de simplificação adotados pelo RSA visam qualificar e quantificar a forma como a ação do vento influencia a pressão sentida nas superfícies do edifício, sendo assim necessário

⁵ Este processo simplificado não conduz a resultados satisfatórios para estruturas com frequências próprias de vibração inferiores a 0,5 Hz ou que sejam suscetíveis de instabilidade aerodinâmica ou vibrações excessivas na direção transversal à da ação do vento.

tomar algumas adaptações simplificadas entre a realidade geográfica local e da edificação em causa de modo a atribuir escalões fornecidos pelo RSA.

Para a determinação da pressão dinâmica do vento incidente é necessário determinar alguns parâmetros, nomeadamente, o zonamento do território, a rugosidade aerodinâmica do solo, a altura acima do solo e a velocidade média do vento.

4.2.2. Características da ação do vento

4.2.2.1. Zonamento do território

Segundo o artigo 20º, para efeitos de quantificação da ação do vento, o país encontra-se dividido em duas zonas (zona A e zona B). Esta divisão fundamenta-se na análise dos registos meteorológicos existentes nas regiões que permite atribuir àquelas zonas, para a mesma probabilidade de ocorrência, intensidades do vento suficientemente diferenciadas.

- Zona A – a generalidade do território, exceto as regiões pertencentes à zona B.
- Zona B – os arquipélagos dos Açores e da Madeira e as regiões do continente situadas numa faixa costeira com 5 Km de largura ou com altitudes superiores a 600 m.

4.2.2.2. Rugosidade aerodinâmica do solo

As condições de rugosidade aerodinâmica do solo afetam o escoamento do ar na sua vizinhança e estão relacionadas com as dimensões e distribuição dos obstáculos existentes na zona em questão. Assim, para ter em conta a variação da ação do vento com a altura acima do solo, de acordo com o artigo 21º, consideram-se dois tipos de rugosidade aerodinâmica do solo⁶:

- Rugosidade do tipo I – rugosidade a atribuir aos locais situados no interior de zonas urbanas em que predominem edifícios de médio e grande porte.
- Rugosidade do tipo II – rugosidade a atribuir aos restantes locais, nomeadamente zonas rurais e periferia de zonas urbanas.

⁶ A consideração de apenas dois tipos de rugosidade do solo é um pouco esquemática mas resulta da dificuldade de caracterizar objetivamente a multiplicidade das situações que podem ocorrer.

A atribuição de um tipo de rugosidade ao solo poderá depender da direção do vento. Dependendo do lado em que o vento atua, uma zona de periferia (entre um ambiente urbano e um ambiente rural) poderá ser considerado como tendo uma rugosidade do tipo I ou do tipo II.

4.2.2.3. Quantificação da ação do vento

A ação que o vento exerce sobre as estruturas depende da grandeza e distribuição da velocidade do vento e das características das estruturas. Então, segundo o artigo 22º, é necessário definir os valores característicos e reduzidos da velocidade do vento em função da altura do solo.

- Velocidade média do vento

A velocidade média do vento é definida em função da altura acima do solo e é referida em intervalos de tempo de 10 minutos. Assim, a variação da velocidade média característica do vento com a altura acima do solo é dada pela seguinte expressão (RSA §24.3º):

$$v = v_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^{\frac{1}{a}} \quad (4.7)$$

Para ter em conta as flutuações da velocidade resultante da turbulência do escoamento, o RSA prevê a adição de uma parcela constante igual a 14 m/s.

Os valores característicos da velocidade do vento para solos com rugosidade do tipo I e para solos com rugosidade do tipo II são determinadas pelas expressões do artigo 24.3º:

$$\text{Solos com rugosidade do tipo I} \rightarrow v = 18 \left(\frac{h}{10} \right)^{0.28} + 14 \quad (4.8)$$

$$\text{Solos com rugosidade do tipo II} \rightarrow v = 25 \left(\frac{h}{10} \right)^{0.20} + 14 \quad (4.9)$$

Nestas expressões, a primeira parcela corresponde à velocidade média do vento e a segunda parcela tem em conta as flutuações da velocidade resultantes da turbulência do escoamento.

A velocidade do vento aumenta com a altura, mas tanto para a zona A como para a zona B, os valores característicos da velocidade média do vento são constantes até uma dada altura (até 15

m no caso de terrenos com rugosidade do tipo I e até 10 m no caso de terrenos com rugosidade do tipo II). Isto deve-se à imprecisão da definição de velocidades do vento na vizinhança imediatamente acima do solo. Assim, os valores são iguais a 20 m/s para terrenos com rugosidade tipo I e 25 m/s para terrenos de rugosidade tipo II.

$$\text{Solo com rugosidade do tipo I} \rightarrow v(h \leq 15m) = 20 + 14 \quad (4.10)$$

$$\text{Solo com rugosidade do tipo II} \rightarrow v(h \leq 10m) = 25 + 14 \quad (4.11)$$

Os valores característicos da velocidade média do vento são respeitantes à zona A do território nacional. Para a zona B o RSA impõe um acréscimo de 10% aos valores característicos da velocidade de rajada.

$$v_{\text{zonaB}} = 1,10 \times v_{\text{zonaA}} \quad (4.12)$$

O artigo 22º prevê que para estruturas identicamente solicitadas pelo vento qualquer que seja o rumo deste (estruturas com simetria de revolução), os valores característicos da velocidade do vento sejam obtidos multiplicando por $\sqrt{1,3}$ os valores característicos anteriormente definidos.

4.2.2.4. Altura acima do solo a considerar no caso de terrenos inclinados

Para a determinação das pressões dinâmicas é necessário ter em consideração a configuração do terreno. A altura acima do solo a considerar, em construções situadas em terrenos inclinados ou na sua vizinhança, é determinada a partir do nível de referência indicado a tracejado na Figura 4.1 consoante a inclinação do terreno, θ . Para casos em que $\text{tg}\theta < 0,3$, o nível de referência a considerar coincide com o terreno.

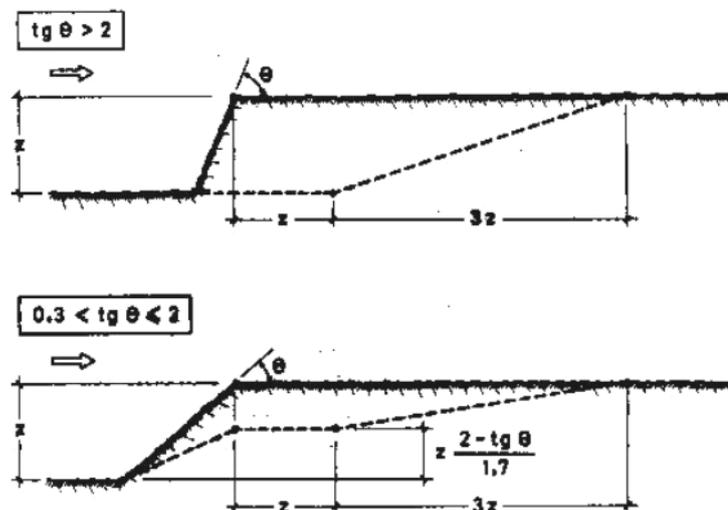


Figura 4.1 – Altura acima do solo a considerar no caso de terrenos inclinados (RSA AI.2)

4.2.3. Determinação dos efeitos da ação do vento

Conhecidas as características da ação do vento procede-se à determinação dos seus efeitos sobre a estrutura através de um método simplificado que consiste em aplicar uma pressão estática na superfície da estrutura.

A pressão estática é obtida multiplicando a pressão dinâmica do vento por adequados coeficientes de forma, como foi referido anteriormente, pela expressão 4.6.

4.2.3.1. Pressão dinâmica do vento

Segundo o artigo 24º, a pressão dinâmica do vento (w_k) varia com a altura do edifício, sendo relacionada com a velocidade do vento. Os valores da pressão dinâmica do vento, w_k , são calculados pela seguinte expressão (RSA §24.3º):

$$w_k = 0,613 \times v^2 \quad (4.13)$$

Em que o valor 0,613 provém de $\frac{1}{2}\rho$, a velocidade, v , é expressa em metros por segundo, m/s, e a pressão dinâmica w_k é expressa em Newton por metro quadrado, N/m².

A Figura 4.2 ilustra a lei da variação da pressão dinâmica do vento em função da altura acima do solo, h , e em função do tipo de rugosidade do local para a zona A do território nacional. Para a zona B, os valores característicos da pressão dinâmica a considerar são obtidos multiplicando por 1,2 ($=1,1^2$) os valores indicados na zona A (RSA §24.1º).

$$w_{k(zonaB)} = w_{k(zonaA)} \times 1,2 \quad (4.14)$$

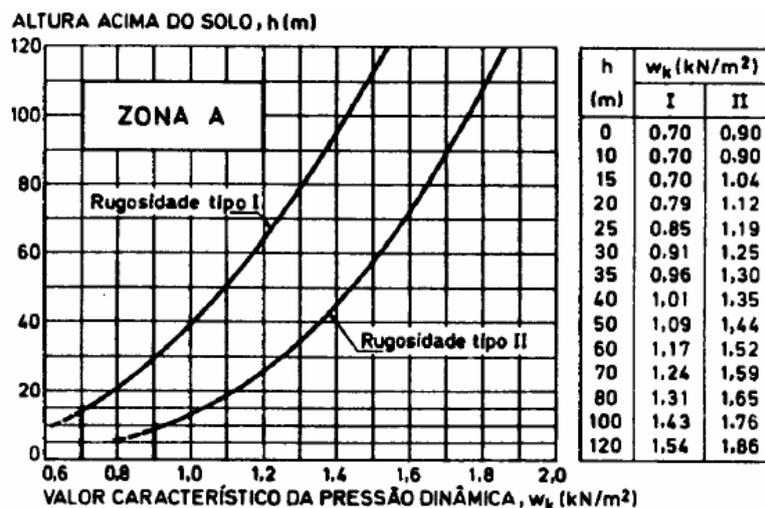


Figura 4.2 – Valores característicos da pressão dinâmica do vento para a zona A (RSA §24.º F1)

No caso em que a estrutura assume uma forma cilíndrica, majora-se a pressão dinâmica do vento, ω_k , multiplicando por 1,3.

É de realçar que para alturas inferiores a 15 m no caso de terrenos com rugosidade do tipo I e para alturas inferiores a 10 m no caso de terrenos de rugosidade do tipo II, os valores da pressão dinâmica do vento são constantes e são os seguintes para a zona A:

$$\text{Rugosidade tipo I} \rightarrow \omega_k = 0,70 \text{ kN} / \text{m}^2 \quad (4.15)$$

$$\text{Rugosidade tipo II} \rightarrow \omega_k = 0,90 \text{ kN} / \text{m}^2 \quad (4.16)$$

4.2.3.2. Coeficientes de forma

Para determinar a ação do vento sobre uma construção é necessário conhecer a pressão dinâmica do vento bem como os coeficientes de forma relativos à construção em causa. De acordo com o artigo 25º, são considerados dois tipos de coeficientes de forma: coeficientes de pressão e coeficientes de força.

Os coeficientes de forma, de pressão (δ_p) e de força (δ_f) dependem da geometria do elemento ou construção em causa e são definidos para os casos mais correntes na prática no anexo 1 do RSA. No RSA são fornecidas indicações sobre coeficientes de forma para vários tipos de construções, nomeadamente edifícios, coberturas isoladas, estruturas reticuladas, torres, chaminés e reservatórios e tabuleiros de pontes.

- Coeficientes de força (δ_f)

Os coeficientes de força são definidos de modo a permitir determinar diretamente a força resultante das pressões do vento, F, sobre a construção através da expressão (RSA AI.3):

$$F = \delta_f \times \omega_k \times A \quad (4.17)$$

- Coeficientes de pressão (δ_p)

Os coeficientes de pressão são definidos para uma superfície particular da construção (ou para uma zona nela localizada) e permitem determinar as pressões sobre as superfícies, pela expressão 4.6.

No caso corrente de edifícios, as pressões devidas ao vento são resultantes de pressões exteriores (determinadas a partir dos coeficientes de pressão exterior, δ_{pe}) e de pressões interiores (determinadas a partir dos coeficientes de pressão interior, δ_{pi}). O coeficiente de pressão global é obtido através da seguinte expressão⁷:

$$\delta_p = \delta_{pe} - \delta_{pi} \quad (4.18)$$

Os coeficientes são afetados pelo sinal positivo ou negativo consoante correspondem a pressões ou a sucções exercidas nas faces do elemento.

- Coeficientes de pressão exterior (δ_{pe})

O coeficiente de pressão exterior depende fundamentalmente da forma da construção e da orientação do vento (direção e sentido).

De um modo geral as pressões em cada uma das superfícies da envolvente dos edifícios são consideradas uniformes. No entanto, em alguns casos, as superfícies são divididas em zonas e, para cada zona são definidos coeficientes de pressão adequados.

Deve-se também tomar em consideração o efeito do vento em determinadas zonas localizadas da construção através das designadas pressões locais, que se desenvolvem junto às arestas das paredes e coberturas. Estas pressões devem ser apenas tidas em conta no dimensionamento dos elementos secundários. (Martins, J. G., 2008)

No Anexo I ponto 3 do RSA encontram-se os quadros com os valores a adotar para os coeficientes de pressão exterior e para as situações mais correntes de edifícios com planta retangular, relativos às paredes e a coberturas. As respetivas tabelas encontram-se nos anexos 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

⁷ As ações correspondentes às pressões exteriores e interiores correspondem a distribuições de forças que se adicionam vectorialmente.

○ Coefficientes de pressão interior (δ_{pi})

O coeficiente de pressão interior depende da existência de aberturas no contorno da construção, da sua distribuição nas envolventes, da forma geométrica do próprio edifício e da direção e sentido do vento.

Para edifícios com planta retangular e sem compartimentação interior ou, se esta existir, não impede a franca circulação do ar, os coeficientes de pressão interior podem ser obtidos por regras simplificadas que têm em conta as características e distribuição das aberturas nas paredes exteriores.

Existem assim três tipos de edifícios tendo em conta a permeabilidade das fachadas:

- Edifícios com baixa probabilidade de existência de aberturas nas fachadas;
- Edifícios com aberturas em duas fachadas opostas;
- Edifícios com aberturas apenas numa das fachadas ou no caso de existirem em várias fachadas, uma delas seja francamente predominante.

Para cada caso são atribuídos coeficientes de pressão interior tendo em conta a permeabilidade relativa das fachadas e a direção do vento. Estes valores encontram-se na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Coeficientes de pressão interior para edifícios com planta retangular (RSA AI.3.2.3)

Permeabilidade relativa das fachadas	Direção do vento	Coefficiente de pressão interior
Duas fachadas opostas com permeabilidade semelhante, e as outras duas fachadas impermeáveis	a) Vento normal às fachadas permeáveis	$\delta_{pi} = + 0,2$
	b) Vento normal às fachadas impermeáveis	$\delta_{pi} = - 0,3$
c) As quatro fachadas com permeabilidade semelhante		$\delta_{pi} = - 0,3$
d) Uma só fachada permeável ou sendo todas permeáveis, uma é significativamente mais que as restantes		$\delta_{pi} = 0,75 \times \delta_{pe}$ da fachada permeável ou da mais permeável

Para uma melhor compreensão, na Figura 4.3 encontra-se um resumo esquemático das situações de pressão em função da permeabilidade das fachadas descritas no quadro anterior.

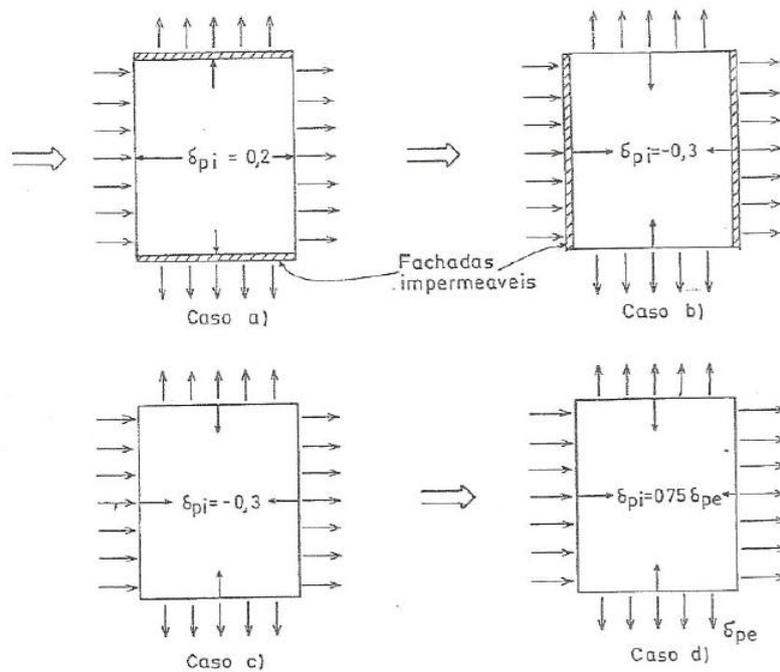


Figura 4.3 – Coeficientes de pressão interior em edifícios de planta retangular das fachadas (Martins, J. G., 2008)

É necessário considerar a eventualidade de direções e sentidos diferentes no rumo do vento, o que poderá determinar que uma abertura numa fachada pode provocar pressão interior para uma direção ou sentido do vento e noutra sucção.

Como se viu, os coeficientes de pressão δ_{pe} e δ_{pi} são afetados de sinal positivo ou negativo consoante correspondem a pressões ou sucções exercidas nas faces do elemento a que se referem. A ação resultante sobre o elemento é assim obtida somando vectorialmente a resultante das pressões que se exercem numa e noutra das suas faces. (Martins, João Guerra 2008)

4.3. Dimensionamento do caso de estudo pelo RSA

Neste subcapítulo encontra-se o dimensionamento do caso de estudo considerando duas situações distintas, a situação mais gravosa (situação 1) e a situação que é a mais provável na prática mas menos gravosa (situação 2).

- **Situação 1:** Edifício com simulação de aberturas (porta na fachada Este e Oeste abertas);

- **Situação 2:** Edifício sem simulação de aberturas (porta na fachada Este e Oeste fechadas).

Considerando os ventos de intensidade regulamentar é razoável admitir que a situação 2 é mais provável, no entanto a situação 1 corresponde ao seguimento de uma possível rutura de um elemento da envolvente por não resistir à carga. Deste modo, é importante ter em consideração que as portas possam abrir na realidade e torna-se relevante ter em conta esta situação mais desfavorável na fase de dimensionamento, embora seja menos provável a sua ocorrência.

4.3.1. Combinação de ações

Para o caso em estudo, a expressão a adotar para os estados limites últimos é a da combinação fundamental, isto é, a expressão 4.1. Para os estados limites de utilização recorreu-se à combinação rara, adotando a expressão 4.3.

Os coeficientes de segurança relativos às ações (γ_g e γ_q) que figuram nas combinações fundamentais encontram-se na Tabela 4.1. Relativamente aos coeficientes a utilizar para obter o valor reduzido de cada ação tem-se:

- Variações uniformes de temperatura: $\psi_0 = 0,6$
- Sobrecargas: $\psi_0 = 0$
- Ação do vento: $\psi_0 = 0,6$

E para os estados limites de utilização, as ações permanentes e variáveis tomam o seu valor característico, logo não são multiplicadas por coeficientes de segurança. Os coeficientes a utilizar para obter o valor reduzido de cada ação são:

- Variações uniformes de temperatura: $\psi_1 = 0,5$
- Sobrecargas: $\psi_1 = 0$
- Ação do vento: $\psi_1 = 0,2$

4.3.2. Quantificação de ações

4.3.2.1. Situação 1

4.3.2.1.1. Peso próprio e revestimento

Como foi referido no subcapítulo 2.2, o aço tem um peso volúmico de 77 kN/m^3 pelo que o peso próprio é este valor multiplicado pela espessura do elemento. Relativamente ao revestimento, o valor do peso do painel adotado para colocar sobre os perfis é de $0,3 \text{ kN/m}^2$.

4.3.2.1.2. Sobrecargas em coberturas

Consultando o artigo 34º retira-se que a cobertura em estudo corresponde a uma cobertura ordinária – cobertura que, em virtude da sua forma ou pela natureza dos elementos de construção que a constitui não permite a fácil circulação de pessoas.

Assim, os valores característicos das sobrecargas a considerar consistem numa carga uniformemente distribuída de $0,3 \text{ kN/m}^2$ (em plano horizontal).

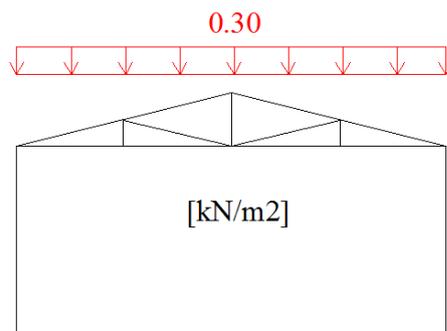


Figura 4.4 – Sobrecarga na cobertura (RSA)

Os valores reduzidos das sobrecargas a considerar nas coberturas são, em geral, nulos ($\psi=0$) dado que as coberturas não apresentam carácter de relativa permanência e conseqüentemente a sobrecarga não ser relevante. (RSA §34.3º)

4.3.2.1.3. Ação das variações de temperatura

Segundo o artigo 18º, a ação da variação da temperatura ambiente sobre a estrutura é obtida por dois tipos de variações de temperatura: uniformes e diferenciais.

O valor característico da variação uniforme de temperatura (ΔT) em relação à temperatura média anual do local para estruturas metálicas não protegidas é $+35^{\circ}\text{C}$ e -25°C .

Nas combinações de ações foi incorporado um fator para ter em conta a temperatura negativa ($\Delta T=-25^{\circ}\text{C}$) dado que apenas foi considerado a temperatura positiva ($\Delta T=+35^{\circ}\text{C}$) nas ações atuantes na estrutura. Este fator foi obtido dividindo 35°C por 25°C e obteve-se 1,4, assim este valor foi dividido pela ação da temperatura nas combinações em que a temperatura tem um efeito negativo.

Os valores reduzidos das variações uniformes de temperatura são obtidos através dos seguintes coeficientes: $\psi_0=0,6$; $\psi_1=0,5$; $\psi_2=0,3$. (RSA §18.2°)

4.3.2.1.4. Ação do vento

Os valores reduzidos da velocidade média do vento são obtidos através dos seguintes coeficientes: $\psi_0=0,4$; $\psi_1=0,2$; $\psi_2=0$. Porém, no caso de edifícios destinados a escritórios, arquivos, oficinas de indústria ligeira, autossilos ou garagens deve tomar-se $\psi_0=0,6$. Este valor é apenas utilizado quando a sobrecarga é a ação de base da combinação (RSA §24.3°).

Zonamento do território

Uma vez que o edifício em estudo se localiza no concelho de Loulé, a menos de 5 km da linha da costa, o local situa-se na zona B (RSA §20°).

Rugosidade aerodinâmica do solo

O edifício localiza-se na periferia de zonas urbanas sendo que é atribuído ao solo a rugosidade do tipo II, através da consulta do artigo 21°.

Pressão dinâmica do vento

Consultando a Figura 4.5 e sabendo que a altura do edifício em estudo, h , é de 8,5 m (inferior a 10 m) e que o solo é de rugosidade do tipo II, o valor da pressão dinâmica do vento, w_k , correspondente à zona A é de $0,90 \text{ kN/m}^2$.

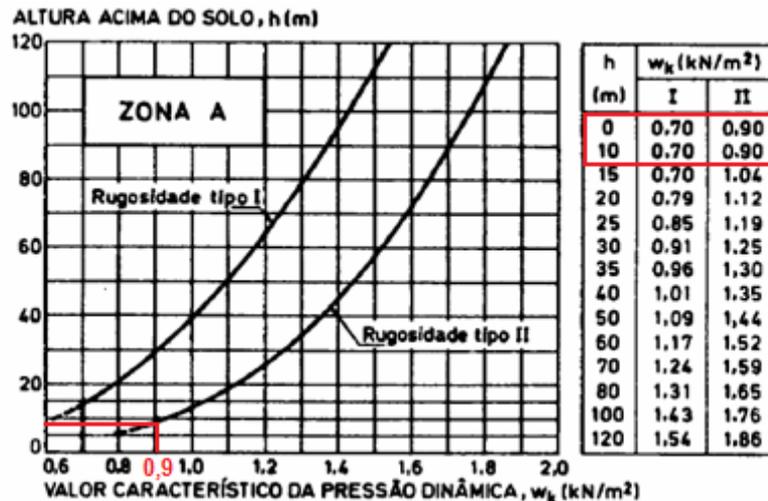


Figura 4.5 – Pressão dinâmica do vento para h=8,5 m (RSA §24.º F1)

O valor característico da pressão dinâmica do vento para a zona B é obtido multiplicando por 1,2 o valor indicado para a zona A, logo:

$$w_{k(zonaA)} = 1,2 \times 0,90 = 1,08 \text{ kN} / \text{m}^2 \approx 35 \text{ m} / \text{s}$$

Coefficientes de forma

- Paredes verticais
 - Coeficientes de pressão exterior (δ_{pe})

No anexo 1 encontram-se os valores dos coeficientes de pressão exterior a considerar nos casos mais frequentes de edifícios com planta retangular. Sabe-se que a altura do edifício, h , é 8,50 m e as dimensões a (maior dimensão em planta) é 21,0 m e b (menor dimensão em planta) é 16,0 m.

Procede-se assim à determinação das relações geométricas do edifício para consultar o anexo 1 (RSA AI.3 QI-I).

$$h/b = 8,50/16,0 = 0,5313 \rightarrow \frac{1}{2} \leq \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$$

$$a/b = 21,0/16,0 = 1,313 \rightarrow 1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$$

É necessário ter em conta que o vento atua em duas direções, assim considera-se o vento seguindo duas incidências (W1 para $\alpha=0^\circ$ e W2 para $\alpha=90^\circ$) como se pode ver na Figura 4.6.⁸

⁸ A simetria da estrutura em planta permite considerar que o vento vai atuar da mesma forma em ambas as direções, tanto para o W1 como para o W2.

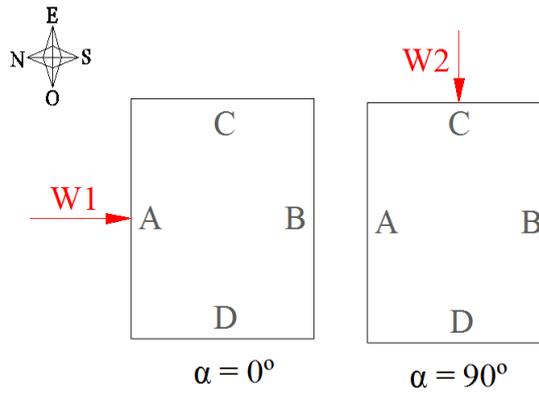


Figura 4.6 – Direção do W1 e W2 em planta e identificação das zonas A, B, C e D para os coeficientes de pressão exterior nas fachadas (RSA)

Consultando o anexo 1 obtém-se os valores dos coeficientes de pressão exterior nas paredes, para o vento W1 e para o vento W2. Estes valores encontram-se destacados na Figura 4.7 e apresentados na Figura 4.8.

Relações geométricas do edifício (*)		Planta	Direção do vento α (graus)	Ações globais sobre as superfícies				Ações locais na faixa referenciada na figura
$\frac{h}{b}$	$\frac{a}{b}$			A	B	C	D	$0,25 b$
$\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	$1 < \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$		0	+0,7	-0,2	-0,5	-0,5	-0,8
			90	-0,5	-0,5	+0,7	-0,2	
	$\frac{3}{2} < \frac{a}{b} \leq 4$		0	+0,7	-0,25	-0,6	-0,6	-1,0
			90	-0,5	-0,5	+0,7	-0,1	
$\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	$1 < \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$		0	+0,7	-0,25	-0,6	-0,6	-1,1
			90	-0,6	-0,6	+0,7	-0,25	
	$\frac{3}{2} < \frac{a}{b} \leq 4$		0	+0,7	-0,3	-0,7	-0,7	-1,1
			90	-0,5	-0,5	+0,7	-0,1	
$\frac{3}{2} < \frac{a}{b} \leq 4$	$1 < \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$		0	+0,8	-0,25	-0,8	-0,8	-1,2
			90	-0,8	-0,8	+0,8	-0,25	
	$\frac{3}{2} < \frac{a}{b} \leq 4$		0	+0,7	-0,4	-0,7	-0,7	-1,2
			90	-0,5	-0,5	+0,8	-0,1	

(*) h representa a altura do edifício; a e b representam, respectivamente, a maior e a menor dimensão em planta.

Figura 4.7 – Coeficientes de pressão exterior nas paredes (A, B, C e D) para $h/b=0,53$ e $a/b=1,31$ (RSA AI.3 QI-I)

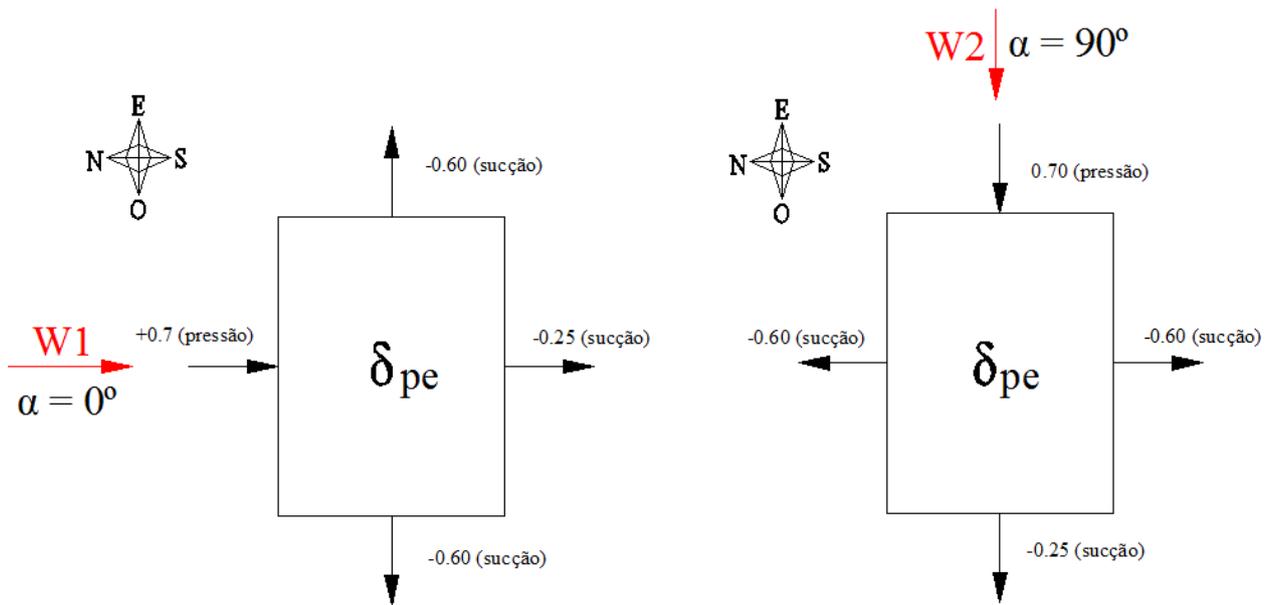


Figura 4.8 – Coeficientes de pressão exterior nas fachadas para W1 e W2 (RSA)

○ Coeficientes de pressão interior (δ_{pi})

Os coeficientes de pressão interior são determinados consoante a permeabilidade das fachadas. Para esta situação em que se simula a existência de aberturas, o armazém em estudo tem duas fachadas permeáveis (fachadas com as portas) e duas fachadas impermeáveis (as restantes).

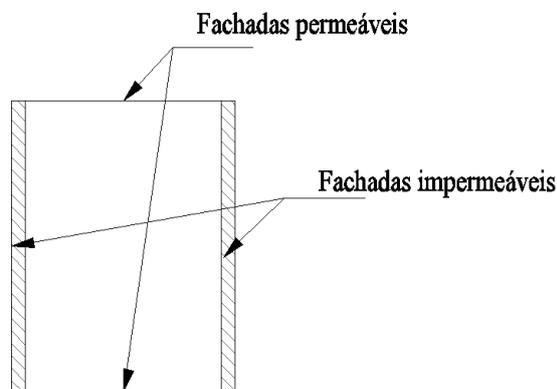


Figura 4.9 – Identificação das fachadas permeáveis e impermeáveis na situação 1

Os valores a utilizar para o caso em estudo encontram-se na Figura 4.10:

Permeabilidade relativa das fachadas	Direção do vento	Coefficiente de pressão interior
Duas fachadas opostas com permeabilidade semelhante, e as outras duas fachadas impermeáveis	a) Vento normal às fachadas permeáveis	$\delta_{pi} = +0,2$
	b) Vento normal às fachadas impermeáveis	$\delta_{pi} = -0,3$
c) As quatro fachadas com permeabilidade semelhante		$\delta_{pi} = -0,3$
d) Uma só fachada permeável ou sendo todas permeáveis, uma é significativamente mais que as restantes		$\delta_{pi} = 0,75 \times \delta_{pe}$ da fachada permeável ou da mais permeável

Figura 4.10 – Coeficientes de pressão interior nas fachadas na situação 1 (RSA)

o Coeficientes de pressão globais

Após a determinação dos coeficientes de pressão exterior e interior procede-se ao cálculo dos coeficientes globais da pressão sobre fachadas do edifício provenientes da ação do vento recorrendo à expressão 4.19.

$$\delta_p = \delta_{pe} - \delta_{pi} \quad (4.19)$$

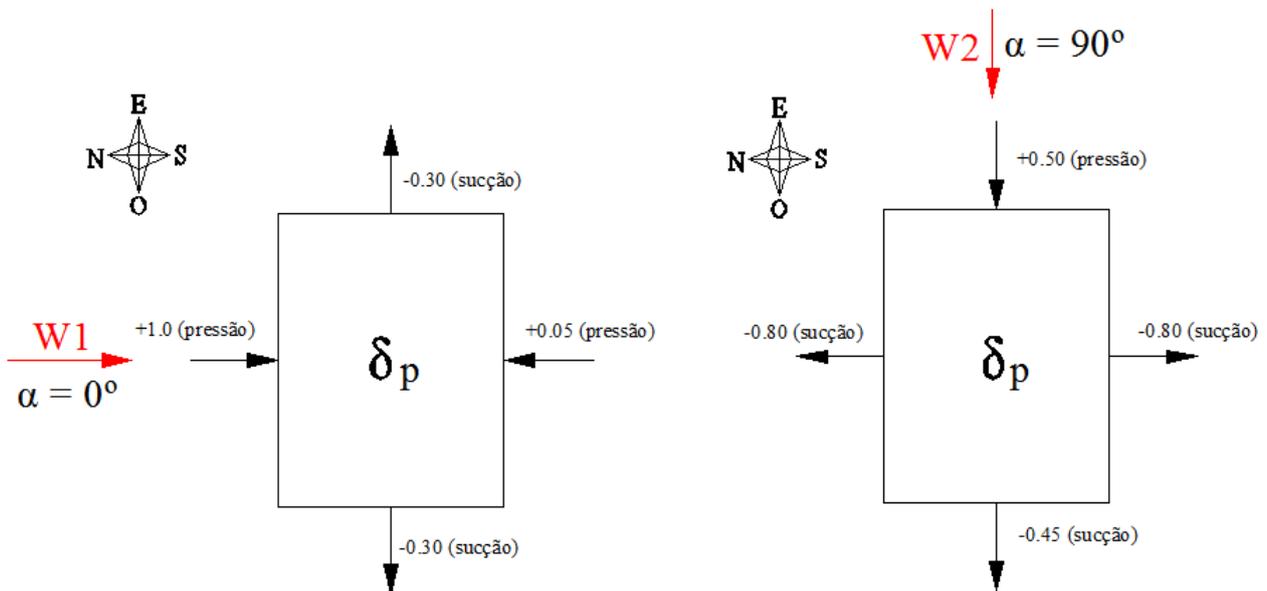


Figura 4.11 – Coeficientes de pressão globais nas fachadas para W1 e W2 na situação 1 (RSA)

- Coberturas de duas vertentes
 - Coeficientes de pressão exterior (δ_{pe})

No anexo 2 encontram-se os valores dos coeficientes de pressão exterior para coberturas de duas vertentes. Procede-se à determinação das relações geométricas do edifício e da inclinação da vertente (β) para proceder à consulta o quadro.

$$\frac{h}{b} = \frac{8,50}{16,0} = 0,5313 \rightarrow \frac{1}{2} \leq \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$$

$$\operatorname{tg}(\beta) = \frac{\operatorname{cat.oposto}}{\operatorname{cat.adjacente}} = \frac{1,5}{8} = 10,62^\circ \approx 11^\circ$$

As pressões nas coberturas de duas vertentes distribuem-se por zonas diferentes (E, F, G e H) como se pode ver na Figura 4.12 que representa a planta do edifício em estudo com as respetivas dimensões.

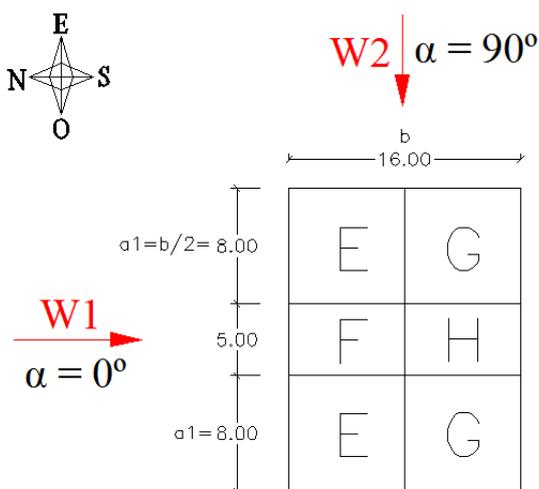
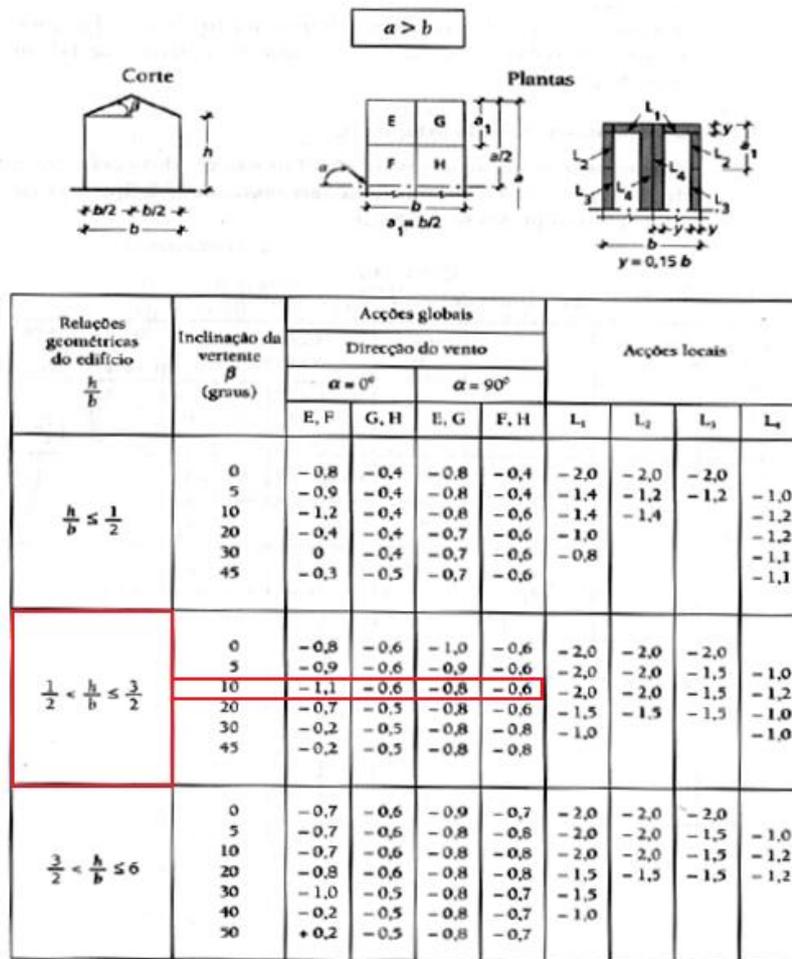


Figura 4.12 – Planta do edifício e identificação das zonas E, F, G e H para os coeficientes de pressão exterior na cobertura (RSA)

Como foi referido nos coeficientes de pressão exterior em paredes, sabe-se que o vento atua em duas direções (W1 para $\alpha=0^\circ$ e W2 para $\alpha=90^\circ$). Consultando o anexo 2 obtém-se os valores dos coeficientes de pressão exterior na cobertura, para o vento W1 e para o vento W2.



NOTA:

- Não há que considerar valores particulares para as acções locais nos casos em que no quadro não são indicados os respectivos coeficientes.

Figura 4.13 – Coeficientes de pressão exterior na cobertura para $h/b=0,53$ e $\alpha=10^\circ$ (RSA AI.3 QI-II)

- Coeficientes de pressão interior (δ_{pi})

O coeficiente de pressão interior a considerar para a cobertura é o mesmo valor que foi atribuído às fachadas do edifício em estudo. Considera-se assim o valor de $\delta_{pi} = -0,3$ quando o vento atuante é perpendicular às fachadas impermeáveis (W1) e $\delta_{pi} = +0,2$ quando o vento atuante é perpendicular às fachadas permeáveis (W2). Estes valores encontram-se na Tabela 4.2.

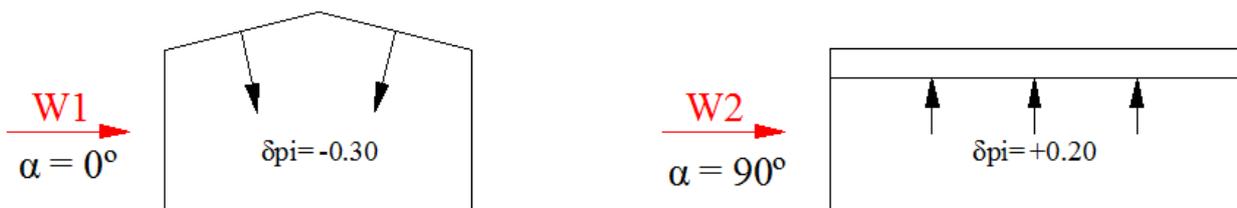


Figura 4.14 – Coeficientes de pressão interior na cobertura na a situação 1 (RSA)

○ Coeficientes de pressão globais

Após a determinação dos coeficientes de pressão exterior e interior procede-se à soma vetorial dos componentes (expressão 4.19) e obtém-se os coeficientes finais da pressão sobre a cobertura do edifício provenientes da ação do vento.

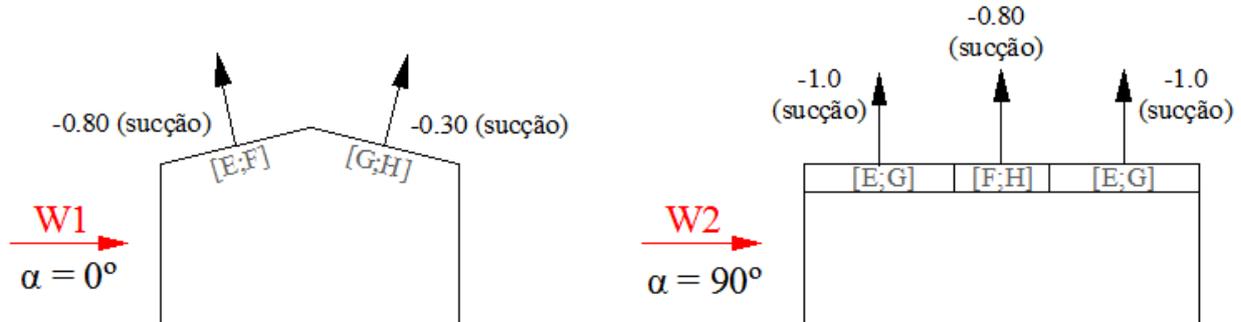


Figura 4.15 – Coeficientes de pressão globais na cobertura na situação 1 (RSA)

4.3.2.1.5. Pressão exercida pelo vento em superfícies

• Paredes verticais

Com os coeficientes de pressão globais nas paredes, determinam-se as pressões sobre as superfícies multiplicando os coeficientes de pressão pela pressão dinâmica do vento através da expressão 4.6. As pressões resultantes encontram-se na seguinte figura.

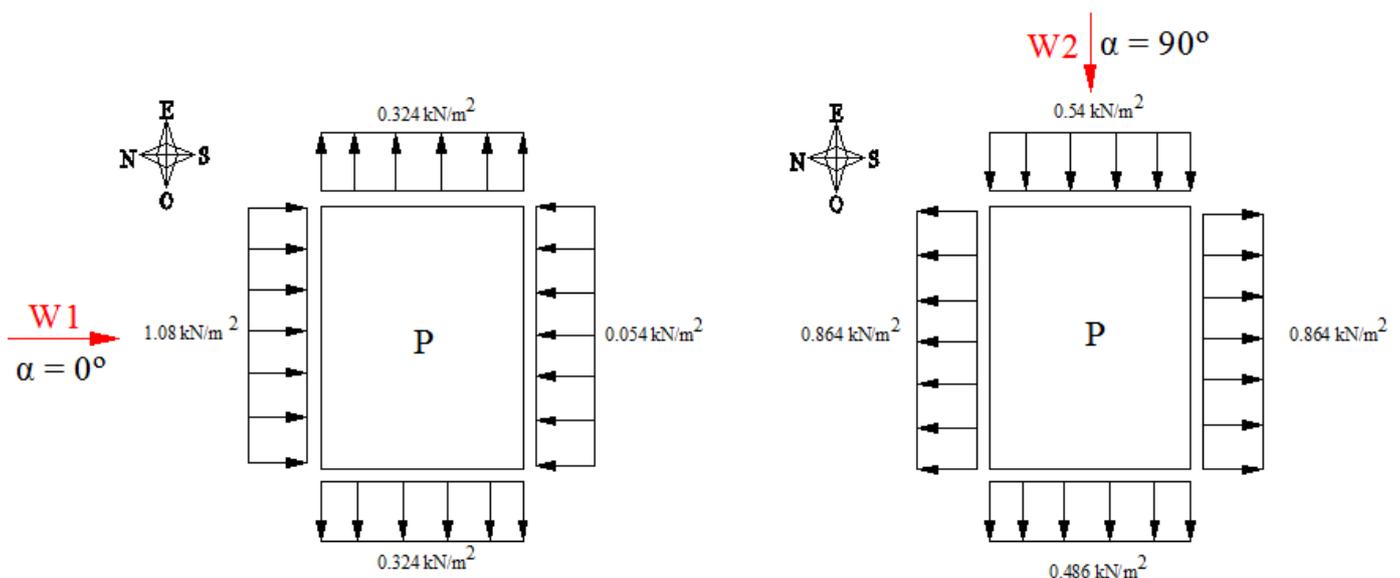


Figura 4.16 – Pressões exercidas pelo vento nas fachadas na situação 1 (RSA)

- Cobertura de duas vertentes

Determina-se, a partir dos coeficientes globais de pressão, as pressões exercidas nas superfícies da mesma forma que nas paredes verticais. As pressões resultantes encontram-se na seguinte figura.

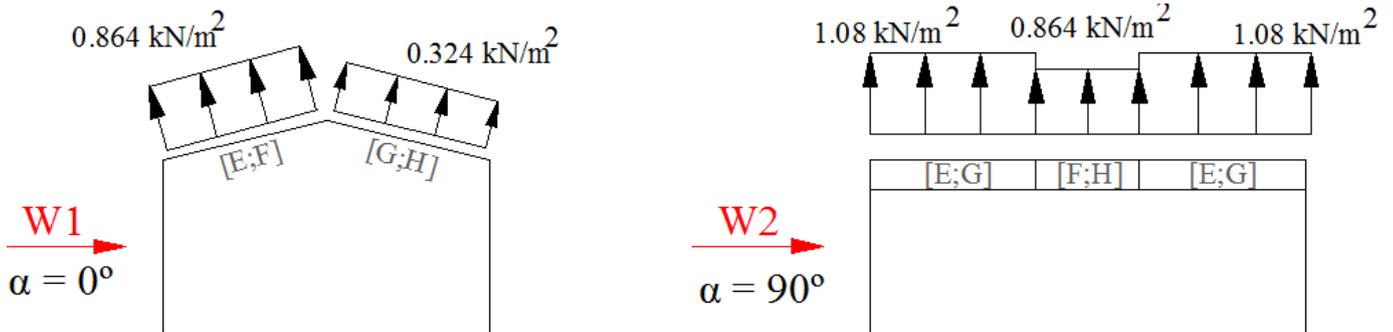


Figura 4.17 – Pressões exercidas pelo vento na cobertura na situação 1 (RSA)

4.3.2.2. Situação 2

A quantificação de ações nomeadamente o peso próprio e revestimento, a sobrecarga na cobertura e a ação térmica são idênticas à situação 1.

4.3.2.2.1. Ação do vento

O valor característico da pressão dinâmica do vento foi determinado no subcapítulo 4.3.2.1.4.

$$\omega_{k(zonaB)} = 1,2 \times \omega_{k(zonaA)} = 1,2 \times 0,90 = 1,08 \text{ kN} / \text{m}^2 \approx 35 \text{ m} / \text{s}$$

De seguida, para determinar as pressões exercidas nas superfícies devido à ação do vento, é necessário determinar os coeficientes de forma.

Coeficientes de forma

- Paredes verticais
 - Coeficientes de pressão exterior (δ_{pe})

Os coeficientes de pressão exterior nas paredes verticais foram determinados no subcapítulo 4.3.2.1.4 e encontram-se na Figura 4.8.

- Coeficientes de pressão interior (δ_{pi})

Os coeficientes de pressão interior são determinados consoante a permeabilidade das fachadas. Para esta situação em que se considera que as portas estão fechadas, o armazém em estudo tem as quatro fachadas com permeabilidade semelhante pelo que se retira pela seguinte figura que o coeficiente de pressão interior a adotar é de $\delta_{pi} = -0,3$.

Permeabilidade relativa das fachadas	Direção do vento	Coefficiente de pressão interior
Duas fachadas opostas com permeabilidade semelhante, e as outras duas fachadas impermeáveis	a) Vento normal às fachadas permeáveis	$\delta_{pi} = +0,2$
	b) Vento normal às fachadas impermeáveis	$\delta_{pi} = -0,3$
c) As quatro fachadas com permeabilidade semelhante		$\delta_{pi} = -0,3$
d) Uma só fachada permeável ou sendo todas permeáveis, uma é significativamente mais que as restantes		$\delta_{pi} = 0,75 \times \delta_{pe}$ da fachada permeável ou da mais permeável

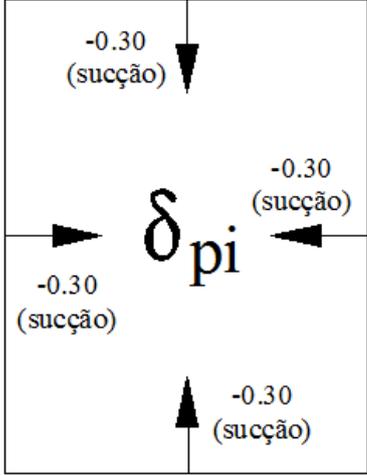


Figura 4.18 - Coeficientes de pressão interior nas fachadas na situação 2 (RSA)

- Coeficientes de pressão globais

A seguinte figura apresenta os coeficientes de pressão globais nas fachadas do edifício resultantes da soma vetorial dos componentes exterior e interior.

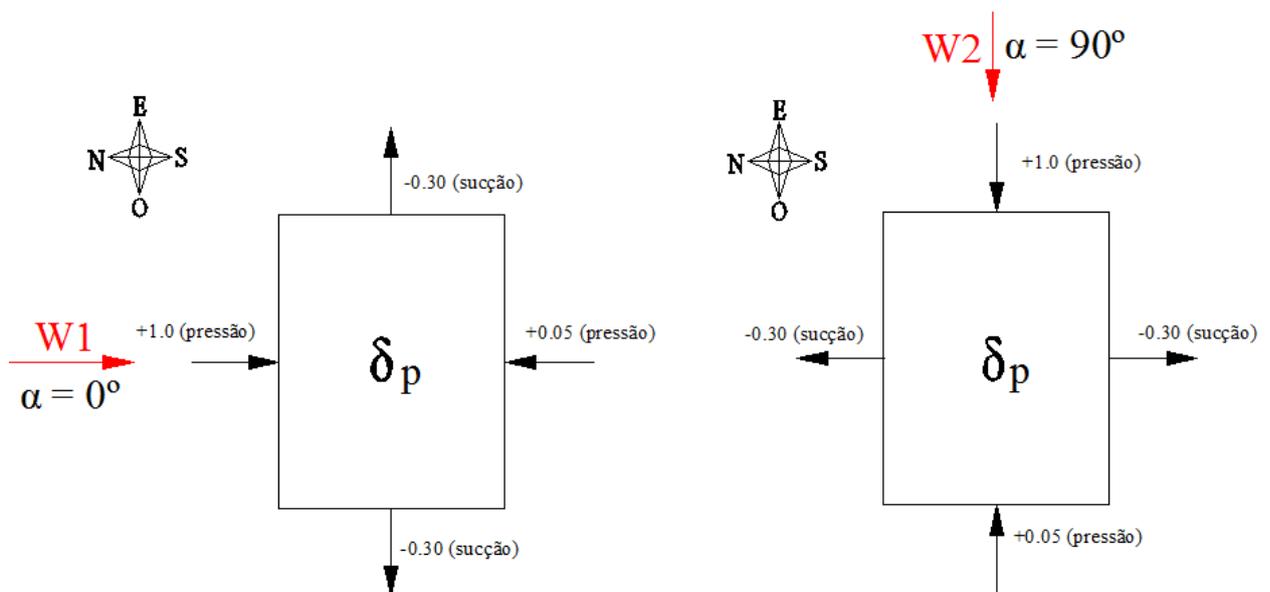


Figura 4.19 - Coeficientes de pressão globais nas fachadas para W1 e W2 na situação 2 (RSA)

- Cobertura de duas vertentes
 - Coeficientes de pressão exterior (δ_{pe})

Os coeficientes de pressão exterior na cobertura de duas vertentes foram determinados no subcapítulo 4.3.2.1.4 e encontram-se na Figura 4.13.

- Coeficientes de pressão interior (δ_{pi})

O coeficiente de pressão interior a considerar para a cobertura é o mesmo valor que foi atribuído às fachadas do edifício em estudo ($\delta_{pi} = -0,3$).

- Coeficientes de pressão globais

A Figura 4.20 apresenta os coeficientes de pressão globais na cobertura do edifício.

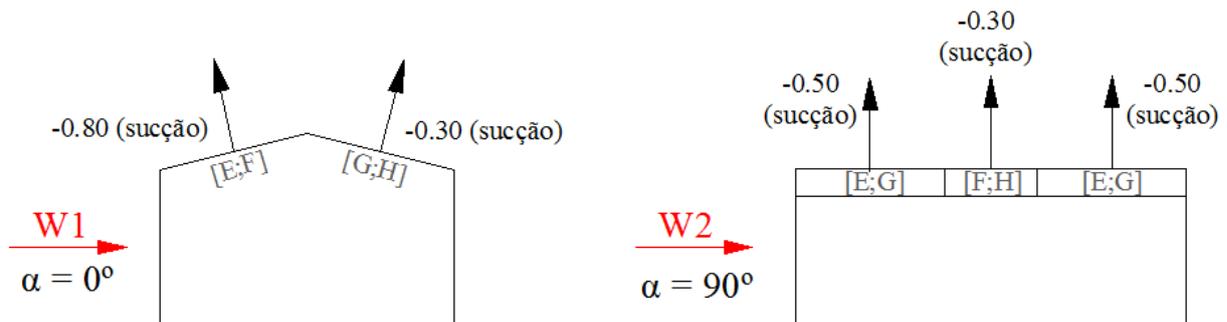


Figura 4.20 - Coeficientes de pressão globais na cobertura na situação 2 (RSA)

4.3.2.2.2. Pressão exercida pelo vento em superfícies

- Paredes verticais

As pressões exercidas sobre as superfícies são determinadas pela expressão 4.6 e a Figura 4.21 apresenta as pressões exercidas nas paredes verticais.

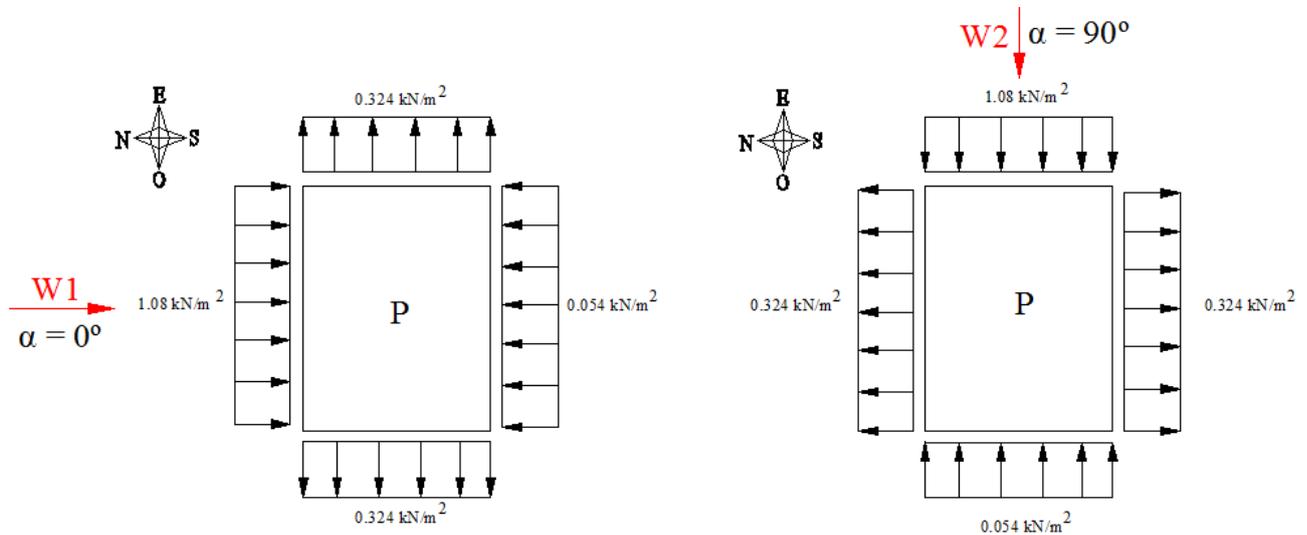


Figura 4.21 - Pressões exercidas pelo vento nas fachadas na situação 2 (RSA)

- Cobertura de duas vertentes

As pressões resultantes na cobertura encontram-se na Figura 4.22.

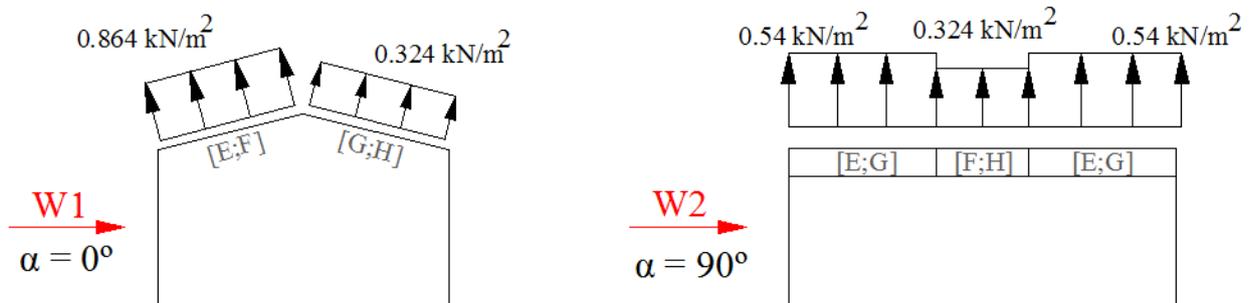


Figura 4.22 - Pressões exercidas pelo vento na cobertura na situação 2 (RSA)

4.3.3. Cargas atuantes no edifício

Tendo determinado as cargas uniformemente distribuídas sobre as fachadas e a cobertura da estrutura para a situação 1 e 2, sabendo a áreas de influência de cada elemento procede-se ao cálculo das cargas linearmente distribuídas na cobertura e nas fachadas.

Relativamente à temperatura, atribuiu-se o valor $\Delta T = +35^\circ\text{C}$ em todas as barras da cobertura, tendo em conta o $\Delta T = -25^\circ\text{C}$ nas combinações de ações através da atribuição de coeficientes.

4.3.3.1. Situação 1

4.3.3.1.1. Cargas atuantes na cobertura

Nas figuras seguintes estão esquematizadas o carregamento na cobertura de cada carga (sobrecarga, revestimento, vento W1 e vento W2) e o seu respetivo valor de carga linearmente distribuída em cada barra considerada.

Sobrecarga

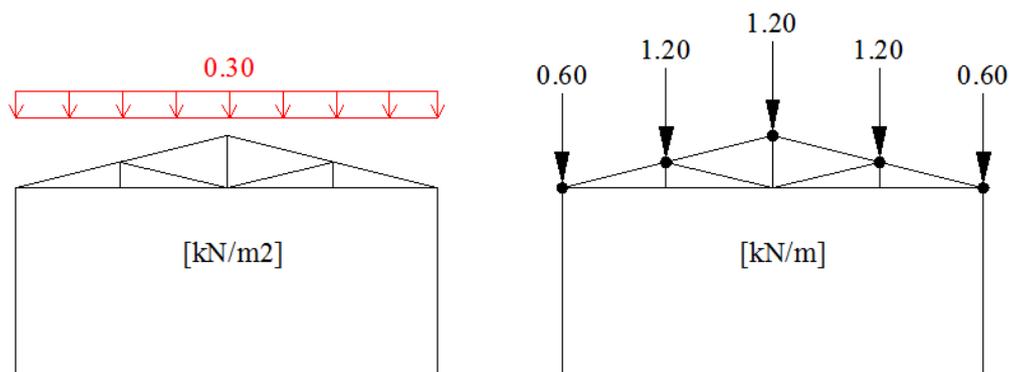


Figura 4.23 – Sobrecarga na cobertura (RSA)

Revestimento

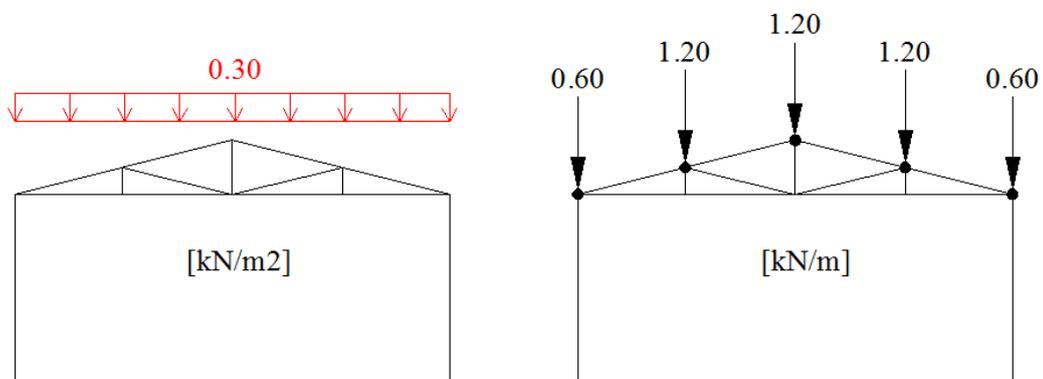


Figura 4.24 – Revestimento na cobertura (RSA)

Vento (W1;W2)⁹

- Vento (W1)

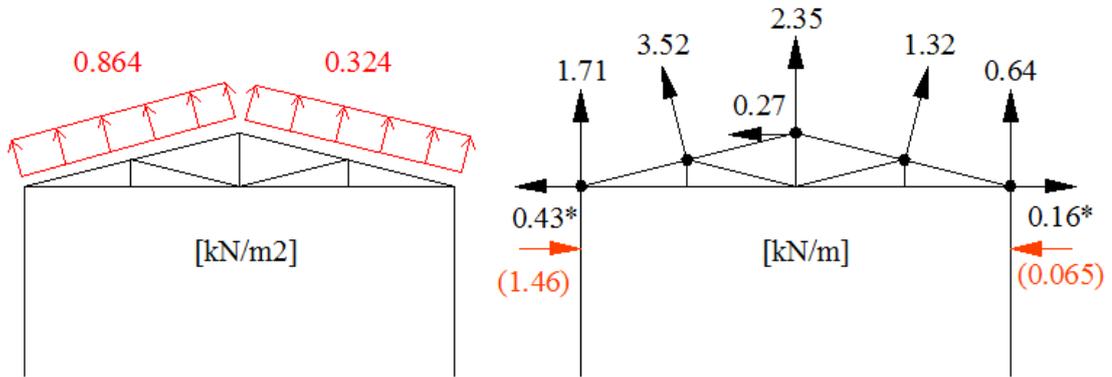


Figura 4.25 – Vento W1 na cobertura na situação 1 (RSA)

- Vento (W2)

Relativamente ao vento W2 verificou-se pela Figura 4.22 que existem zonas na cobertura com valores de pressão diferentes. A Figura 4.26 ilustra essas zonas e a Figura 4.27 apresenta as cargas linearmente distribuídas nas barras devido a estas pressões.

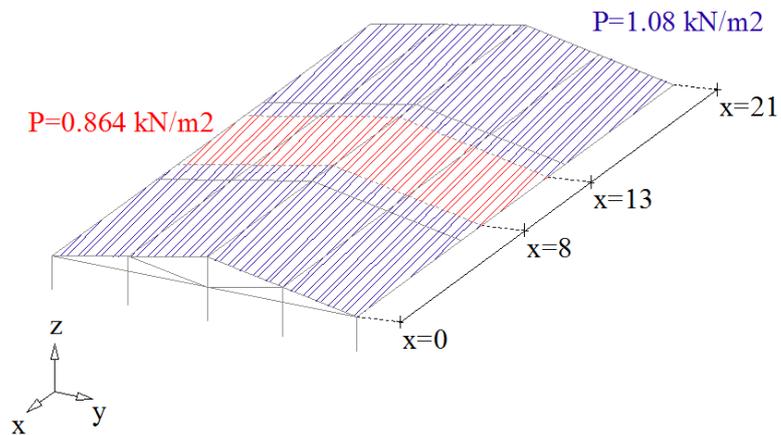


Figura 4.26 – Zonas na cobertura com diferentes pressões exercidas pelo vento W2 na situação 1 (RSA)

⁹ Os valores com (*) são os valores para a carga em causa, os valores abaixo (a laranja) são os valores corrigidos devido à combinação de duas cargas (a carga do vento na cobertura e a carga do vento nas fachadas do edifício).

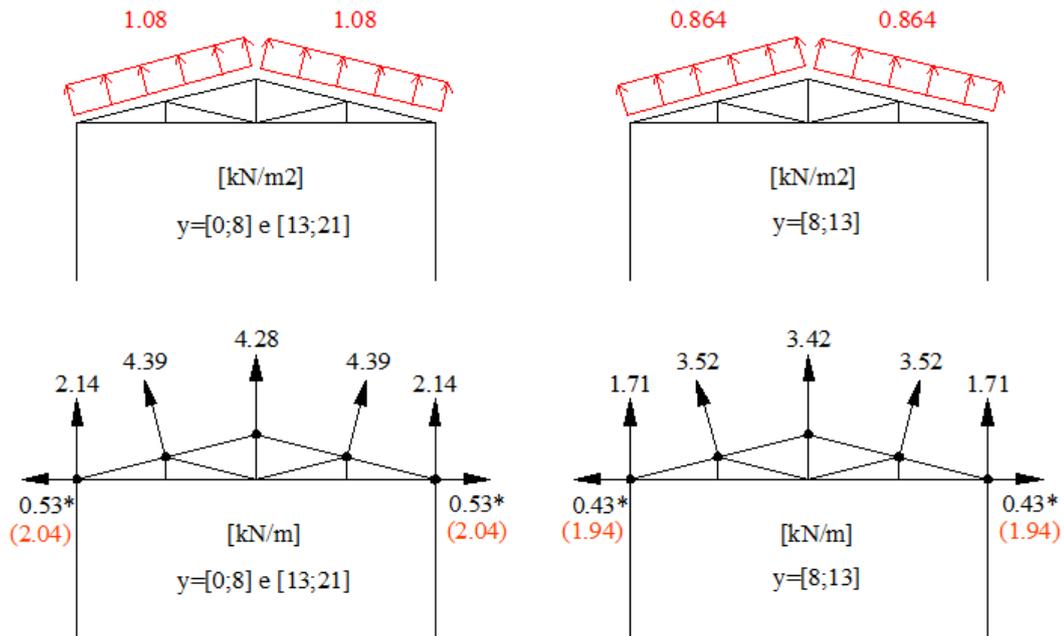


Figura 4.27 - Vento W2 na cobertura para $x=[0;8];[8;13];[13;21]$ na situação 1 (RSA)

4.3.3.1.2. Cargas atuantes nas fachadas

Nas figuras seguintes estão esquematizados os carregamentos nas fachadas (vento W1 e vento W2) e o seu respetivo valor de carga linearmente distribuída nas barras consideradas para cada orientação.

Relativamente à temperatura, atribuiu-se o valor $\Delta T=+35^{\circ}\text{C}$ em todas as barras das fachadas, tendo em conta o $\Delta T=-25^{\circ}\text{C}$ nas combinações de ações.

Vento (W1;W2)

- Vento (W1)
 - Fachadas orientadas a Este e Oeste

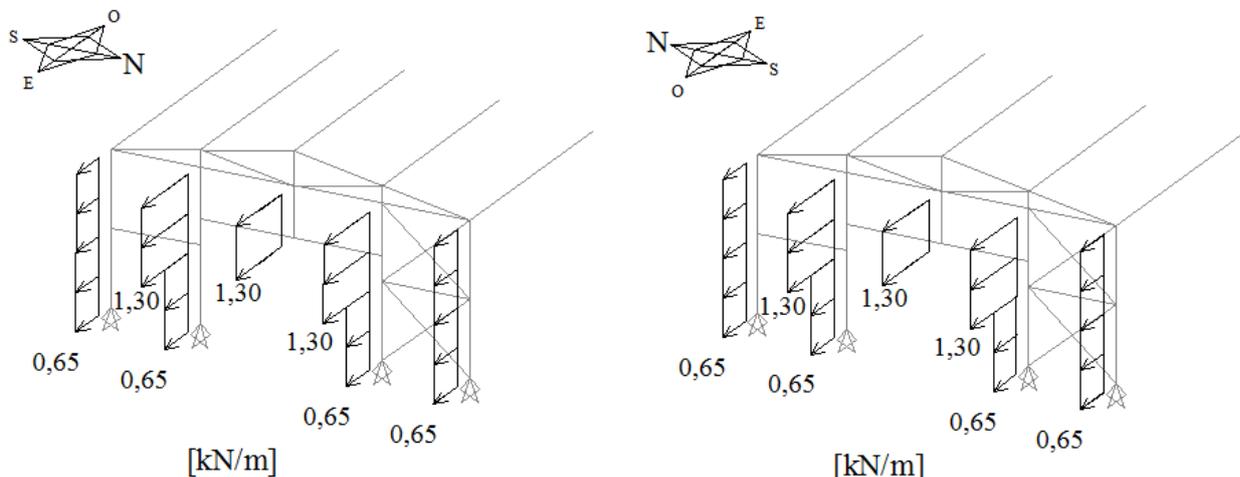


Figura 4.28 – Vento W1 nas fachadas orientadas a Este e Oeste na situação 1 (RSA)

○ Fachada orientada a Sul ¹⁰

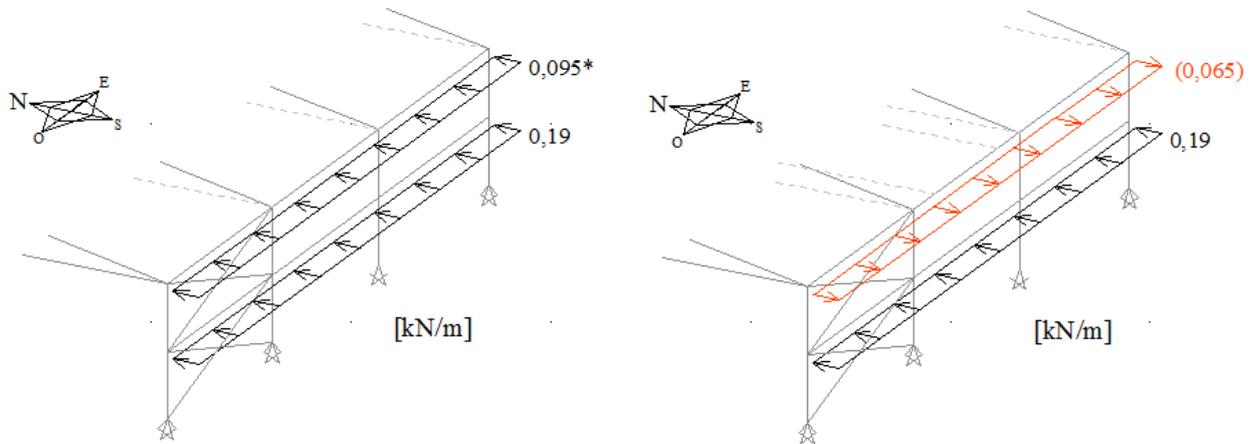


Figura 4.29 – Vento W1 na fachada orientada a Sul na situação 1 (RSA)

○ Fachada orientada a Norte

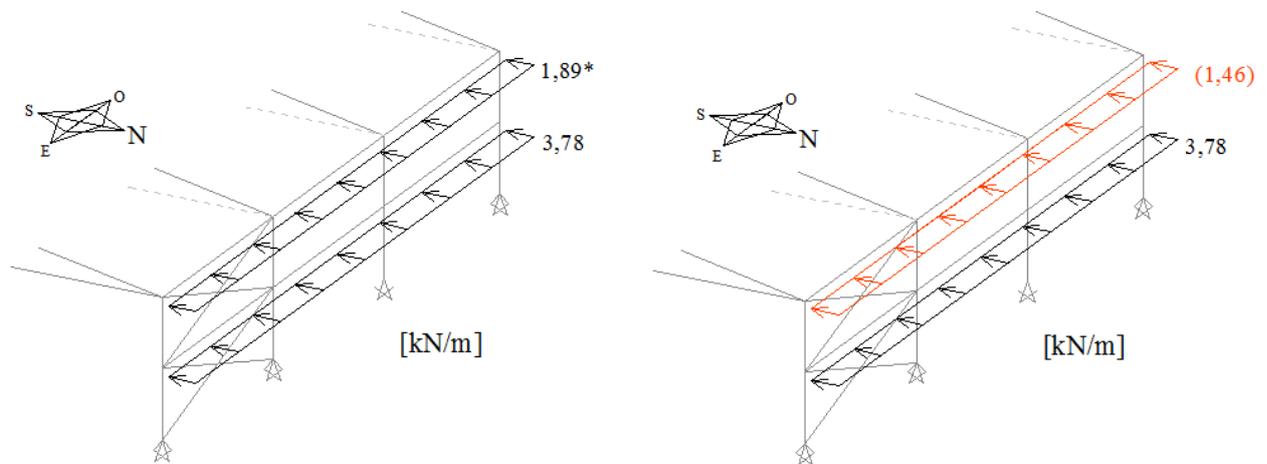


Figura 4.30 – Vento W1 na fachada orientada a Norte na situação 1 (RSA)

¹⁰ Os valores com (*) são os valores para a carga em causa, a figura ao lado com os valores a laranja são os valores corrigidos devido à combinação de duas cargas (a carga do vento na cobertura e a carga do vento nas fachadas do edifício).

- Vento (W2)
 - Fachadas orientadas a Este e Oeste

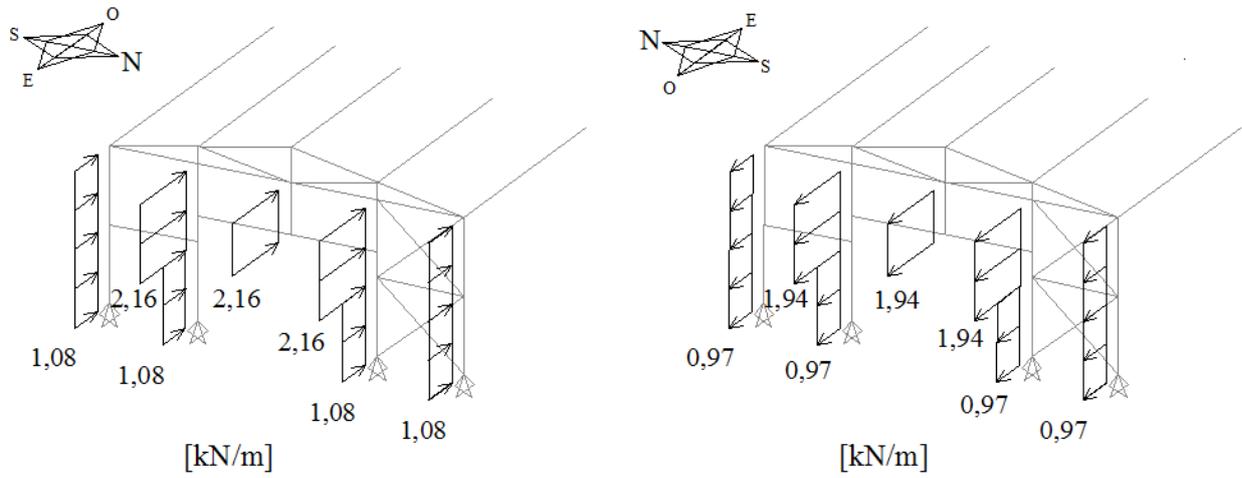


Figura 4.31 – Vento W2 nas fachadas orientadas a Este e Oeste na situação 1 (RSA)

- Fachadas orientadas a Sul

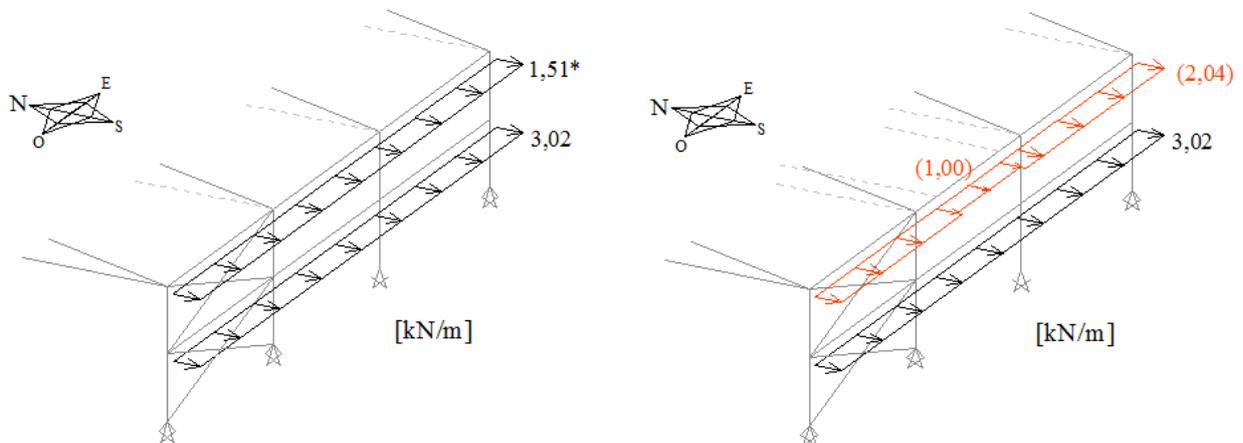


Figura 4.32 – Vento W2 na fachada orientada a Sul na situação 1 (RSA)

o Fachadas orientadas a Norte

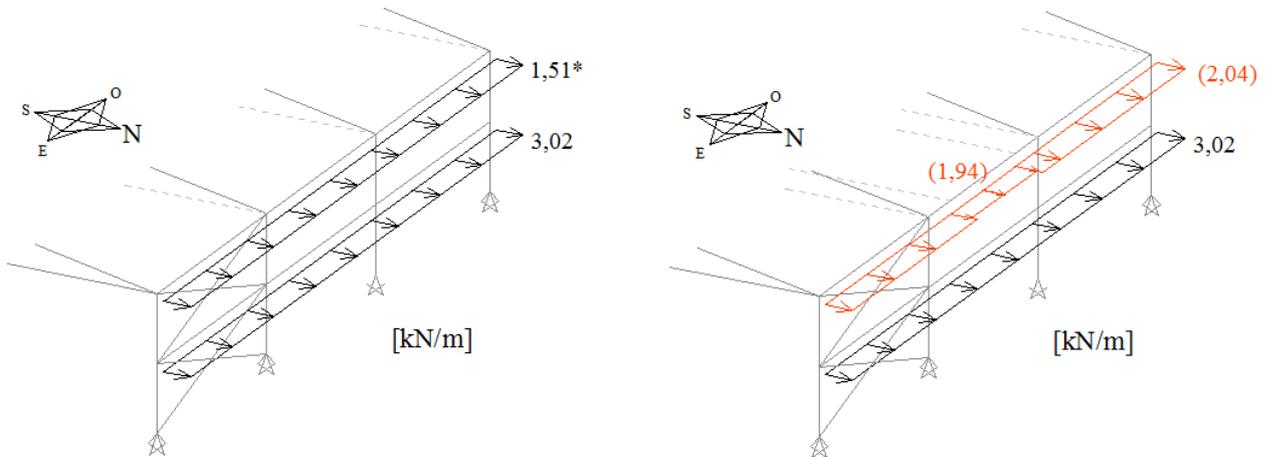


Figura 4.33 – Vento W2 na fachada orientada a Norte na situação 1 (RSA)

4.3.3.2. Situação 2

4.3.3.2.1. Cargas atuantes na cobertura

As cargas atuantes na cobertura devido à sobrecarga e ao revestimento são os mesmos valores que os determinados no capítulo 4.3.3.1.1 e encontram-se na Figura 4.23 e na Figura 4.24.

As seguintes figuras apresentam o carregamento na cobertura devido ao vento W1 e W2 e o seu respetivo valor de carga linearmente distribuída em cada barra considerada.

Vento (W1;W2)¹¹

• Vento (W1)

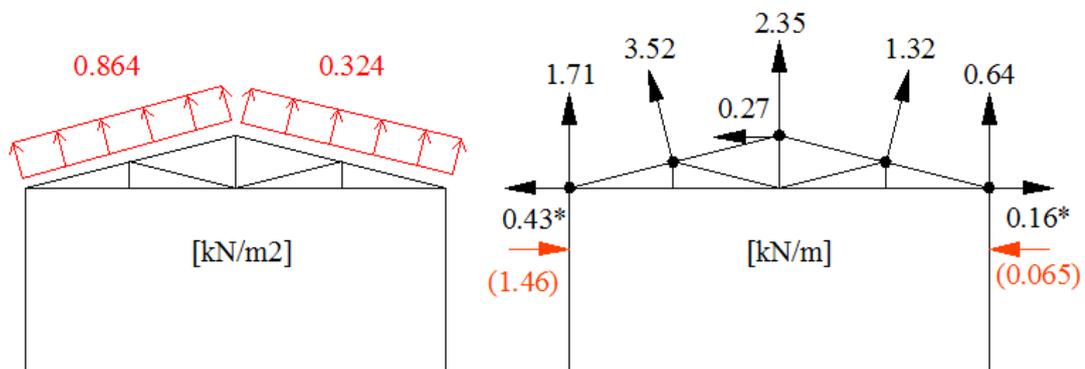


Figura 4.34 - Vento W1 na cobertura na situação 2 (RSA)

¹¹ Os valores com (*) são os valores para a carga em causa, os valores abaixo (a laranja) são os valores corrigidos devido à combinação de duas cargas (a carga do vento na cobertura e a carga do vento nas fachadas do edifício).

- Vento (W2)

Relativamente ao vento W2, tal como se verificou na situação 1, existem zonas na cobertura com valores de pressão diferentes. A Figura 4.26 ilustra essas zonas e a Figura 4.27 apresenta as cargas linearmente distribuídas nas barras devido a estas pressões.

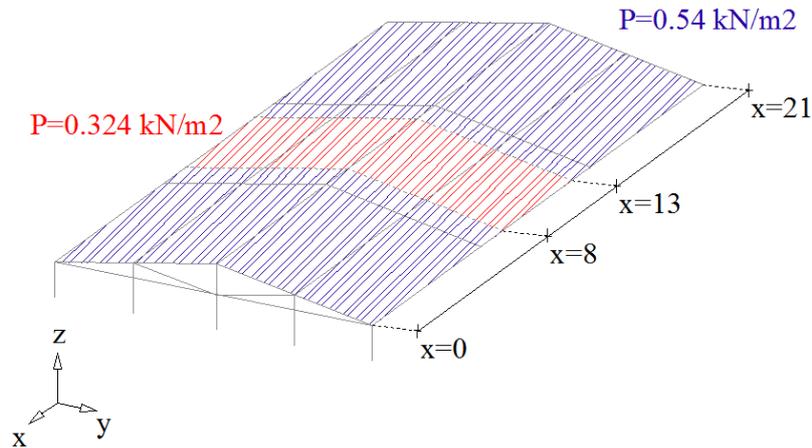


Figura 4.35 - Zonas na cobertura com diferentes pressões exercidas pelo vento W2 na situação 2 (RSA)

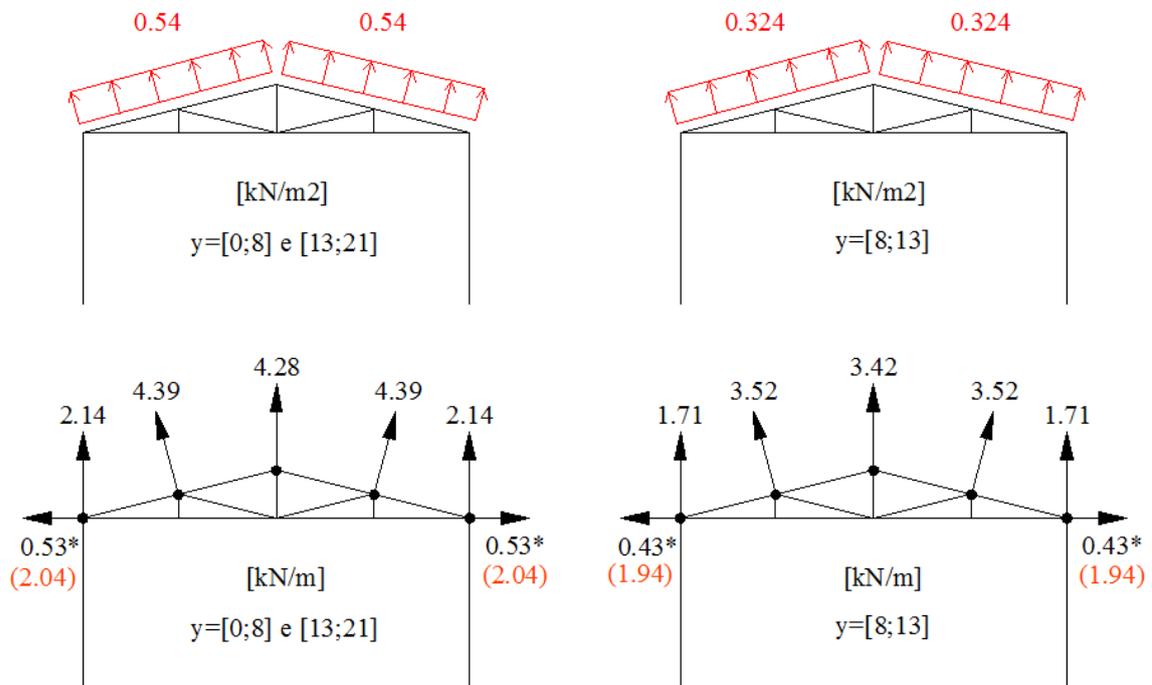


Figura 4.36 - Vento W2 na cobertura para $x=[0;8];[8;13];[13;21]$ na situação 2 (RSA)

4.3.3.2.2. Cargas atuantes nas fachadas

Nas figuras seguintes estão esquematizados os carregamentos nas fachadas (vento W1 e vento W2) e o seu respetivo valor de carga linearmente distribuída nas barras consideradas para cada orientação.

Relativamente à temperatura, atribuiu-se o valor $\Delta T = +35^\circ\text{C}$ em todas as barras das fachadas, tendo em conta o $\Delta T = -25^\circ\text{C}$ nas combinações de ações.

Vento (W1;W2)¹²

- Vento (W1)
 - Fachadas orientadas a Este e Oeste

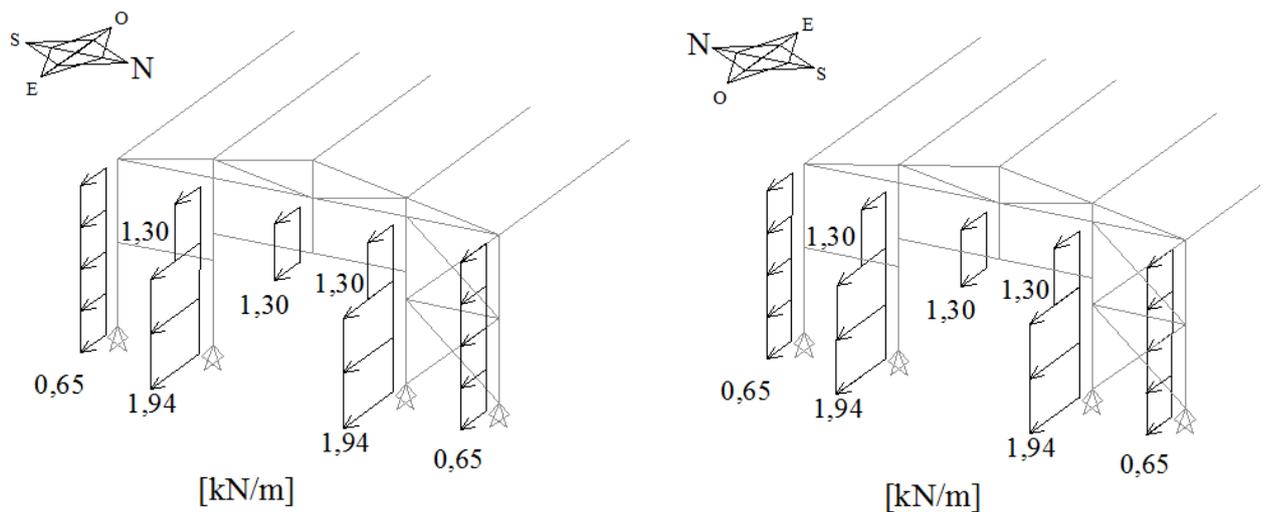


Figura 4.37 - Vento W1 nas fachadas orientadas a Este e Oeste na situação 2 (RSA)

¹² Os valores com (*) são os valores para a carga em causa, a figura ao lado com os valores a laranja são os valores corrigidos devido à combinação de duas cargas (a carga do vento na cobertura e a carga do vento nas fachadas do edifício).

○ Fachada orientada a Sul

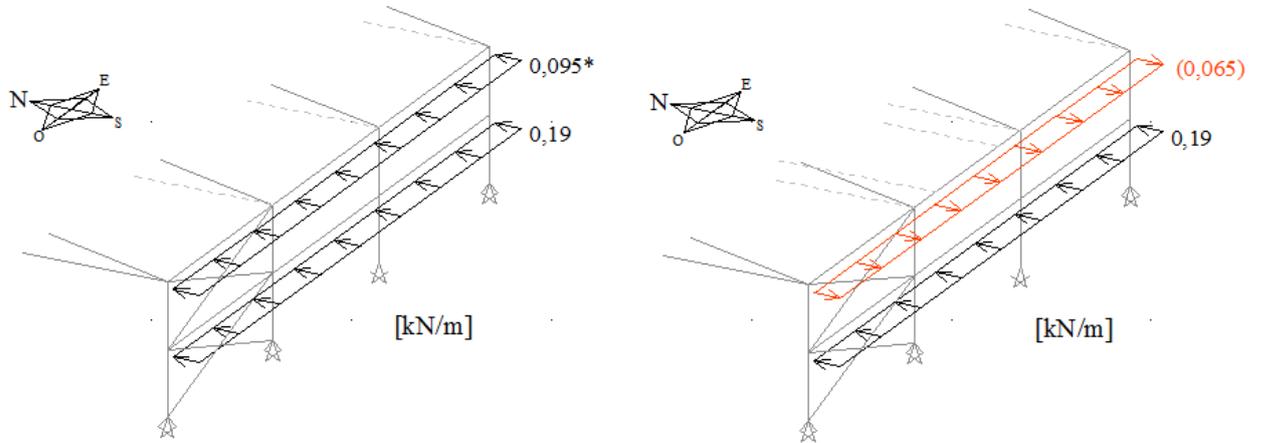


Figura 4.38 – Vento W1 na fachada orientada a Sul na situação 2 (RSA)

○ Fachada orientada a Norte

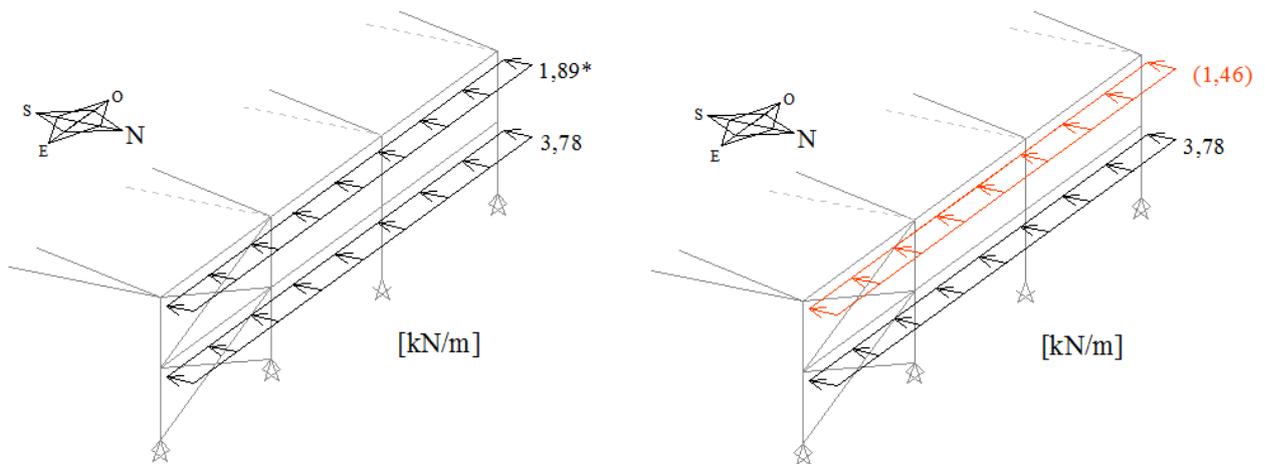


Figura 4.39 – Vento W1 na fachada orientada a Norte na situação 2 (RSA)

- Vento (W2)
 - Fachadas orientadas a Este e Oeste

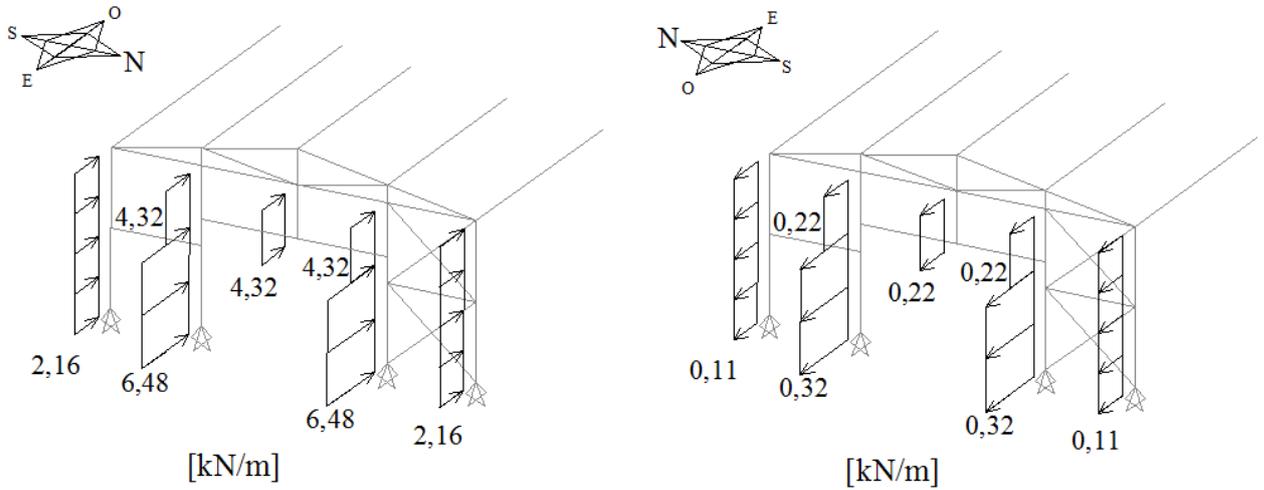


Figura 4.40 – Vento W2 nas fachadas orientadas a Este e Oeste na situação 2 (RSA)

- Fachadas orientadas a Sul

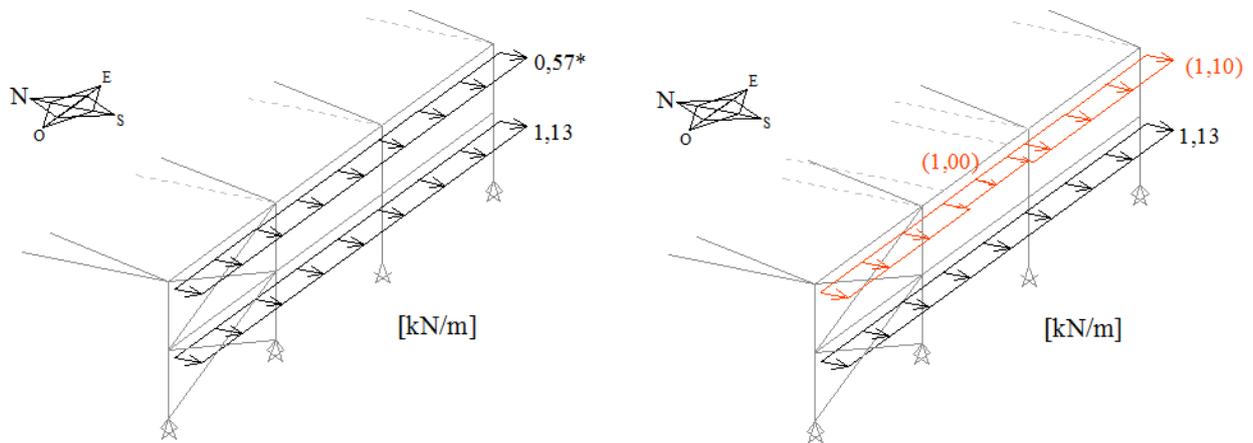


Figura 4.41 – Vento W2 na fachada orientada a Sul na situação 2 (RSA)

○ Fachadas orientadas a Norte

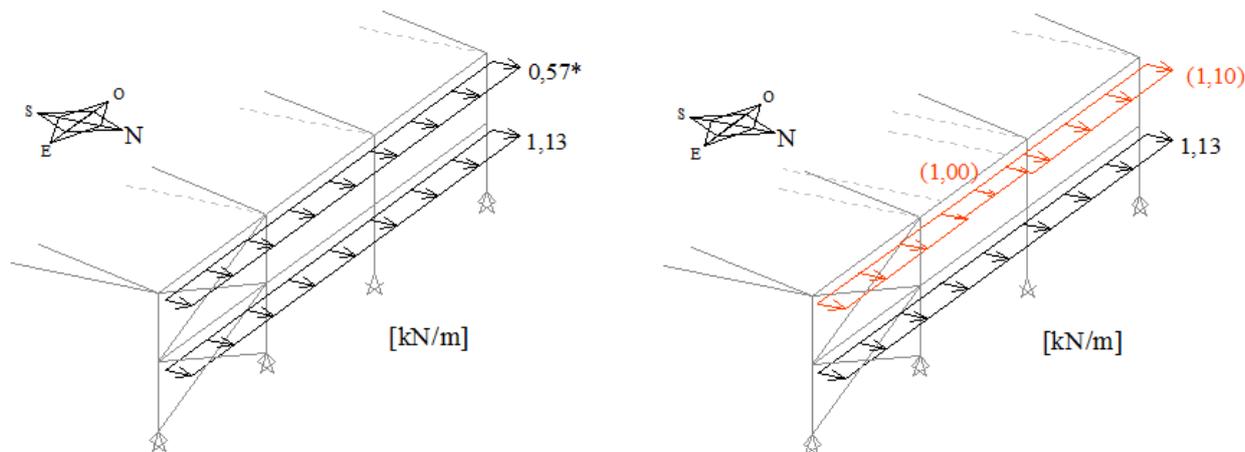


Figura 4.42 – Vento W2 na fachada orientada a Norte na situação 2 (RSA)

4.3.4. Modelo computacional (Programa SAP2000)

4.3.4.1. Combinação de ações

De modo a efetuar o dimensionamento da estrutura é necessário verificar a segurança dos estados limites últimos, E. L. U., e dos estados limites de utilização, E. L. Utilização. Para tal é necessário inserir todas as combinações de ações possíveis no programa SAP2000, que neste caso correspondem a 40 combinações fundamentais (E. L. U.) e 2 combinações raras (E. L. Utilização). Estas combinações têm em conta os coeficientes de segurança indicados na Tabela 4.1 e os coeficientes para obter o valor reduzido de cada ação definidos no capítulo 4.3.1.

4.3.4.2. Dimensionamento

Estados limites últimos

Primeiramente é de referir que para efetuar o dimensionamento da estrutura optou-se por estudar a situação mais desfavorável, ou seja, a situação 1 (edifício com simulação de aberturas) uma vez que esta apresenta cargas aplicadas na estrutura superiores às obtidas na situação 2.

O dimensionamento da estrutura foi efetuado por tentativas, isto é, optou-se por colocar um tipo de perfil em toda a estrutura (HE 200-B) exceto nos contraventamentos em que se colocou o

perfil HE 120-B, e procedeu-se à verificação aos E. L. U. alterando os perfis por forma a cumprir os requisitos regulamentares.

No dimensionamento da estrutura, recorrendo ao programa SAP2000, analisou-se os elementos estruturais críticos, isto é, aqueles que apresentam um rácio entre o esforço atuante e resistência superior a 1,0. Essas barras foram substituídas por perfis mais resistentes com intuito da estrutura no seu todo resistir aos esforços atuantes. O dimensionamento foi efetuado de uma forma semelhante a uma aplicação real, visando a execução da estrutura de forma simples e económica.

A solução de dimensionamento obtida implicou o uso de três tipos de perfis nomeadamente, HE 240-B, HE 160-B e HE 120-A, distribuídos da seguinte forma:

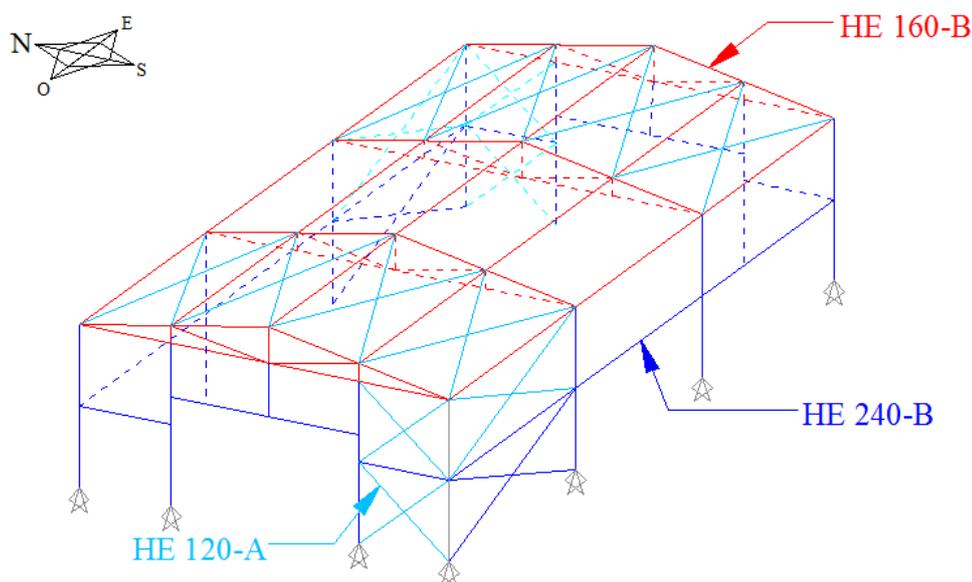


Figura 4.43 – Edifício dimensionado pelo RSA com indicação dos perfis adotados

Estados limites de utilização

Após o dimensionamento tendo em conta os estados limites últimos, procedeu-se à verificação aos estados limites de utilização que consiste em analisar:

- As deformações que podem ser incompatíveis com o bom funcionamento da estrutura (como, por exemplo, flechas cujo valor provoquem fendilhação excessiva em paredes, tenham efeitos estéticos desagradáveis ou mesmo causem desconforto psicológico nos utentes);
- Fissuração de zonas tracionadas;
- Danos por corrosão;

- Vibrações excessivas.

Para o caso em estudo analisou-se as flechas provocadas nas barras da estrutura devido às combinações raras de ações dos estados limites de utilização. Os valores das deformações das barras são obtidos pelo programa SAP2000.

É necessário efetuar as correspondentes combinações de ações tendo em consideração os coeficientes regulamentares e obter diretamente os deslocamentos das barras em formato de tabela. De modo a verificar a segurança aos estados limites de utilização as flechas, isto é, os deslocamentos ascendentes, têm que cumprir os valores regulamentares que se encontram na Tabela 1.1. Para o caso em estudo, isto é, para as coberturas em geral, os deslocamentos verticais devem cumprir a seguinte expressão:

$$\delta_2 \leq L/250 \quad (4.20)$$

Para a solução de dimensionamento determinada anteriormente verifica-se que cumpre tanto os estados limites últimos como os estados limites de utilização sendo assim uma solução aceitável para o caso de estudo.

Reações nos apoios

Esta verificação consiste em analisar as reações nos apoios, primeiramente para a atuação do vento W1 sem a sua majoração, de seguida para a atuação do vento W2 sem a sua majoração e por fim tendo em conta as combinações de ações. Com estes valores é possível determinar por estimativa as margens relativamente ao peso das sapatas constituintes da estrutura.

A seguinte tabela indica o valor máximo e mínimo da reação no apoio no eixo z para cada caso, e encontra-se destacado o valor máximo negativo e o valor máximo positivo.

Tabela 4.3 – Valor total, máximo e mínimo da reação nos apoios do edifício no eixo Z para W1, W2 e as combinações (RSA)

W1	MÁXIMO	58,717
	MÍNIMO	-72,89
W2	MÁXIMO	10,133
	MÍNIMO	-71,128
COMBOS	MÁXIMO	92,159
	MÍNIMO	24,068

Assim, conclui-se que as sapatas terão que apresentar um peso mínimo de modo a contrariar o efeito de tração na vertical de valor 72,9 kN, ou seja, um peso mínimo de 7,29 ton. E terão que apresentar uma área que conduza a uma tensão atuante que não exceda a tensão admissível do solo onde será implementada a estrutura, tendo em conta o valor máximo da reação de compressão de 92,16 kN.

4.3.4.3. Identificação dos elementos estruturais críticos

Após o dimensionamento da estrutura é possível analisar os elementos estruturais críticos que serão os elementos que cedem em primeiro lugar e são estes os elementos que apresentam um rácio maior entre o esforço atuante, S_d , e a resistência do elemento, R_d . Esta análise é efetuada tanto para a situação 1 como para a situação 2 com o intuito de comparar estes mesmos rácios.

A Figura 4.44 e a Figura 4.45 indicam, em escala a cores, os elementos e os rácios correspondentes do edifício em estudo para a situação 1 e 2, respetivamente.

Situação 1

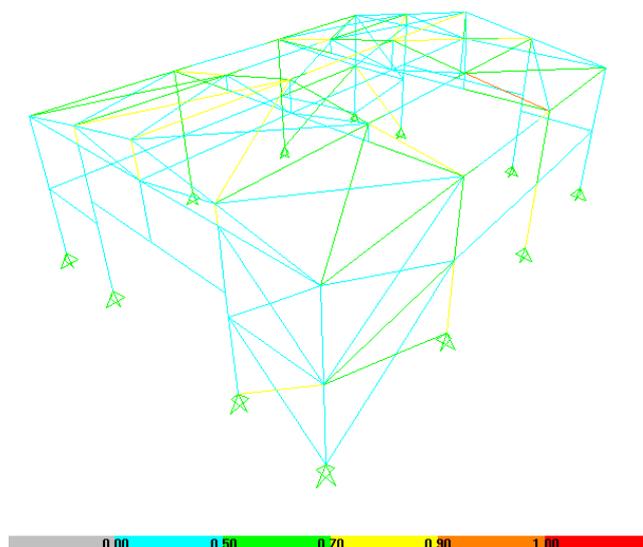


Figura 4.44 - Identificação dos elementos estruturais críticos no edifício em estudo na situação 1 (RSA)

Situação 2

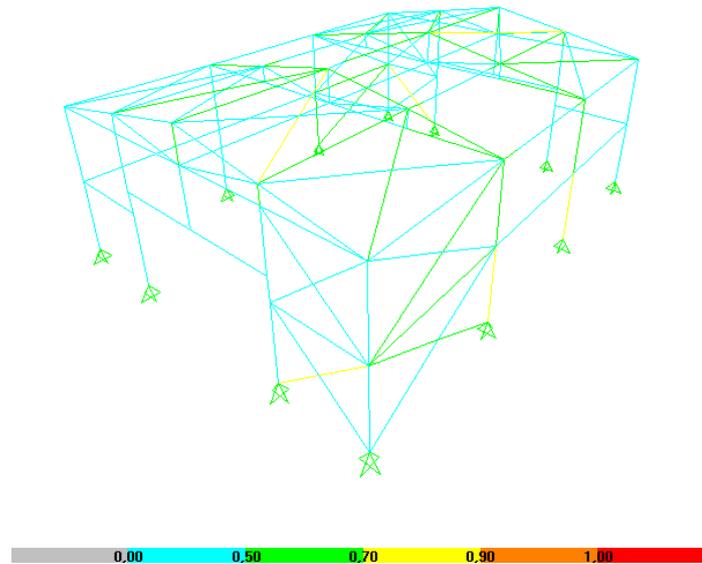


Figura 4.45 – Identificação dos elementos estruturais críticos no edifício em estudo na situação 2 (RSA)

Verifica-se que os elementos que apresentam valores superiores de rácio (cor amarela) situam-se na cobertura, nos contraventamentos e nas barras verticais nas fachadas orientadas a Norte e a Sul.

Comparando os resultados obtidos nas duas situações, verifica-se que a situação 1 apresenta elementos estruturais na cobertura com rácios superiores relativamente à situação 2. Isto deve-se ao facto do coeficiente de pressão interior na situação 1 agravar os valores dos coeficientes de pressão globais na cobertura e consequentemente aumentar as pressões exercidas nestas superfícies.

5. DIMENSIONAMENTO COM RECURSO AO EC

5.1. Critérios gerais de segurança

5.1.1. Generalidades

Segundo o Eurocódigo 0 (Bases para o projeto de estruturas), os estados limites devem ser associados a situações de projeto que são classificadas como persistentes, transitórias, acidentais ou sísmicas (EC0 §3.2):

- Situações de projeto persistentes: Condições normais de utilização;
- Situações de projeto transitórias: Condições temporárias aplicáveis à estrutura (ex.: durante a construção ou a reparação);
- Situações de projeto acidentais: Condições excepcionais aplicáveis à estrutura ou à sua exposição (ex.: incêndios, explosões, impactos);
- Situações de projeto sísmicas: Condições aplicáveis à estrutura quando sujeita à ação dos sismos.

5.1.2. Estados limites

5.1.2.1. Estados limites Últimos (E. L. U.)

Segundo o EC0 devem ser verificados os seguintes E. L. U. (EC0 §6.4.1):

- EQU - Perda de equilíbrio estático do conjunto ou de parte da estrutura, considerada como corpo rígido;
- STR - Rotura ou deformação excessiva da estrutura ou elementos estruturais (incluindo sapatas, estacas, muros de caves, etc.) em que a resistência dos materiais da estrutura é condicionante;
- GEO - Rotura ou deformação excessiva do terreno em que as características resistentes do solo ou da rocha são significativas para a resistência da estrutura;
- FAT - Rotura por fadiga da estrutura ou dos elementos estruturais.

No caso de verificação de segurança em relação aos E. L. U., o EC0 considera as seguintes combinações de ações para cada situação de projeto:

Situações de projeto persistentes ou transitórias (EC0 §6.4.3.2 EQ6.10)

$$E_d = \sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (5.1)$$

Situações de projeto acidentais (EC0 §6.4.3.3 EQ6.11b)

$$E_d = \sum G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ ou } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (5.2)$$

Situações de projeto sísmicas (EC0 §6.4.3.4 EQ6.12b)

$$E_d = \sum G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (5.3)$$

5.1.2.2. Estados limites de utilização (E. L. Utilização)

No caso de verificação de segurança em relação aos E. L. de Utilização o EC0 considera três tipos de combinações de ações:¹³

Combinação característica (EC0 §6.5.3a) EQ6.14b)

$$E_d = \sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (5.4)$$

Combinação frequente (EC0 §6.5.3b) EQ6.15b)

$$E_d = \sum G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (5.5)$$

Combinação quase permanente (EC0 §6.5.3c) EQ6.16b)

$$E_d = \sum G_{k,j} + \psi_{2,1} Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (5.6)$$

¹³ Para os estados limites de utilização, os coeficientes parciais relativos às ações deverão ser tomadas iguais a 1,0.

5.1.3. Coeficientes de segurança das ações

Os coeficientes de segurança adotados no EC0 para os E. L. U. de equilíbrio estático (EQU) das estruturas de edifícios encontram-se na Tabela 5.1 e 5.2.

Tabela 5.1 – Coeficientes de segurança das ações (EC0 QA1.2(A) NOTA1) – EQU

Coeficientes de segurança		
γ_G	com efeito desfavorável	1,10
	com efeito favorável	0,90
γ_Q	com efeito desfavorável	1,50
	com efeito favorável	0

Tabela 5.2 - Coeficientes de segurança das ações (EC0 QA1.2(A) NOTA2) – EQU

Coeficientes de segurança		
γ_G	com efeito desfavorável	1,35
	com efeito favorável	1,15
γ_Q	com efeito desfavorável	1,50
	com efeito favorável	0

E os coeficientes de segurança para o projeto dos elementos estruturais (STR) encontram-se na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Coeficientes de segurança das ações (EC0 QA1.2(B)) – STR

Coeficientes de segurança		
γ_G	com efeito desfavorável	1,35
	com efeito favorável	1,00
γ_Q	com efeito desfavorável	1,50
	com efeito favorável	0

No caso de projeto de elementos estruturais que envolva ações geotécnicas (GEO) deve-se consultar a Tabela 5.3 e a Tabela 5.4 consoante a abordagem a adotar (ver artigo A1.3.1(5)).

Tabela 5.4 - Coeficientes de segurança das ações (EC0 QA1.2(C)) – GEO

Coeficientes de segurança		
γ_G	com efeito desfavorável	1,00
	com efeito favorável	1,00
γ_Q	com efeito desfavorável	1,30
	com efeito favorável	0

5.2. Ações Térmicas (EC1.1.5)

5.2.1. Representação das ações

As variações diárias e sazonais da temperatura do ar à sombra, a radiação solar, a radiação reemitida, etc., provocam variações na distribuição da temperatura nos elementos individuais de uma estrutura. (EC1.1.5 §4)

A intensidade dos efeitos térmicos depende das condições climáticas locais, assim como da orientação da estrutura, da sua massa total, dos seus acabamentos e, no caso de estruturas de edifícios, das condições de aquecimento e ventilação e do isolamento térmico.

A distribuição da temperatura num dado elemento estrutural poderá ser decomposta em quatro componentes essenciais:

- Componente da variação uniforme de temperatura (ΔT_u);
- Componente linear da variação diferencial de temperatura ao longo do eixo z (ΔT_{MY});
- Componente linear da variação diferencial de temperatura ao longo do eixo y (ΔT_{MZ});
- Componente não linear da variação diferencial de temperatura (ΔT_E).

NOTA: Para a determinação dos efeitos da ação térmica deverão utilizar-se os coeficientes de dilatação linear dos materiais.

5.2.2. Variações de temperatura em edifícios

As ações térmicas em edifícios devidas a variações de temperatura climáticas e operacionais são determinadas com base em princípios e regras tendo em conta a experiência e os dados nacionais (regionais). (EC1.1.5 §5.2(1))

Os efeitos climáticos devem ser determinados considerando as variações de temperatura do ar à sombra e da radiação solar. De acordo com as várias componentes da temperatura num elemento que foram referidas anteriormente, as ações térmica climáticas e operacionais são especificadas utilizando as seguintes grandezas (EC1.1.5 §5.2(3)):

- Componente da variação uniforme de temperatura, ΔT_u , obtida pela diferença entre a temperatura média, T , de um elemento e a sua temperatura inicial, T_0 (EC1.1.5 EQ5.1):

$$\Delta T_u = T - T_0 \quad (5.7)$$

- Componente linear da variação diferencial de temperatura, ΔT_M , obtida pela diferença entre as temperaturas nas superfícies exterior e interior de uma secção transversal:

$$\Delta T_M = T_{out} - T_{in} \quad (5.8)$$

- Uma diferença de temperatura entre as diversas partes de uma estrutura, ΔT_P , obtida pela diferença entre as temperaturas médias dessas partes.¹⁴

5.2.2.1. Determinação dos perfis de temperatura

De acordo com o artigo 5.3, a temperatura T é determinada como sendo a temperatura média de um elemento estrutural, no Inverno ou no Verão, utilizando um perfil de temperatura. No caso de um elemento composto, T é a temperatura média de uma determinada camada.¹⁵

$$T = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \quad (5.9)$$

A temperatura do ambiente interior, T_{in} , é determinada através da Tabela 5.5 em que se obtém a temperatura interior no Verão, T_1 , e a temperatura interior no Inverno, T_2 .

Tabela 5.5 – Temperatura interior no Verão, T_1 , e no Inverno, T_2 (EC1.1.5 QNA-5.1)

Estação	Temperatura T_{in}
Verão	$T_1 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
Inverno	$T_2 = 18 \text{ }^\circ\text{C}$

¹⁴ Além de ΔT_u , ΔT_M e ΔT_P os efeitos locais das ações térmicas deverão ser considerados sempre que for pertinente.

¹⁵ Quando se trata de elementos com uma única camada e quando as condições ambientais em ambos os lados são semelhantes, T poderá ser determinado como sendo a média das temperaturas do ambiente interior, T_{in} , e exterior, T_{out} .

A temperatura do ambiente exterior, T_{out} , é determinada através da consulta de uma das duas tabelas consoante se trata de zonas acima do solo ou zonas enterradas. A tabela correspondente a zonas acima do solo é a Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Temperatura do ambiente exterior para zonas acima do solo (EC1.1.5 QNA-5.2)

Estação	Factor significativo		Temperatura T_{out} em °C
Verão	Absorvidade relativa dependente da cor da superfície	0,5 superfície clara brilhante	$T_{max} + T_3$
		0,7 superfície de cor clara	$T_{max} + T_4$
		0,9 superfície escura	$T_{max} + T_5$
Inverno			T_{min}
Devem utilizar-se os seguintes valores: $T_3 = 0 \text{ °C}; T_4 = 2 \text{ °C}; T_5 = 5 \text{ °C}$ Os valores de T_{out} assim obtidos, são válidos para superfícies horizontais ou viradas a Oeste. Para ter em conta outras orientações da superfície, o valor T_{out} pode ser multiplicado pelo coeficiente η obtido a partir da seguinte expressão empírica: $\eta = 0,9 + 0,1 \times \text{sen}[(\beta / 360^\circ)^{2,5} \times 360^\circ - 90^\circ]$ onde β representa o ângulo, em graus, que a normal exterior do elemento estrutural faz com o Norte, medido no sentido horário (ex.: N $\rightarrow \beta = 0^\circ$; S $\rightarrow \beta = 180^\circ$; SO $\rightarrow \beta = 225^\circ$).			

Nesta tabela obtém-se três expressões para a obtenção da temperatura exterior no Verão com base na cor da superfície das fachadas do edifício e apenas uma expressão para a temperatura exterior no Inverno.

Os valores obtidos diretamente da tabela são válidos para superfícies horizontais ou viradas a Oeste, para ter em conta outras orientações da superfície, o valor T_{out} pode ser multiplicado pelo coeficiente η cuja expressão se encontra na tabela.

As temperaturas mínimas, T_{min} , e máximas, T_{max} , do ar à sombra são definidas, para o território nacional, por zonas e encontram-se nos anexos 7, 8, 9 e 10 (EC1.1.5 QNA.I, FNA.I, QNA.II e FNA.II).

Os valores encontram-se referidos à cota zero, pelo que para obter os valores a cotas diferentes se deve subtrair 0,5°C por cada 100 m de altitude ao valor fornecido para T_{min} para as condições de Inverno e 1,0°C por cada 100 m de altitude ao valor fornecido para T_{max} para as condições de Verão.

Relativamente a zonas enterradas consulta-se a Tabela 5.7 em que se obtém o valor de T_{out} para o Verão e o Inverno com base na profundidade abaixo do solo (inferior ou superior a 1 m).

Tabela 5.7 - Temperatura do ambiente exterior para zonas abaixo do solo (EC1.1.5 QNA-5.3)

Estação	Profundidade abaixo do solo	Temperatura T_{out}
Verão	Inferior a 1m	$T_6 = 18 \text{ °C}$
	Superior a 1m	$T_7 = 15 \text{ °C}$
Inverno	Inferior a 1m	T_8
	Superior a 1m	T_9
No Inverno os valores de T_8 e T_9 dependem da zona em que se encontra o edifício. A delimitação das zonas A, B e C encontra-se definida em NA-A.1(1).		
	Profundidade:	Zona A Zona B Zona C
	Inferior a 1 m (T_8)	0 °C 5 °C 10 °C
	Superior a 1 m (T_9)	3 °C 8 °C 13 °C

No que diz respeito ao valor da temperatura inicial de um elemento estrutural no momento em que são introduzidos constrangimentos, T_0 , pode referir-se que o valor da temperatura média de uma estrutura é muito semelhante ao valor da temperatura média do ar no local da obra. Se não existirem informações acerca da temperatura média do ar durante o período de construção pode-se considerar T_0 como 15°C (EC1.1.5 NA.2.3 m)).

5.3. Ação do vento (EC1.1.4)

5.3.1. Introdução ao EC1.1.4

O Eurocódigo 1 Parte 1-4 (Ações em estruturas – Ações do vento) fornece orientações relativamente à determinação das ações do vento natural para o projeto estruturas de edifícios e de outras obras de engenharia civil, para cada uma das áreas submetidas àquelas ações, isto é, conjunto ou partes da estrutura (paredes ou telhados) ou elementos ligados a esta (chaminés).

A determinação do efeito da ação do vento torna-se difícil para todos os diferentes tipos de estruturas pois cada um requer diferentes tipos de informação relativamente à ação do vento. Assim, a presente norma aplica-se apenas a edifícios e outras obras de engenharia civil com alturas até 200 m e a pontes em que nenhum tramo tenha um vão superior a 200 m (desde que cumpram os critérios relativos à resposta dinâmica).

A norma exclui os seguintes aspetos: vibrações de torção em construções, vibrações de tabuleiros de pontes devidas à turbulência transversal do vento, ações do vento em pontes suspensas ou de tirantes e vibrações em que é necessário considerar o modo para além do fundamental. (Vítor Barreto, 2011)

É de anotar que o EC1.1.4 não pode ser implementado sem o acompanhamento do Anexo Nacional do local onde o edifício vai ser construído¹⁶. O Anexo Nacional auxilia e serve de orientação proporcionando condições físicas e climáticas características de cada região do país em estudo. Engloba o mapa dos ventos, valores e parâmetros nacionais e regulamentos da região em causa (Cook, N. – *Designer guide to the Eurocodes*).

O regulamento é ainda composto por um conjunto de anexos que permitem de forma simplificada definir um conjunto de características da ação do vento bem como algumas propriedades dinâmicas dos edifícios.

5.3.2. Introdução à ação do vento

Devido à natureza climática da ação do vento, esta ação tem uma componente média e outra componente flutuante associada à turbulência do vento, e faz com que este dependa numa dada zona, da estação do ano, da zona do País, da altitude e topografia, parâmetros que influenciam o valor da velocidade básica do vento.

Para cada edifício a ação do vento depende da existência de obstáculos próximos deste, ou seja, da rugosidade do terreno, da orografia do local, da altura do edifício, da direção do vento, da forma e dimensões do edifício e das propriedades dinâmicas da estrutura. (Vítor Barreto, 2011)

Situação de Projeto

Segundo o EC0 a ação do vento tem que ser considerada nas situações de projeto persistentes e transitórias em que a ação do vento pode ser a ação principal ou acompanhante (EC0 §6.4.3.2).

Exclui-se a situação de projeto sísmica visto a parcela quase permanente da ação do vento ser nula ($\psi_2=0$) (EC0 QA1.1).

¹⁶ Este acompanhamento do NA com o EC1.1.4 deverá ser efetuado até ser lançado o regulamento efetivo que será um prazo de cerca de 5 anos.

Em Portugal considera-se que a ação da neve ou gelo não altera a forma e consequentemente os coeficientes de pressão exterior (EC1.1.4 NA2.3o)).

5.3.3. Modelação das ações do vento

Segundo o artigo 3, para a determinação da resposta das estruturas ao efeito do vento é necessário calcular os seguintes componentes:

- Pressão dinâmica de pico, q_p , à altura de referência no campo de escoamento não perturbado, z ;
- Coeficientes de força, c_f , e de pressão, c_p ;
- Coeficiente estrutural, $c_s c_d$.

A ação do vento deverá ser classificada como ação variável fixa.

5.3.3.1. Velocidade do vento

Como foi referido anteriormente, a velocidade do vento compreende uma componente média e uma componente flutuante.

Componente média

A componente média, v_m , é determinada a partir do valor de referência da velocidade do vento, v_b , o qual depende do regime local de ventos e da variação do vento em função da altura, determinada a partir da rugosidade do terreno e da orografia. A componente flutuante do vento é caracterizada pela intensidade de turbulência, I .

Valores de referência (EC1.1.4 §4.2)

O valor de referência da velocidade do vento, v_b , é definido em função da direção do vento e da época do ano a uma altura de 10 m acima da superfície de um terreno de categoria II. Este parâmetro é calculado através da seguinte expressão (EC1.1.4 EQ4.1):

$$v_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_{b,0} \quad (5.10)$$

O valor básico da velocidade de referência do vento, $v_{b,0}$, é o valor característico da velocidade média do vento referida a períodos de 10 min, independentemente da direção do vento e da época do ano, a uma altura de 10 m acima do nível do solo, em terreno de categoria II¹⁷. Estes valores têm uma probabilidade anual de serem excedidos de 0,02, o que equivale a um período de retorno de 50 anos.

Para efeitos da quantificação do valor básico da velocidade de referência do vento, $v_{b,0}$, considera-se o País dividido em duas zonas (A e B) e é atribuído um valor de $v_{b,0}$ a cada zona consultando a Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Valor básico da velocidade de referência do vento para a zona A e B (EC)

Zona do território	$v_{b,0}$ [m/s]
A - a generalidade do território	27
B - Açores, Madeira, continente em faixa costeira de 5KM ou altitude > 600m	30

O valor recomendado para o coeficiente de direção, c_{dir} , para diferentes direções do vento é 1,0 (EC1.1.4 §4.2 NOTA 2).

O valor recomendado para o coeficiente de sazão, c_{season} , é 1,0 (EC1.1.4 §4.2 NOTA 3).

Velocidade média do vento (EC1.1.4 §4.3)

A velocidade média do vento a uma altura z acima do solo, $v_{m(z)}$, depende da rugosidade do terreno, $c_{r(z)}$, da orografia, $c_{o(z)}$, e do valor de referência da velocidade do vento, v_b , e é determinada através da seguinte expressão (EC1.1.4 EQ4.3):

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_o(z) \times v_b \quad (5.11)$$

O coeficiente de rugosidade do terreno, $c_{r(z)}$, tem em conta a variabilidade da velocidade média do vento no local da construção em resultado da altura acima do nível do solo e da rugosidade do terreno a barlavento da construção, na direção do vento considerada.

¹⁷ O terreno é classificado em diferentes categorias (consultar o anexo 11).

Assim, de modo a obter a rugosidade do terreno é necessário atribuir uma categoria ao terreno através da consulta do anexo 11¹⁸ onde se retira também o comprimento de rugosidade (z_0) e a altura mínima (z_{\min}) para cada tipo de terreno.

Por fim calcula-se a rugosidade do terreno através da seguinte expressão (EC1.1.4 EQ4.4):

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{para } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad (5.12)$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad \text{para } z \leq z_{\min} \quad (5.13)$$

O coeficiente do terreno, k_r , dependente do comprimento de rugosidade, z_0 , é calculado pela seguinte expressão (EC1.1.4 EQ4.5):¹⁹

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} \quad (5.14)$$

A seguinte figura permite a obtenção direta do coeficiente de rugosidade do terreno:

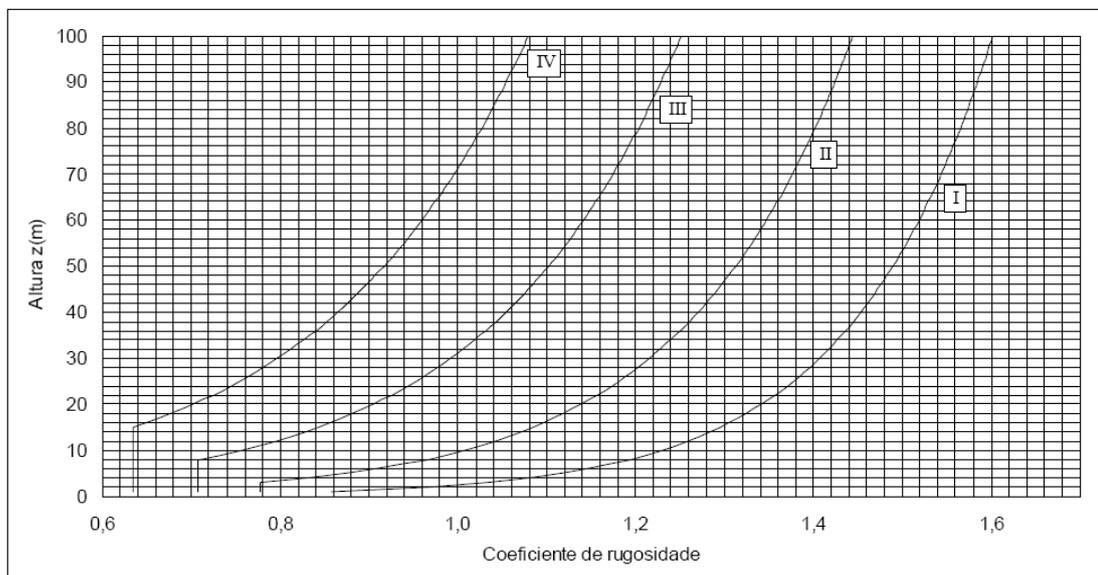


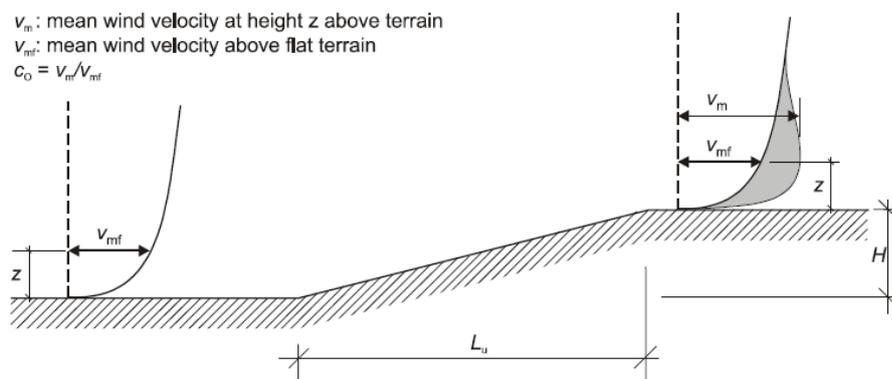
Figura 5.1 – Coeficiente de rugosidade do terreno em função da altura da construção e da categoria do terreno (EC1.1.4 FNA.I)

¹⁸ No caso em que numa zona seja possível escolher duas rugosidades prevalece a de menor categoria.

¹⁹ O valor de z_0 corresponde ao comprimento de rugosidade do terreno e $z_{0,II}$ corresponde ao comprimento de rugosidade para um terreno de categoria II. Estes valores são obtidos consultando o anexo 11.

O coeficiente de orografia, $c_{o(z)}$, é obtido consultando o Anexo A.3 do EC1.1.4. Este coeficiente tem em conta o aumento da velocidade média do vento sobre colinas isoladas e escarpas estando relacionado com a velocidade do vento na base das mesmas. Em colinas isoladas ou em cadeia, ou em falésias e escarpas, a velocidade do vento varia em função da inclinação do terreno da vertente a barlavento.

A seguinte figura ilustra o aumento da velocidade do vento devido à orografia do terreno, sendo o coeficiente de orografia determinado em função da inclinação da vertente (na direção do vento) virada a barlavento, ϕ . Este valor é determinado através do quociente H/L_u .



Legenda:

mean wind velocity at height z above terrain	velocidade média do vento à altura z acima do solo
mean wind velocity above flat terrain	velocidade média do vento sobre terreno plano

Figura 5.2 – Ilustração do aumento da velocidade do vento devido à orografia (EC1.1.4 FA.1)

Consoante a inclinação da vertente, o coeficiente de orografia apresenta valores diferentes que são calculados em função do coeficiente s que é determinado consultando a Figura A.2 e A.3 do Anexo A3 do EC1.1.4. Os coeficientes de orografia podem ser calculados pelas seguintes expressões:

- $0,05 < \phi < 0,3 \rightarrow c_o = 1 + 2.s.\phi$
- $\phi > 0,3 \rightarrow c_o = 1 + 0,6.s$

Os efeitos da orografia poderão ser desprezados ($c_{o(z)}=1,0$) quando o declive médio do terreno a barlavento é inferior a 3° ou $\phi < 0,05$ sendo que o terreno a barlavento poderá ser considerado até uma distância de 10 vezes a altura do elemento orográfico isolado, ou seja, $L_u \leq 10H$. (Vitor Barreto, 2011)

Componente flutuante (EC1.1.4 §4.4)

A componente flutuante da velocidade do vento resulta da turbulência do vento, $I_{v(z)}$, e é definida como o quociente entre o desvio padrão da turbulência e a velocidade média do vento.

As regras recomendadas para a determinação da turbulência do vento são fornecidas pelas seguintes expressões (EC1.1.4 EQ4.7):

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \text{ para } z_{\min} < z < z_{\max} \quad (5.15)$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \text{ para } z < z_{\min} \quad (5.16)$$

O desvio padrão, σ_v , é determinado pela seguinte expressão (EC1.1.4 EQ4.6):

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_I \quad (5.17)$$

O valor do coeficiente de turbulência, k_I , recomendado é igual a 1,0.

O valor do coeficiente de terreno dependente do comprimento de rugosidade, z_0 , é calculado pela expressão 5.14.

5.3.4. Pressão dinâmica

De acordo com o artigo 4.5, a pressão dinâmica de pico à altura z , $q_p(z)$, resulta da velocidade média, $v_m(z)$, e das flutuações de curta duração, $I_{v(z)}$, da velocidade do vento e é calculada pela seguinte expressão (EC1.1.4 EQ4.8):²⁰

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad (5.18)$$

A massa volúmica do ar, ρ , a qual depende da altitude, da temperatura e da pressão atmosférica previstas para a região durante situações de vento intenso é considerada igual a 1,25 kg/m³. O coeficiente de exposição, $c_e(z)$, é calculado pela seguinte expressão (EC1.1.4 EQ4.9):

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} \quad (5.19)$$

²⁰ O valor 7 na expressão baseia-se num fator de pico igual a 3,5 e é consistente com os valores dos coeficientes de pressão e de força.

Nos casos em que o coeficiente de orografia, $c_{0(z)}$, e o coeficiente de turbulência, k_t , são iguais a 1,0 deve-se consultar a seguinte figura que se encontra no Anexo Nacional para obter o coeficiente de exposição, $c_{e(z)}$, em função da altura acima do solo, z , e da categoria do terreno.

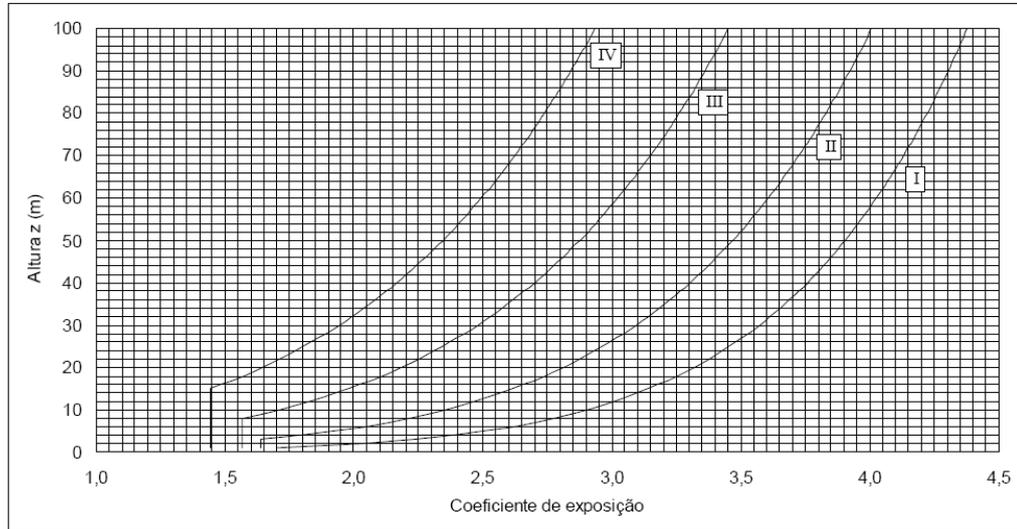


Figura 5.3 - Coeficiente de exposição do terreno em função da altura da construção e da categoria do terreno (EC1.1.4 FNA-4.2)

A pressão dinâmica de referência, q_b , é calculada pela seguinte expressão (EC1.1.4 EQ4.10):

$$q_b(z) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (5.20)$$

5.3.5. Ações do vento

As ações do vento sobre as construções e os elementos das construções devem ser determinadas tendo em conta tanto as pressões exteriores como as pressões interiores devidas ao vento. (EC1.1.4 §5.1)

A ação do vento sobre as construções pode ser representada por “pressões exercidas pelo vento” em superfícies quando estas apresentam uma área superior a 10 m^2 ou por “forças exercidas pelo vento” quando a área é inferior a 1 m^2 . As primeiras são utilizadas para o dimensionamento da estrutura principal e as segundas para o dimensionamento de elementos secundários, componentes da construção e suas fixações. (Vítor Barreto, 2011)

5.3.5.1. Pressão exercida pelo vento em superfícies

A pressão exercida sobre as superfícies é obtida somando vectorialmente as componentes exterior e interior tendo em conta os seus sinais pela seguinte expressão:

$$\vec{w} = \vec{w}_e + \vec{w}_i \quad (5.21)$$

Uma pressão exercida contra a superfície é considerada positiva enquanto que uma sucção, atuando com um sentido que se afasta da superfície, é considerada negativa. A seguinte figura ilustra estas duas situações de pressão e sucção.

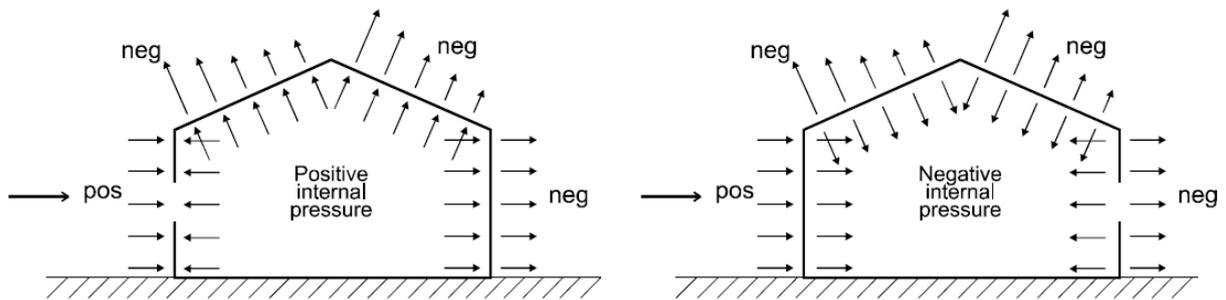


Figura 5.4 – Ilustração do sinal de pressão e sucção nas superfícies de uma construção (EC1.1.4 F5.1)

A pressão exercida pelo vento nas superfícies exteriores, w_e , é obtida pela seguinte expressão (EC1.1.4 EQ5.1):

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (5.22)$$

E a pressão exercida pelo vento nas superfícies interiores, w_i , é obtida pela seguinte expressão (EC1.1.4 EQ5.2):

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad (5.23)$$

As alturas de referência para a pressão exterior, z_e , e para a pressão interior, z_i , são determinadas através da consulta do anexo 12 em função de duas altura h e b . Os coeficientes de pressão exterior, c_{pe} , e interior, c_{pi} , serão abordados no capítulo 5.3.7.

5.3.5.2. Forças exercidas pelo vento

As forças exercidas pelo vento sobre o conjunto da construção ou sobre um elemento são determinadas a partir de coeficientes de força ou das pressões nas superfícies.

Relativamente à obtenção das forças exercidas pelo vento, F_w , a partir dos coeficientes de força aplica-se uma das seguintes expressões (EC1.1.4 EQ5.3 e EQ5.4):²¹

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (5.24)$$

$$F_w = c_s c_d \cdot \sum_{\text{elementos}} c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (5.25)$$

A força exercida pelo vento também pode ser determinada pelas pressões nas superfícies e consiste na soma vectorial das forças $F_{w,e}$, $F_{w,i}$ e F_{fr} calculadas a partir das pressões exteriores, interiores e as forças de atrito (resultantes do atrito do vento paralelamente às superfícies exteriores)²². Estas forças são calculadas através das seguintes expressões (EC1.1.4 EQ5.5, EQ5.6 e EQ5.7):

$$F_{w,e} = c_s c_d \cdot \sum_{\text{superfícies}} w_e \cdot A_{ref} \quad (5.26)$$

$$F_{w,i} = \sum_{\text{superfícies}} w_i \cdot A_{ref} \quad (5.27)$$

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr} \quad (5.28)$$

O coeficiente estrutural, $c_s c_d$, será abordado no capítulo 5.3.6. O coeficiente de força, c_f , relativo à construção ou ao elemento de construção são fornecidos no Artigo 7 e 8 do EC1.1.4. A área de referência, A_{ref} , é a área da superfície da construção ou do elemento de construção e está indicada no Artigo 7 e 8.

²¹ A primeira expressão aplica-se quando se pretende determinar a força exercida sobre uma construção ou um seu componente, a segunda admite a soma dos elementos individuais da construção.

²² Os efeitos do atrito do vento sobre a superfície podem ser ignorados quando a área total de todas as superfícies paralelas (ou pouco inclinadas) em relação ao vento é igual ou inferior a 4 vezes a área total de todas as superfícies exteriores perpendiculares ao vento.

O coeficiente de atrito, c_{fr} , é determinado pelo Quadro 7.10 do artigo 7.5 e é em função do tipo de superfície das paredes, platibandas e coberturas (lisa, rugosa ou muito rugosa). A área de superfície exterior paralela ao vento, A_{fr} , está indicada na Figura 7.22 do Artigo 7.5.

5.3.6. Coeficiente estrutural $c_s c_d$

O coeficiente estrutural pretende avaliar a possível interação entre o comportamento da estrutura e a ação do vento, ou seja, a resposta da estrutura ao vento, sobretudo se é de caráter dinâmico. (Vítor Barreto, 2011)

Assim, deverá ter em conta o efeito nas ações do vento da não simultaneidade na ocorrência das pressões de pico sobre a superfície, c_s , em conjunto com as vibrações da estrutura devidas à turbulência, c_d . (EC1.1.4 §.6.1)

Existem casos em que o processo para a determinação do coeficiente estrutural é dispensado e portanto considerado igual a 1,0. Esta situação resulta do tamanho reduzido dos edifícios ou elementos do edifício e do baixo efeito dinâmico sendo que estes dois parâmetros tendem a compensar-se um ao outro. (Cook, N. – *Designer guide to the Eurocodes*)

Isto aplica-se a:

- Edifícios de altura inferior a 15 m;
- Elementos de fachada e de cobertura com frequência própria inferior a 5 Hz;
- Estruturas porticadas, com paredes resistentes, com altura inferior a 100 m e inferior a 4 vezes a dimensão do edifício na direção do vento;
- Chaminés de secções transversais circulares com altura inferior a 60 m e inferior a 6,5 vezes o seu diâmetro.

Para os restantes casos determina-se este coeficiente pelo Artigo 6.3.1 ou pelo Anexo D do EC1.1.4. (EC1.1.4 §.6.2)

5.3.7. Coeficiente de pressão e de força

Os coeficientes aerodinâmicos, de pressão e de força, são definidos para ter em conta os efeitos aerodinâmicos nas estruturas devido à ação do vento. Estes coeficientes dependem apenas da

forma externa das estruturas e são independentes da localização. (Cook, N. – *Designer guide to the Eurocodes*)

Consoante a construção em causa, segundo o artigo 7, os coeficientes aerodinâmicos adequados são:

- Coeficientes de pressão interior e exterior;
- Coeficientes de pressão resultante;
- Coeficientes de atrito;
- Coeficientes de força.

5.3.7.1. Coeficientes de pressão para edifícios

Os coeficientes de pressão para edifícios encontram-se divididos em coeficientes de pressão exterior, c_{pe} , e coeficientes de pressão interior, c_{pi} . De seguida encontra-se explicado o processo de cálculo destes parâmetros.

Coeficientes de pressão exterior, c_{pe}

Os coeficientes de pressão exterior, c_{pe} , repartem-se por coeficientes globais e coeficientes locais consoante as dimensões da superfície carregada. Os coeficientes locais, $c_{p,1}$, são utilizados para o cálculo de superfícies com área inferior a 1 m^2 , de elementos de pequena dimensão e de ligações. Os coeficientes globais, $c_{p,10}$, são utilizados para o cálculo de superfícies com área superior a 10 m^2 e da estrutura resistente global de edifícios. Para superfícies de área entre 1 e 10 m^2 o coeficiente de pressão é obtido por interpolação. Aplica-se a seguinte expressão (EC1.1.4 §7.2.1 NOTA2):

$$c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \log_{10} A \quad (5.29)$$

A Norma fornece coeficientes de pressão exterior para os seguintes casos e é atribuído um quadro para cada caso com os respetivos coeficientes $c_{p,1}$ e $c_{p,10}$ que se encontram nos anexos:²³

- Beirados de coberturas (EC1.1.4 §7.2.1(3))

²³ Os valores dos coeficientes nos quadros deverão ser utilizados para as direções ortogonais do vento 0° , 90° , 180° e 270° . Estes valores correspondem aos mais desfavoráveis de entre os obtidos numa gama de direções do vento ($\theta \pm 45^\circ$) para cada lado da direção ortogonal considerada.

- Paredes verticais de edifícios de planta retangular (EC1.1.4 F7.5 e Q7.1) – ver anexo 13 e 14
- Coberturas em terraço (EC1.1.4 F7.6 e Q7.2) – ver anexo 15 e 16
- Coberturas de uma vertente (EC1.1.4 F7.7, Q7.3a e Q7.3b) – ver anexo 17, 18 e 19
- Coberturas de duas vertentes (EC1.1.4 F7.8, Q7.4a e Q7.4b) – ver anexo 20, 21 e 22
- Coberturas de quatro vertentes (EC1.1.4 F7.9 e Q7.5) – ver anexo 23 e 24
- Coberturas múltiplas (EC1.1.4 F7.10) – ver anexo 25
- Coberturas em abóboda e cúpulas (EC1.1.4 F7.11 e F7.12) – ver anexo 26 e 27

Coeficientes de pressão interior, c_{pi}

Segundo o artigo 7.2.9, as pressões interiores e exteriores atuam simultaneamente e deve ser considerada a combinação mais desfavorável das pressões para cada combinação de possíveis aberturas e outras vias de passagem de ar.

O coeficiente de pressão interior, c_{pi} , é obtido tendo em conta a distribuição e dimensão das aberturas na face predominante. A face predominante corresponde à situação em que a área das aberturas nessa face é pelo menos o dobro da área das aberturas ou permeabilidade das outras faces do edifício. Existem assim quatro casos para a obtenção do c_{pi} :

- **Caso 1:** A área das aberturas na face predominante é igual ao dobro da área das aberturas nas faces restantes. Obtém-se pela seguinte expressão (EC1.1.4 EQ7.1):²⁴

$$c_{pi} = 0,75.c_{pe} \quad (5.30)$$

- **Caso 2:** A área das aberturas na face predominante é igual a, pelo menos, três vezes a área das aberturas nas faces restantes. Obtém-se pela seguinte expressão (EC1.1.4 EQ7.2):

$$c_{pi} = 0,90.c_{pe} \quad (5.31)$$

²⁴ O c_{pe} é o valor do coeficiente de pressão exterior ao nível das aberturas na face predominante. Quando estas aberturas se localizam em zonas com valores diferentes das pressões exteriores deverá utilizar um valor médio, ponderado em área, para c_{pe} .

- **Caso 3:** A área das aberturas na face predominante está compreendida entre duas e três vezes a área das aberturas nas faces restantes. Efetua-se uma interpolação linear para o cálculo do c_{pi} .
- **Caso 4:** Edifícios sem face predominante. O c_{pi} é determinado através do anexo 28 sendo função do quociente entre a altura, h , e a profundidade do edifício, d , do índice de aberturas, μ , e da direção do vento, θ . O índice de aberturas, μ , é obtido pela seguinte expressão (EC1.1.4 EQ7.3):

$$\mu = \frac{\sum \text{área.das.aberturas.em.que.cpe.é.negativo.ou.} - 0,0}{\sum \text{área.de.todas.as.aberturas}} \quad (5.32)$$

Quando não é possível calcular o valor de μ ou o cálculo não se considera justificado o c_{pi} a adotar é o valor mais gravoso, isto é, entre $c_{pi}=+0,2$ e $c_{pi}=-0,3$.

O coeficiente de pressão interior para chaminés e para silos abertos é de $-0,60$, e para reservatórios ventilados por aberturas de pequena dimensão é de $-0,60$.

5.3.7.2. Coeficientes de pressão resultante

Deverão ser determinados coeficientes de pressão resultante, $c_{p,net}$, para coberturas isoladas, artigo 7.3, e paredes isoladas, platibandas e vedações, artigo 7.4. (EC1.1.4 §7.1.1(2))

Os coeficientes de pressão resultante consideram o efeito conjunto das pressões exteriores e interiores do vento sobre uma construção, um elemento estrutural ou um componente.

5.3.7.3. Coeficientes de atrito

Os coeficientes de atrito são considerados para paredes e coberturas de grande extensão, as forças resultantes atuam tangencialmente à superfície sobre uma determinada área de referência, A_{fr} . Para paredes e coberturas, os coeficientes de atrito a adotar são fornecidos no anexo 29 (Quadro 7.10 do artigo 7.5). (EC1.1.4 §7.1.1(3))

Os efeitos do atrito do vento sobre a superfície podem ser ignorados quando a área total de todas as superfícies paralelas (ou pouco inclinadas) em relação ao vento é igual ou inferior a 4 vezes a

área total de todas as superfícies exteriores perpendiculares ao vento (nos lados de barlavento e de sotavento). (EC1.1.4 §5.3(4))

5.3.7.4. Coeficientes de força

Segundo o artigo 7.1.1(4), os coeficientes de força fornecem o efeito global do vento sobre uma construção, um elemento estrutural ou um componente considerados no seu todo e incluindo o atrito e são determinados para:

- Painéis de sinalização (EC1.1.4 §7.4.3)
- Elementos estruturais de secção transversal retangular (EC1.1.4 §7.6)
- Elementos estruturais de secção com arestas vivas (EC1.1.4 §7.7)
- Elementos estruturais de secção poligonal regular (EC1.1.4 §7.8)
- Cilindros de base circular (EC1.1.4 §7.9)
- Esferas (EC1.1.4 §7.10)
- Estruturas treliçadas (EC1.1.4 §7.11)
- Bandeiras (EC1.1.4 §7.12)

5.4. Dimensionamento do caso de estudo pelo EC

Neste subcapítulo encontra-se o dimensionamento do caso de estudo novamente considerando duas situações distintas pelos mesmos motivos mencionados no subcapítulo 4.3.

- **Situação 1:** Edifício com simulação de aberturas (portas nas fachadas Este e Oeste abertas);
- **Situação 2:** Edifício sem simulação de aberturas (portas nas fachadas Este e Oeste fechadas).

5.4.1. Combinação de ações

Para o caso em estudo, a expressão a adotar para os estados limites últimos é a indicada para situações de projeto persistentes ou transitórias, isto é, a expressão 5.1. Para os estados limites de utilização recorreu-se à combinação característica, adotando a expressão 5.4.

Os coeficientes de segurança relativos às ações (γ_g e γ_q) que figuram nas combinações de ações para situações de projeto persistentes ou transitórias encontram-se na Tabela 5.3, referentes às situações de projeto persistentes (STR) uma vez que o caso de estudo baseia-se no dimensionamento de um edifício.

Relativamente aos coeficientes a utilizar para obter o valor reduzido de cada ação tem-se:

- Variações uniformes de temperatura: $\psi_0 = 0,6$
- Sobrecargas: $\psi_0 = 0$
- Ação do vento: $\psi_0 = 0,6$

5.4.2. Quantificação de ações

5.4.2.1. Situação 1

5.4.2.1.1. Peso próprio e revestimento

Como foi referido no subcapítulo 2.2 o aço tem um peso volúmico de 77kN/m^3 pelo que o peso próprio é este valor multiplicado pela espessura do elemento. Relativamente ao revestimento, o valor do peso do painel adotado para colocar sobre os perfis é de $0,3\text{ kN/m}^2$.

5.4.2.1.2. Sobrecargas em coberturas

Segundo o EC1 Parte 1-1, para a obtenção do valor da sobrecarga para coberturas é necessário classificar a cobertura de acordo com a sua acessibilidade (EC1.1.1 Q6.9). Para o caso em estudo, a cobertura corresponde à categoria H (coberturas não acessíveis, exceto para operações de manutenção e reparação correntes).

Tabela 5.9 – Classificação de coberturas de acordo com a acessibilidade (EC1.1.1 Q6.9)

Categoria	Utilização específica
H	Coberturas não acessíveis, exceto para operações de manutenção e reparação correntes
I	Coberturas acessíveis com utilizações definidas nas Categorias A a G
K	Coberturas acessíveis para utilizações especiais, tais como aterragem de helicópteros

As sobrecargas para as coberturas desta categoria são indicadas no anexo 30 e retira-se que para q_k poderá ser escolhido entre $0,0 \text{ kN/m}^2$ e $1,0 \text{ kN/m}^2$ e para Q_k na gama $0,9 \text{ kN}$ a $1,5 \text{ kN}$. Os valores recomendados pelo anexo nacional (NA-6.3.4.2 (1)) para q_k é $0,4 \text{ kN/m}^2$ e para Q_k $1,0 \text{ kN}$.

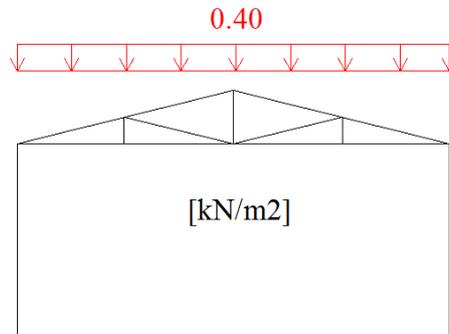


Figura 5.5 – Sobrecarga na cobertura (EC1.1.1)

Os valores reduzidos das sobrecargas a considerar nas coberturas são, em geral, nulos ($\psi=0$) (EC0 QA1.1).

5.4.2.1.3. Ações das variações de temperatura

Os valores reduzidos das variações uniformes de temperatura são obtidos através dos seguintes coeficientes: $\psi_0=0,6$; $\psi_1=0,5$; $\psi_2=0$ (EC0 QA1.1).

A temperatura máxima e mínima do ar à sombra é definida por zonas. Consultando as figuras NA.I e NA.II e os quadros NA.I e NA.II que definem o zonamento térmico para as condições de Inverno e Verão que se encontram no anexo 7, 8, 9 e 10, neste caso o edifício em estudo localiza-se na zona B pois pertence ao concelho de Loulé. Assim, retira-se:²⁵

$$T_{\min} = 0^{\circ} C$$

$$T_{\max} = 40^{\circ} C$$

Para o cálculo da temperatura média de um elemento estrutural, T , resultante das temperaturas climáticas no Verão e no Inverno é necessário determinar a temperatura do ar ambiente interior, T_{in} , e exterior, T_{ext} .

²⁵ Como o edifício em estudo se encontra a uma altitude inferior a 100 m não é necessário efetuar correções a estes valores.

Temperatura do ar ambiente interior (T_{in})

Consultando a Tabela 5.5 retira-se que a temperatura do ar ambiente interior no Verão, T_1 , é 25°C e no Inverno, T_2 , é 18°C.

Temperatura do ar ambiente exterior (T_{ext})

A estrutura em estudo encontra-se acima do solo portanto consultou-se a Tabela 5.6 para obter a temperatura do ar ambiente exterior.²⁶

Tabela 5.10 – Temperatura do ar ambiente exterior para zonas acima do solo para o caso de estudo (EC1.1.5 QNA-5.2)

Estação	Factor significativo		Temperatura T_{out} em °C
Verão	Absorvidade relativa dependente da cor da superfície	0,5 superfície clara brilhante	$T_{max} + T_3$
		0,7 superfície de cor clara	$T_{max} + T_4$
		0,9 superfície escura	$T_{max} + T_5$
Inverno			T_{min}

Devem utilizar-se os seguintes valores:
 $T_3 = 0$ °C; $T_4 = 2$ °C; $T_5 = 5$ °C

Os valores de T_{out} assim obtidos, são válidos para superfícies horizontais ou viradas a Oeste. Para ter em conta outras orientações da superfície, o valor T_{out} pode ser multiplicado pelo coeficiente η obtido a partir da seguinte expressão empírica:

$$\eta = 0,9 + 0,1 \times \text{sen}[(\beta / 360^\circ)^{2,5} \times 360^\circ - 90^\circ]$$

onde β representa o ângulo, em graus, que a normal exterior do elemento estrutural faz com o Norte, medido no sentido horário (ex.: N \rightarrow $\beta = 0^\circ$; S \rightarrow $\beta = 180^\circ$; SO \rightarrow $\beta = 225^\circ$).

Para a situação de Verão obtém-se a seguinte expressão: $T_{out} = T_{max} + T_4$, em que T_4 tem o valor de 2°C. Assim, o valor de T_{out} para superfícies horizontais e orientadas a Oeste têm o valor de 42°C. Para obter o valor da temperatura do ar ambiente exterior nas restantes superfícies (orientadas a Norte, Este e Sul) é necessário efetuar uma correção que consiste em multiplicar o valor T_{out} por um coeficiente η (expressão encontra-se na Tabela 5.10). O coeficiente η é função do ângulo β que define o ângulo entre o Norte e a orientação da fachada em causa.

O seguinte quadro indica o valor de β de cada fachada devidamente orientada, o valor do coeficiente η e o valor final da temperatura do ar ambiente exterior em cada orientação.

²⁶ A superfície das fachadas do edifício em estudo é de cor clara.

Tabela 5.11 – Valores de temperatura do ar ambiente exterior para cada superfície (EC1.1.5)

Orientação	β	η	T_{out} (°C)	
S	180	0,856	35,94	36
N	0	0,800	33,60	34
O	----	1,000	42,00	42
E	90	0,802	33,68	34
Cobertura	----	1,000	42,00	42

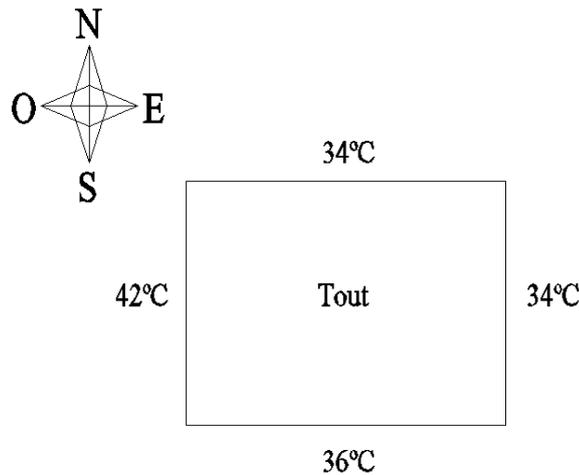


Figura 5.6 – Temperatura do ar ambiente exterior nas fachadas (EC1.1.5)

Para a situação de Inverno $T_{out} = T_{min}$ logo a temperatura do ar ambiente exterior é 0°C em todas as superfícies.

Componente da variação uniforme de temperatura (ΔT_u)

De seguida procedeu-se ao cálculo da componente da variação uniforme de temperatura interior, ΔT_{uin} , e exterior, ΔT_{uext} , para a situação de Verão e de Inverno. Este parâmetro é calculado pela expressão 5.7.

Para tal é necessário determinar a temperatura inicial da estrutura, T_0 , que neste caso corresponde a 15°C uma vez que não existem dados acerca da temperatura média do ar no local da obra.

De seguida encontram-se esquematizados, em planta e em corte, os valores da variação uniforme de temperatura (interior e exterior).

Situação de Verão

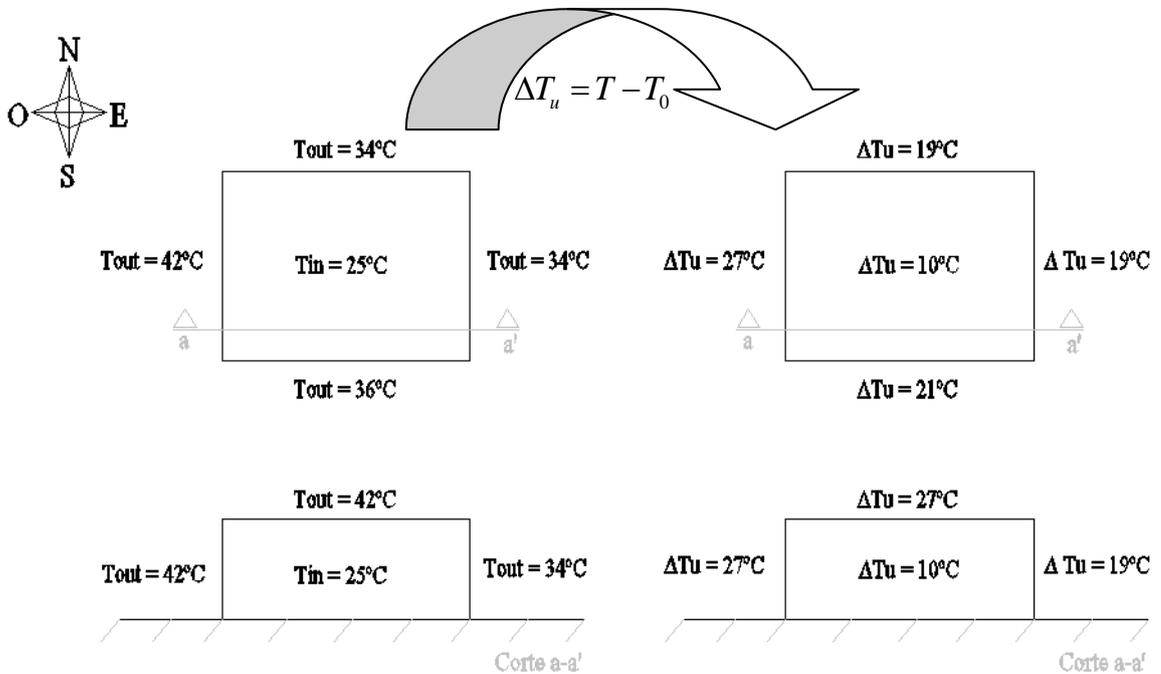


Figura 5.7 – Valores da variação uniforme de temperatura, interior e exterior, no Verão (EC1.1.5)

Situação de Inverno

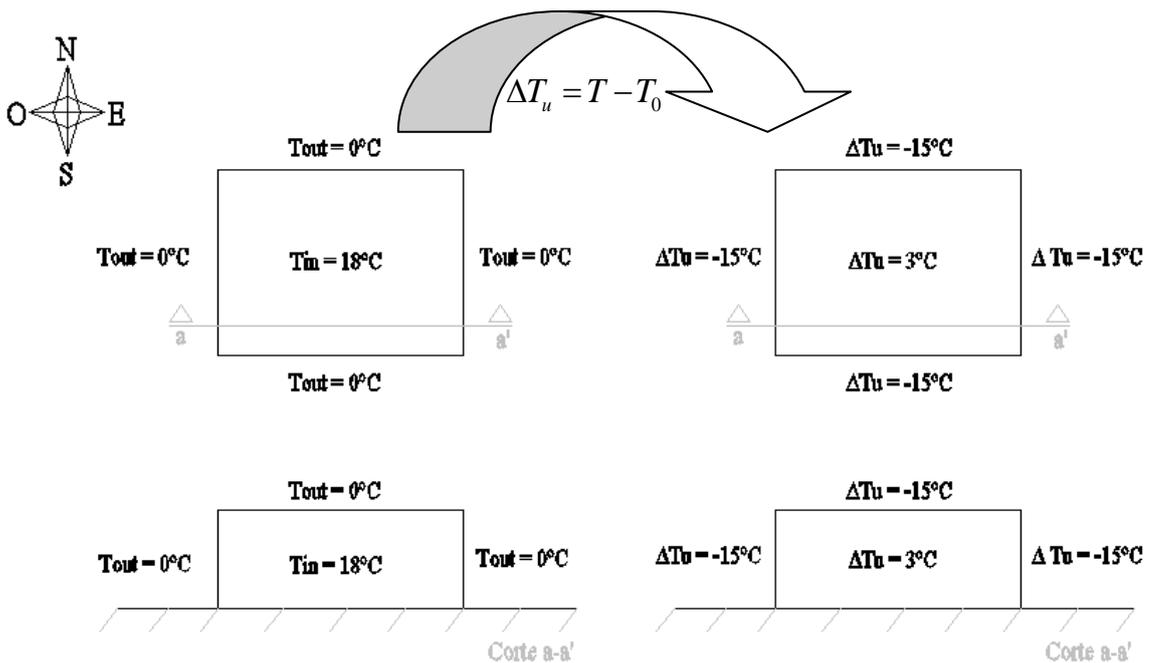


Figura 5.8 - Valores da variação uniforme de temperatura, interior e exterior, no Inverno (EC1.1.5)

Por fim determinou-se a média destes valores (interior e exterior) através da seguinte expressão e obteve-se os valores finais da variação uniforme de temperatura.

$$\Delta T_u = \frac{\Delta T_{uin} + \Delta T_{uout}}{2} \quad (5.33)$$

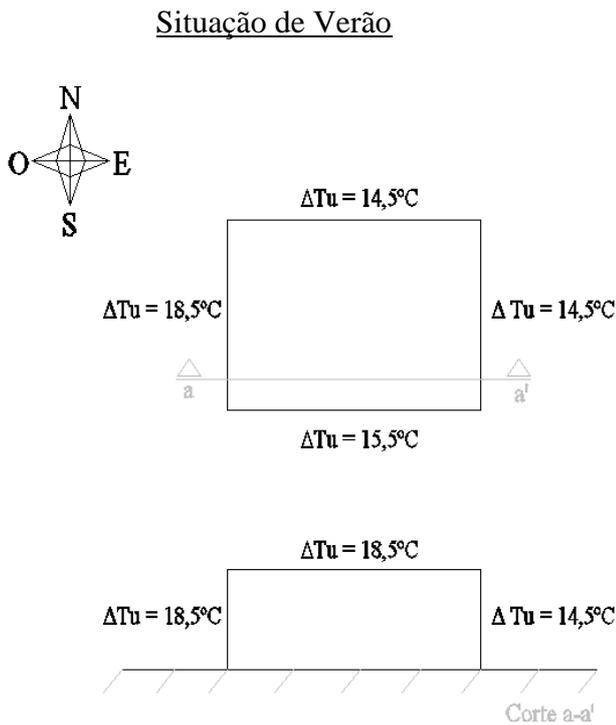


Figura 5.10 - Valores da variação uniforme de temperatura no Verão (EC1.1.5)

Figura 5.9 - Valores da variação uniforme de temperatura no Inverno (EC1.1.5)

Componente linear da variação diferencial de temperatura (ΔT_M)

Relativamente a esta componente, consultando a NOTA 2 do ponto 5.3 do EC1 Parte 1-5, sabe-se que tem um valor desprezável pois os elementos constituintes do edifício em estudo são de uma única camada e as condições ambientais em ambos os lados são semelhantes. Assim, a temperatura média do elemento estrutural, T , é apenas a média das temperaturas do ambiente interior, T_{in} , e exterior, T_{out} , podendo desprezar a componente linear da variação diferencial de temperatura, ΔT_M .

$$\Delta T_M = 0$$

5.4.2.1.4. Ação do vento

Os valores reduzidos da velocidade média do vento são obtidos através dos seguintes coeficientes: $\psi_0=0,6$; $\psi_1=0,2$; $\psi_2=0$. (EC0 QA1.1)

Valores de referência (EC1.1.4 §4.2)

Para o cálculo do valor de referência da velocidade do vento, v_b , é necessário determinar o valor básico da velocidade de referência do vento, $v_{b,0}$. Como o caso de estudo localiza-se numa região do continente situada numa faixa costeira com 5 km de largura (zona B) e consultando a seguinte tabela retira-se que:

Tabela 5.12 – Valor básico da velocidade de referência do vento para zona B (EC1.1.4 QNA.I)

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]
A	27
B	30

$$v_{b,0} = 30 \text{ m/s}$$

O coeficiente de direção, c_{dir} , é 1,0 e o coeficiente de sazão também é 1,0. Assim procede-se ao cálculo do valor de referência da velocidade do vento, v_b , através da expressão 5.10.

$$v_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_{b,0} = 1,0 \times 1,0 \times 30 = 30 \text{ m/s}$$

Vento médio (EC1.1.4 §4.3)

Para o cálculo da velocidade média do vento, v_m , a uma dada altura acima do solo, z , é necessário determinar o coeficiente de rugosidade, c_r , do terreno e o coeficiente de orografia, c_o .

- Coeficiente de rugosidade, c_r (EC1.1.4 §4.3.2)

Primeiramente atribuiu-se uma categoria ao terreno através da consulta do anexo 11.

Tabela 5.13 – Categoria do terreno e respetivo comprimento de rugosidade e altura mínima (EC1.1.4 QNA-4.1)

Categoria de terreno		z_0 [m]	z_{min} [m]
I	Zona costeira exposta aos ventos de mar	0,005	1
II	Zona de vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados (árvores, edifícios) com separações entre si de, pelo menos, 20 vezes a sua altura	0,05	3
III	Zona com uma cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações entre si de, no máximo, 20 vezes a sua altura (por exemplo: zonas suburbanas, florestas permanentes)	0,3	8
IV	Zona na qual pelo menos 15 % da superfície está coberta por edifícios com uma altura média superior a 15 m	1,0	15

NOTA 1: As categorias de terreno II, III e IV estão ilustradas em A.1.
NOTA 2: O coeficiente de rugosidade, $c_r(z)$, é ilustrado na Figura NA.1.

De seguida, sabendo que a altura acima do solo é de 8,5 m, consultou-se a figura 5.1 para a obtenção direta do coeficiente de rugosidade, c_r .

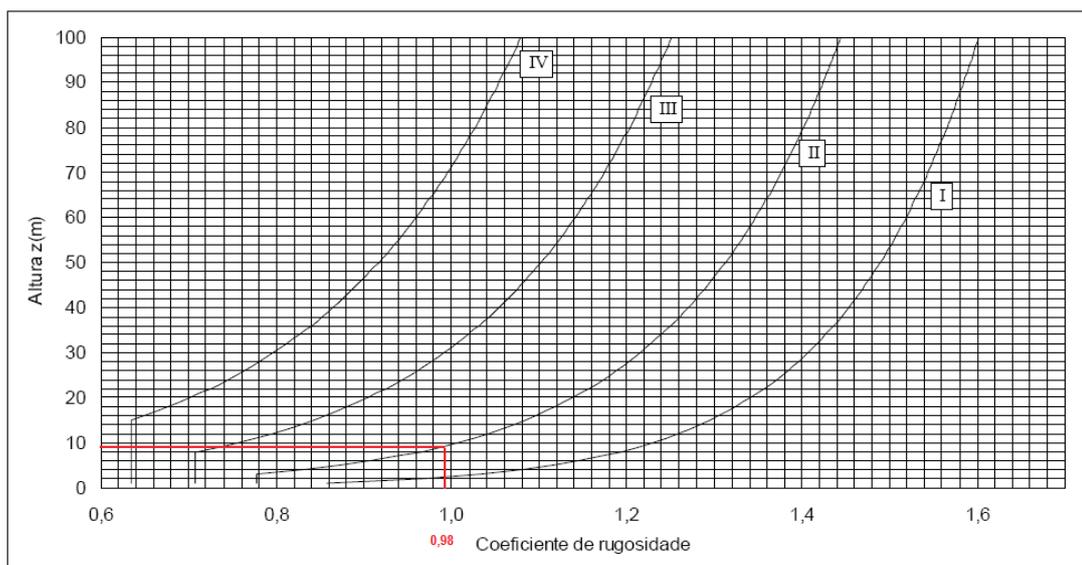


Figura 5.11 – Coeficiente de rugosidade para $z=8,5$ m e terreno de categoria II (EC1.1.4 FNA.1)

$$c_r(z = 8,5m) = 0,98$$

- Coeficiente de orografia, c_o (EC1.1.4 §4.3.3)

O coeficiente de orografia, c_o , é considerado igual a 1,0 pois o edifício em estudo localiza-se numa zona relativamente plana logo a velocidade do vento não aumenta devido à orografia do terreno.

Por fim aplica-se a expressão 5.11 e obtém-se o valor da velocidade média do vento:

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_0(z) \times v_b = 0,98 \times 1,0 \times 30 = 29,4 \text{ m/s}$$

Turbulência do vento, I_v (EC1.1.4 §4.4)

Para a determinação da intensidade de turbulência à altura z , $I_v(z)$, foi necessário calcular o desvio padrão através da expressão 5.17:

$$\sigma_v = k_r \times v_b \times k_I = 0,19 \times 30 \times 1,0 = 5,70$$

O coeficiente de terreno dependente do comprimento de rugosidade, z_0 , foi calculado pela expressão 5.14:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{o,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19$$

Por fim, aplicou-se a expressão 5.15 uma vez que a altura acima do solo, z , está compreendida entre z_{\min} (3,0 m) e z_{\max} (200 m):

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{5,70}{29,4} = 0,194$$

Pressão dinâmica de pico, q_p (EC1.1.4 §4.5)

Para a determinação da pressão dinâmica de pico é necessário calcular alguns parâmetros, nomeadamente o coeficiente de exposição, c_e , e a pressão dinâmica de referência, q_b .

- Coeficiente de exposição, c_e

Nos casos em que o coeficiente de orografia, c_o , é igual a 1,0 e o coeficiente de turbulência, k_I , é igual a 1,0 é possível obter o coeficiente de exposição diretamente através da Figura 5.2 que é em função da altura acima do solo ($z=8,5$ m) e da categoria do terreno (categoria II).

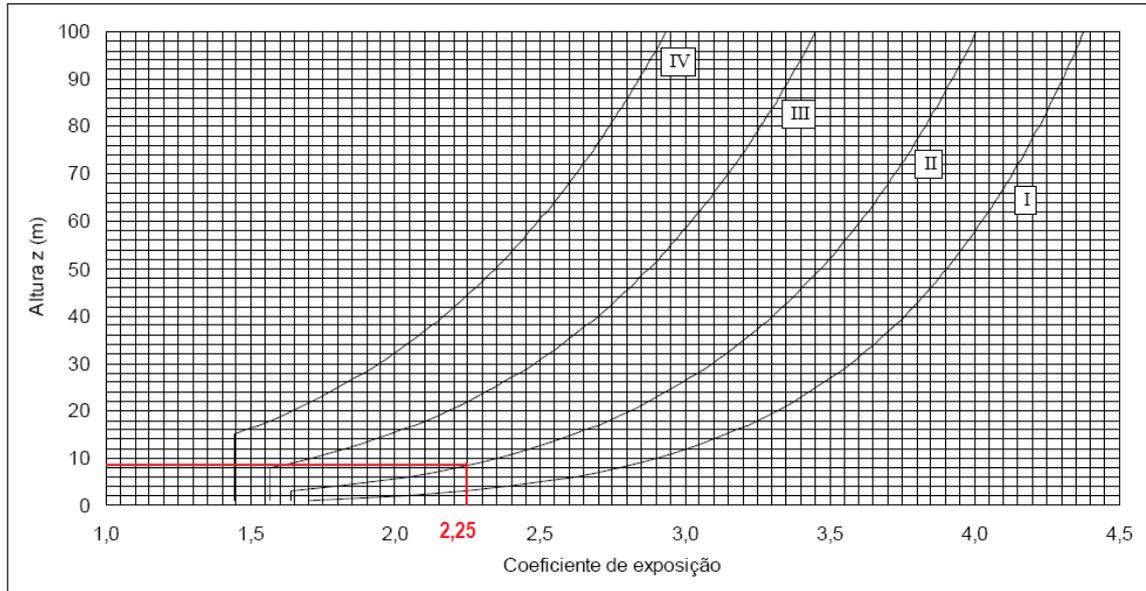


Figura 5.12 – Coeficiente de exposição para $z=8,5$ m e terreno de categoria II (EC1.1.4 FNA-4.2)

$$c_e(z = 8,5m) = 2,25$$

- Pressão dinâmica de referência, q_b

A pressão dinâmica de referência é função da massa volúmica do ar, ρ , que tem um valor de $1,25 \text{ kg/m}^3$ e do valor de referência da velocidade do vento, v_b , que já foi calculado ($v_b=30 \text{ m/s}$). Assim, aplicando a expressão 5.20 obteve-se o valor de q_b :

$$q_b(z) = \frac{1}{2} \times \rho \times v_b^2 = \frac{1}{2} \times (1,25 \times 10^{-3}) \times 30^2 = 0,563 \text{ kN/m}^2$$

Por fim, aplicou-se a expressão 5.18 para obter a pressão dinâmica de pico, q_p :

$$q_p(z) = c_e(z) \times q_b = 2,25 \times 0,563 = 1,27 \text{ kN/m}^2 \approx 38 \text{ m/s}$$

Coeficientes de pressão para edifícios (EC1.1.4 §7.2)

Uma vez que já foi calculada a pressão dinâmica de pico, q_p , é necessário determinar os coeficientes de pressão exterior e interior para as paredes verticais e a cobertura para obter finalmente a pressão exercida pelo vento nas superfícies exteriores e interiores através das expressões 5.22 e 5.23 respetivamente.

É de referir que se optou por utilizar os coeficientes globais, $c_{p,10}$, uma vez que o objetivo é o dimensionamento global da estrutura. De seguida encontram-se os dois tipos de superfícies que foram analisados para a obtenção dos coeficientes de pressão exterior do edifício em estudo, nomeadamente paredes verticais e cobertura de duas vertentes.

- Paredes verticais

Coefficientes de pressão exterior (EC1.1.4 §7.2.2)

Primeiramente, tal como foi referido anteriormente, considera-se que o vento segue duas incidências (W1 para $\alpha=0^\circ$ e W2 para $\alpha=90^\circ$) como se pode ver na Figura 4.6.²⁷

De seguida procedeu-se à determinação da distribuição da pressão dinâmica ao longo das paredes, devida à ação do vento (W1 e W2), através da consulta do anexo 12. Em ambas as direções a altura da construção, h , que corresponde a 8,5 m, é inferior à largura da construção, b (comprimento da superfície perpendicular à direção do vento), que tem um valor de 21 m para W1 e 16 m para W2. Assim o diagrama a adotar de pressão dinâmica para o caso em estudo é:

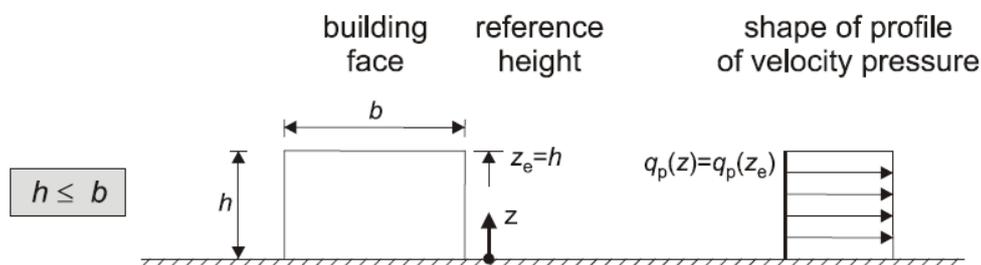


Figura 5.13 – Perfil do diagrama da pressão dinâmica para $h < b$ (EC1.1.4 F7.4)

Através da consulta do anexo 13 determinou-se as zonas onde são aplicados diferentes coeficientes de pressão exteriores nas paredes verticais. Assim, para W1 tem-se:

²⁷ A simetria da estrutura em planta permite considerar que o vento vai atuar da mesma forma em ambas as direções, tanto para o W1 como para o W2.

$$e = \min \{b; 2h\} = \min \{21; 2 \times 8,5\} = 17,0$$

$$d = 16,0$$

$$e \geq d$$

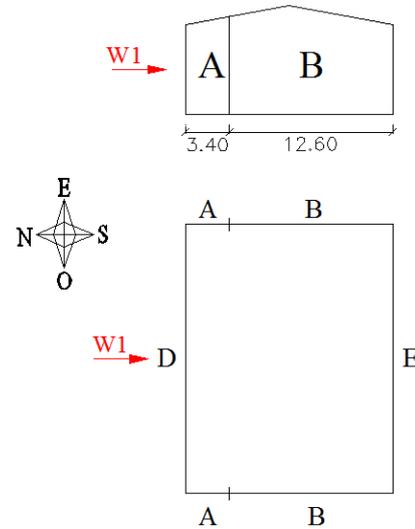


Figura 5.14 – Zonas nas fachadas com diferentes coeficientes de pressão exterior para o vento W1 (EC1.1.4)

E para W2 tem-se:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1,5}{8}$$

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{1,5}{8} \right) = 10,62^\circ \approx 11^\circ$$

$$d = 21,0$$

$$e = b = 16,0$$

$$e < d$$

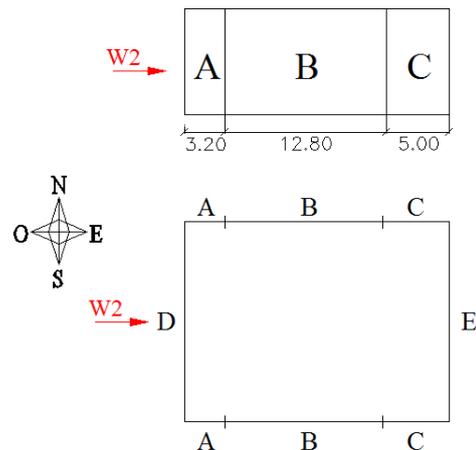


Figura 5.15 - Zonas nas fachadas com diferentes coeficientes de pressão exterior para o vento W2 (EC1.1.4)

De seguida foi consultado o anexo 14 para obter os coeficientes de pressão exterior, $c_{pe,10}$, para paredes verticais de edifícios de planta retangular tanto para o vento W1 e o vento W2. Estes valores são em função da relação entre a altura da construção, h , e o comprimento da superfície paralela à direção do vento, d . Os valores encontram-se nas seguintes tabelas, recorrendo à interpolação linear para obter os valores pretendidos:

W1 ($\theta=0^\circ$)

$$h/d = 8,5/16 = 0,53$$

Tabela 5.14 – Coeficientes de pressão exterior nas fachadas para W1 para $h/d=0,53$ (EC1.1.4)

Zona	A	B	D	E
h/d	cpe,10			
5	-1,2	-0,8	0,8	-0,7
1	-1,2	-0,8	0,8	-0,5
<0,25	-1,2	-0,8	0,7	-0,3
0,53	-1,2	-0,8	0,74	-0,43

W2 ($\theta=90^\circ$)

$$h/d = 8,5/21 = 0,41$$

Tabela 5.15 - Coeficientes de pressão exterior nas fachadas para W2 para $h/d=0,41$ (EC1.1.4)

Zona	A	B	C	D	E
h/d	cpe,10				
5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
1	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,5
<0,25	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3
0,41	-1,2	-0,8	-0,5	0,72	-0,34

Coeficientes de pressão interior (EC1.1.4 §7.2.9)

Para o cálculo do coeficiente de pressão interior, c_{pi} , considerou-se as portas nas fachadas a Este e Oeste abertas. Desta forma, como não existe apenas uma fachada predominante, o c_{pi} é determinado consultando o anexo 28 sendo também necessário calcular o índice de aberturas. Para o edifício em estudo e segundo a nota 2 do artigo 7.2.9 (6), uma vez que o cálculo do índice de aberturas não se considera justificado, o coeficiente de pressão interior é considerado o valor mais gravoso de entre +0,2 e -0,3.

As seguintes tabelas indicam o valor do coeficiente de pressão exterior nas várias zonas das fachadas (para W1 e W2) e o respetivo coeficiente de pressão interior (recorrendo ao valor mais desfavorável para cada direção do vento).

W1

Fachada predominante: B

Tabela 5.16 – Coeficientes de pressão exterior e interior nas fachadas para W1 com h/d=0,53 na situação 1 (EC1.1.4)

Zona		A	B	D	E
h/d=0,53	cpe	-1,2	-0,8	0,74	-0,43
	cpi	0,2	0,2	0,2	0,2

W2

Fachada predominante: D

Tabela 5.17 - Coeficientes de pressão exterior e interior nas fachadas para W2 com h/d=0,41 na situação 1 (EC1.1.4)

Zona		A	B	C	D	E
h/d=0,41	cpe	-1,2	-0,8	-0,5	0,72	-0,34
	cpi	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Coeficientes de pressão globais

Por fim foi possível obter o coeficiente de pressão global recorrendo à seguinte expressão:

$$c_p = c_{pe,10} - c_{pi} \quad (5.34)$$

E obteve-se os valores globais dos coeficientes de pressão que se encontram nas seguintes tabelas e figuras:

W1

Tabela 5.18 – Coeficientes de pressão global nas fachadas para W1 na situação 1

Zona	A	B	D	E
cp=cpe-cpi	-1,40	-1,00	0,54	-0,63

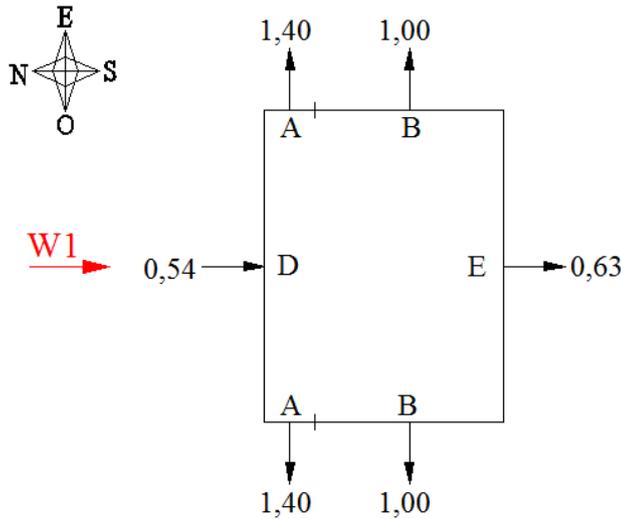


Figura 5.16 – Coeficientes de pressão global nas fachadas para W1 na situação 1 (EC1.1.4)

W2

Tabela 5.19 - Coeficientes de pressão global nas fachadas para W2 na situação 1 (EC1.1.4)

Zona	A	B	C	D	E
$cp=cpe-cpi$	-1,40	-1,00	-0,70	0,52	-0,54

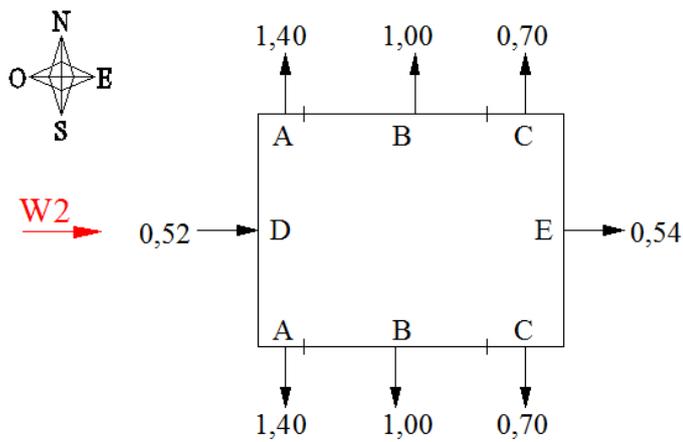


Figura 5.17 - Coeficientes de pressão global nas fachadas para W2 na situação 1 (EC1.1.4)

- Cobertura de duas vertentes

Coeficientes de pressão exterior (EC1.1.4 §7.2.5)

Para as coberturas de duas vertentes a altura de referência, z_e , é igual à altura da construção, h , logo tem o valor de 8,50 m. De seguida, consultando o anexo 20 retirou-se que para as duas

direções do vento (W1 e W2) existem diferentes zonas onde são aplicados diferentes coeficientes de pressão exterior. Para W1, em que a direção do vento atua com $\theta=0^\circ$, tem-se que:

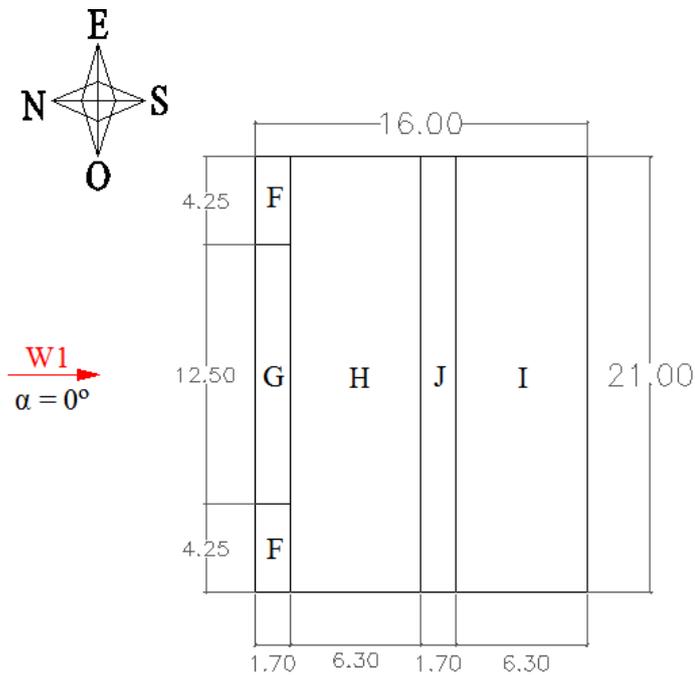


Figura 5.18 - Zonas na cobertura com diferentes coeficientes de pressão exterior para o vento W1 (EC1.1.4)

Para a determinação das distâncias foi necessário calcular o seguinte parâmetro:

$$e = \min \{b; 2h\} = \min \{21; 2 \times 8,5\} = 17,0$$

Para W2, em que a direção do vento atua com $\theta=90^\circ$, tem-se que:

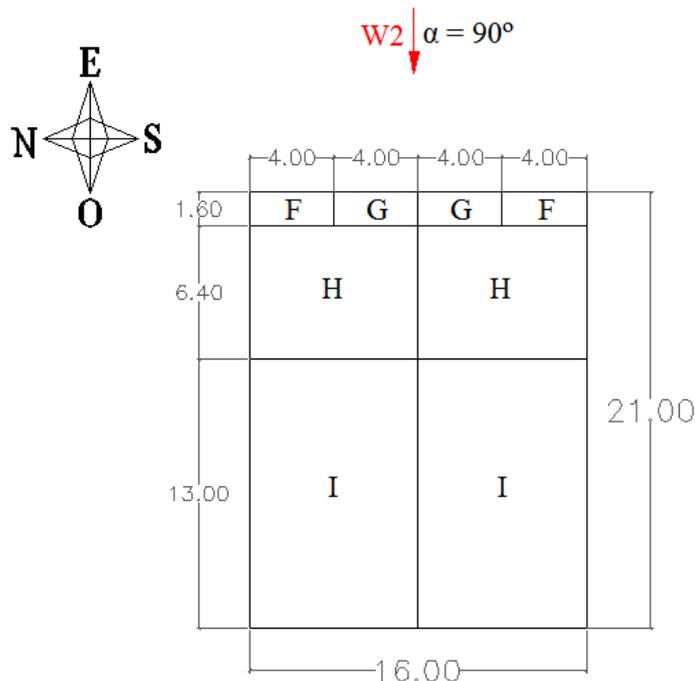


Figura 5.19 - Zonas na cobertura com diferentes coeficientes de pressão exterior para o vento W2 (EC1.1.4)

Para a determinação das distâncias foi necessário calcular o seguinte parâmetro:

$$e = \min \{b; 2h\} = \min \{16; 2 \times 8,5\} = 16,0$$

De seguida foi consultado o anexo 21 para obter os coeficientes de pressão exterior, $c_{pe,10}$, para coberturas de duas vertentes para o vento W1 e o vento W2. Os coeficientes de pressão exterior para coberturas de duas vertentes são em função do ângulo de inclinação, α , que é calculado da seguinte forma:

$$\alpha = \text{tg}^{-1}\left(\frac{1,5}{8}\right) = 10,62^\circ \approx 11^\circ$$

Os valores encontram-se nas seguintes tabelas, recorrendo à interpolação linear para obter os valores de c_{pe} para um ângulo de inclinação de 11° .

W1 ($\theta=0^\circ$)²⁸

Tabela 5.20 – Coeficiente de pressão exterior na cobertura para W1 para $\alpha=11^\circ$ (EC1.1.4)

Ângulo de inclinação α	Zona				
	F	G	H	I	J
5°	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	0,2
	0,0	0,0	0,0		-0,6
15°	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1,0
	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0
11°	-1,22	-0,96	-0,42	-0,48	-0,52
	0,12	0,12	0,12	-0,24	-0,24

W2 ($\theta=90^\circ$)

Tabela 5.21 - Coeficiente de pressão exterior na cobertura para W2 para $\alpha=11^\circ$ (EC1.1.4)

Ângulo de inclinação α	Zona			
	F	G	H	I
5°	-1,6	-1,3	-0,7	-0,6
15°	-1,3	-1,3	-0,6	-0,5
11°	-1,42	-1,30	-0,64	-0,54

²⁸ Para inclinações entre $\alpha=-5^\circ$ e $\alpha=+45^\circ$ a pressão varia rapidamente entre valores positivos e negativos na vertente virada a barlavento, razão pelo qual são fornecidos valores de c_{pe} positivos e negativos. De entre as combinações possíveis de pressões opta-se pela mais gravosa.

Coefficientes de pressão interior (EC1.1.4 §7.2.9)

Tal como foi efetuado nas paredes verticais, considerou-se os valores de c_{pi} mais gravosos de entre +0,2 e -0,3. As seguintes tabelas indicam o valor do coeficiente de pressão exterior nas várias zonas da cobertura (para W1 e W2) para o ângulo de inclinação de 11° e o respetivo coeficiente de pressão interior adotado.

W1 ($\theta=0^\circ$)

Tabela 5.22 – Coeficientes de pressão exterior e interior na cobertura para W1 na situação 1 (EC1.1.4)

Coeficientes de pressão	Zona				
	F	G	H	I	J
cpe	-1,22	-0,96	-0,42	-0,48	-0,52
	0,12	0,12	0,12	-0,24	-0,24
cpi	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

W2 ($\theta=90^\circ$)

Tabela 5.23 - Coeficientes de pressão exterior e interior na cobertura para W2 na situação 1 (EC1.1.4)

Coeficientes de pressão	Zona			
	F	G	H	I
cpe	-1,42	-1,30	-0,64	-0,54
cpi	0,2	0,2	0,2	0,2

Coefficientes de pressão globais

Por fim, foi possível obter o coeficiente de pressão global recorrendo à expressão 5.34 que conduziu aos valores globais dos coeficientes de pressão presentes nas tabelas seguintes:

W1

Tabela 5.24 – Coeficientes de pressão global na cobertura para W1 na situação 1 (EC1.1.4)

Zona	F	G	H	I	J
cp=cpe-cpi	-1,42	-1,16	-0,62	-0,68	-0,72
	-0,08	-0,08	-0,08	-0,44	-0,44

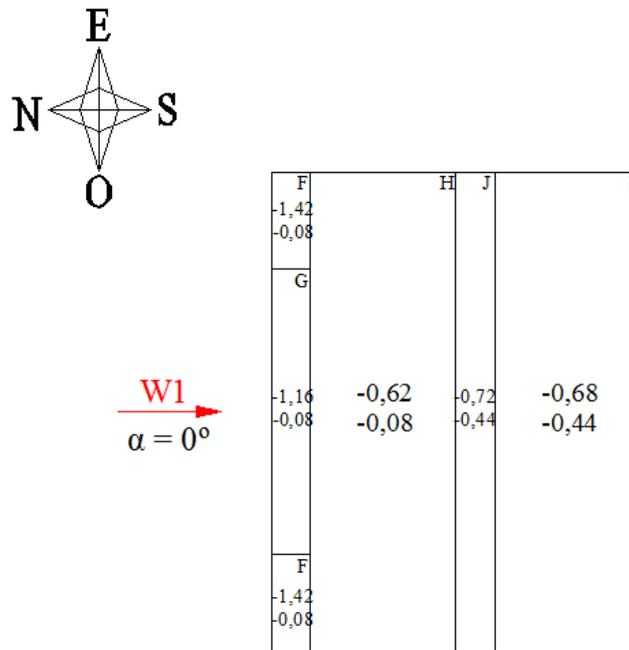


Figura 5.20 – Coeficientes de pressão globais na cobertura para W1 na situação 1 (EC1.1.4)

W2

Tabela 5.25 – Coeficientes de pressão global na cobertura para W2 na situação 1 (EC1.1.4)

Zona	F	G	H	I
cp=cpe-cpi	-1,62	-1,50	-0,84	-0,74

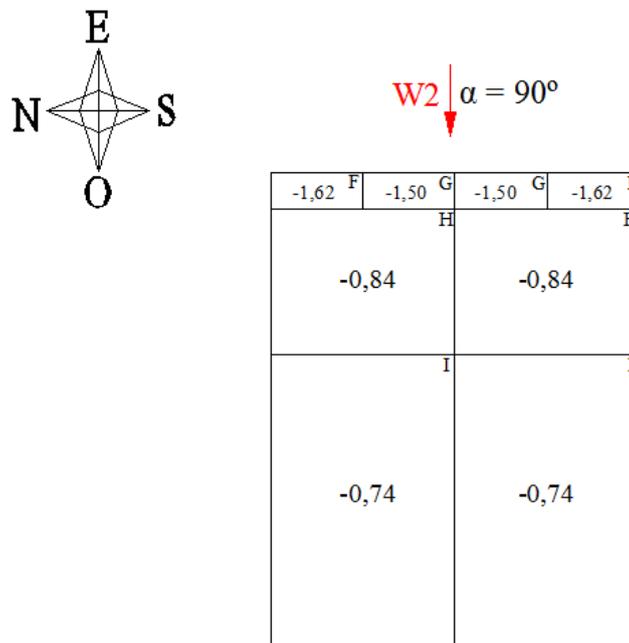


Figura 5.21 – Coeficientes de pressão globais na cobertura para W2 na situação 1 (EC1.1.4)

Pressão exercida pelo vento em superfícies

Após o cálculo da pressão dinâmica de pico, q_p , e dos coeficientes de pressão, c_p , foi possível finalmente calcular as pressões que o vento exerce nas superfícies da construção (nas paredes verticais e na cobertura). Para o cálculo das pressões do vento foi necessário recorrer à expressão 5.21.

Uma vez que foi determinado o coeficiente de pressão global, c_p , juntando o coeficiente de pressão exterior, c_{pe} , com o coeficiente de pressão interior, c_{pi} , utilizou-se a seguinte expressão para obter a pressão resultante do vento nas superfícies:

$$w = q_p(z) \times c_p \tag{5.35}$$

- Paredes verticais

Sabendo que o valor da pressão dinâmica de pico é de $1,27\text{KN/m}^2$, multiplica-se cada coeficiente de pressão global de cada zona nas paredes verticais por este valor para obter a pressão nessas superfícies. Obteve-se assim os seguintes valores:

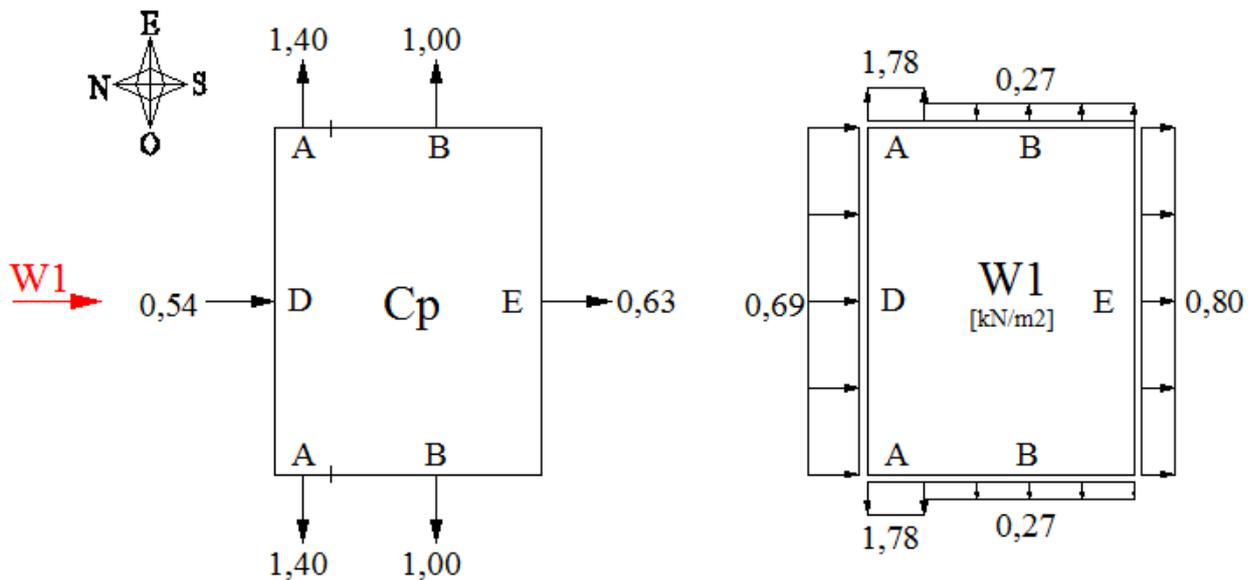


Figura 5.22 – Pressão exercida pelo vento nas fachadas para W1 na situação 1 (EC1.1.4)

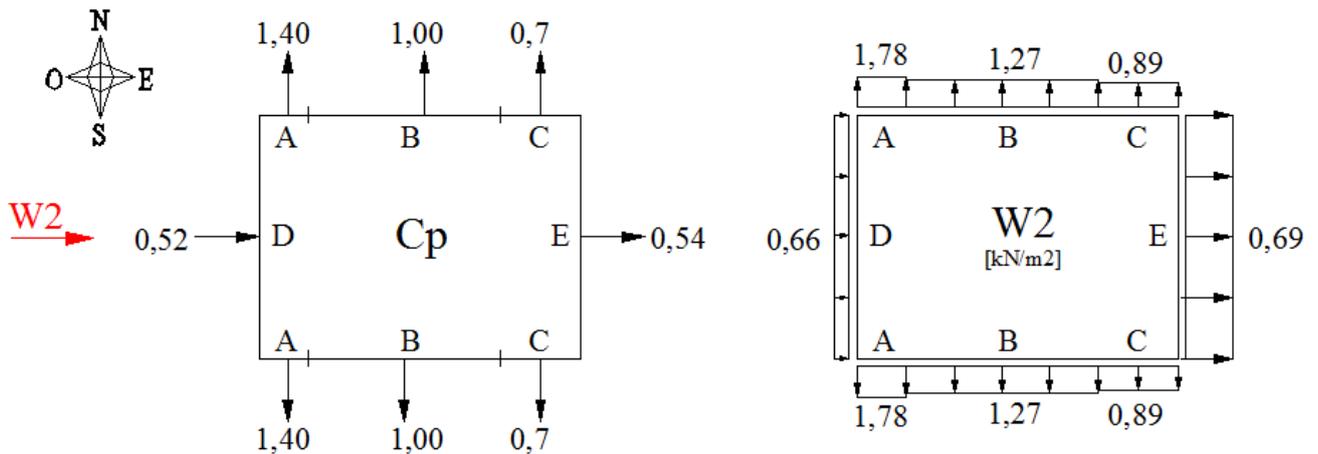


Figura 5.23 - Pressão exercida pelo vento nas fachadas para W2 na situação 1 (EC1.1.4)

- Cobertura de duas vertentes

Tal como nas paredes verticais, para obter as pressões nas superfícies pelo vento é necessário multiplicar os coeficientes de pressão pela pressão dinâmica de pico. Obteve-se assim os seguintes valores:²⁹

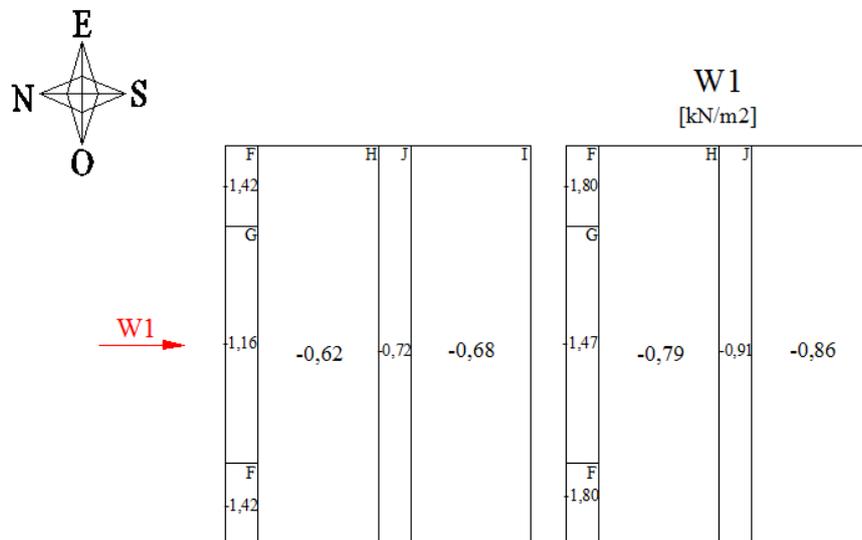


Figura 5.24 - Pressão exercida pelo vento na cobertura para W1 na situação 1 (EC1.1.4)

²⁹ Para o vento W1 tem-se duas combinações de valores de coeficiente de pressão como se pode verificar na Figura 5.20. Neste caso, opta-se por verificar a situação em que os valores são mais gravosos, isto é, os negativos com maior valor.

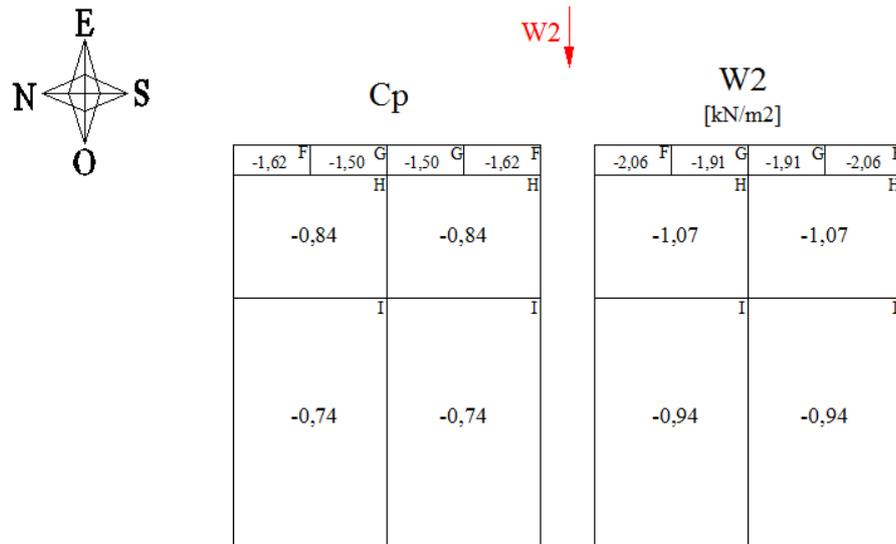


Figura 5.25 - Pressão exercida pelo vento na cobertura para W2 na situação 1 (EC1.1.4)

5.4.2.2. Situação 2

A quantificação de ações nomeadamente o peso próprio e revestimento, a sobrecarga na cobertura e a ação térmica são idênticas à situação 1.

5.4.2.2.1. Ação do vento

A pressão dinâmica de pico foi obtida no subcapítulo 5.4.2.1.4 obtendo o valor de $q_p=1,27\text{kN/m}^2$.

De seguida, para determinar as pressões exercidas nas superfícies devido à ação do vento, é necessário determinar os coeficientes de forma para esta situação.

Coeficientes de pressão para edifícios (EC1.1.4 §7.2)

- Paredes verticais

Coeficientes de pressão exterior (EC1.1.4 §7.2.2)

Os coeficientes de pressão exterior nas paredes verticais foram determinados na situação 1.

Coefficientes de pressão interior (EC1.1.4 §7.2.9)

Nesta situação considera-se que as portas existentes nas fachadas orientadas a Este e a Oeste se encontram fechadas logo não apresenta uma face predominante. O coeficiente de pressão é determinado através da seguinte figura:

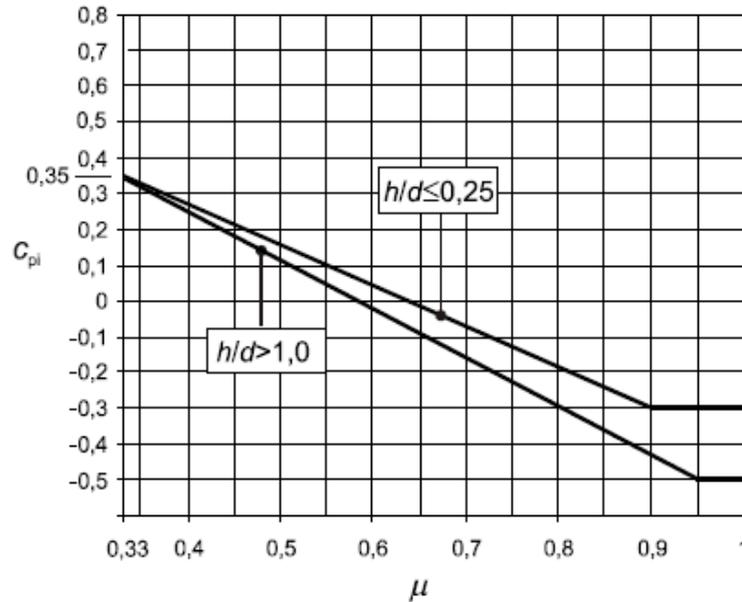


Figura 5.26 – Coeficientes de pressão interior no caso de aberturas uniformemente distribuídas (EC1.1.4 F7.13)

Para a consulta desta figura é necessário calcular o quociente entre a altura e a profundidade do edifício (h/d) e o índice de aberturas (μ). Uma vez que nesta situação não existem aberturas o índice de aberturas é igual a 1 e considerando o valor mais desfavorável de c_{pi} obtém-se que $c_{pi} = -0,3$.

Coefficientes de pressão globais

As seguintes tabelas e figuras apresentam os coeficientes de pressão globais para a situação 2.

W1

Tabela 5.26 – Coeficientes de pressão global nas fachadas para W1 na situação 2 (EC1.1.4)

Zona	A	B	D	E
cp=cpe-cpi	-0,9	-0,5	1,04	-0,13

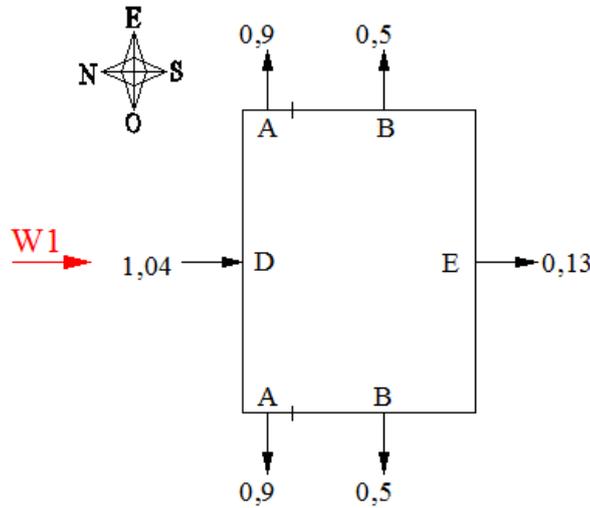


Figura 5.27 – Coeficientes de pressão global nas fachadas para W1 na situação 2 (EC1.1.4)

W2

Tabela 5.27 – Coeficientes de pressão global nas fachadas para W2 na situação 2 (EC1.1.4)

Zona	A	B	C	D	E
cp=cpe-cpi	-0,9	-0,5	-0,2	1,02	-0,04

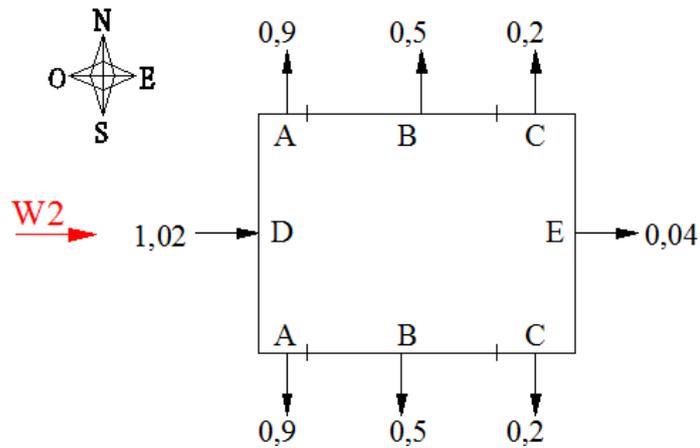


Figura 5.28 - Coeficientes de pressão global nas fachadas para W2 na situação 2 (EC1.1.4)

- Cobertura de duas vertentes

Coeficientes de pressão exterior (EC1.1.4 §7.2.5)

Os coeficientes de pressão exterior na cobertura de duas vertentes foram determinados na situação 1.

Coeficientes de pressão interior (EC1.1.4 §7.2.9)

O coeficiente de pressão interior a considerar para a cobertura é o mesmo valor que foi atribuído às paredes verticais do edifício em estudo para esta situação ($c_{pi} = -0,3$).

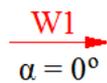
Coeficientes de pressão globais

As seguintes tabelas e figuras apresentam os valores globais dos coeficientes de pressão na cobertura.

W1 ($\theta=0^\circ$)

Tabela 5.28 – Coeficientes de pressão global na cobertura para W1 na situação 2 (EC1.1.4)

Zona	F	G	H	I	J
cp=cpe-cpi	-0,92	-0,66	-0,12	-0,18	-0,22
	0,42	0,42	0,42	0,06	0,06



F		H	J	I
-0,92				
+0,42				
G				
-0,66	-0,12	-0,22	-0,18	
+0,42	+0,42	+0,06	+0,06	
F				
-0,92				
+0,42				

Figura 5.29 – Coeficientes de pressão globais na cobertura para W1 na situação 2 (EC1.1.4)

W2 ($\theta=90^\circ$)

Tabela 5.29 – Coeficientes de pressão global na cobertura para W2 na situação 2 (EC1.1.4)

Zona	F	G	H	I
cp=cpe-cpi	-1,12	-1,00	-0,34	-0,24

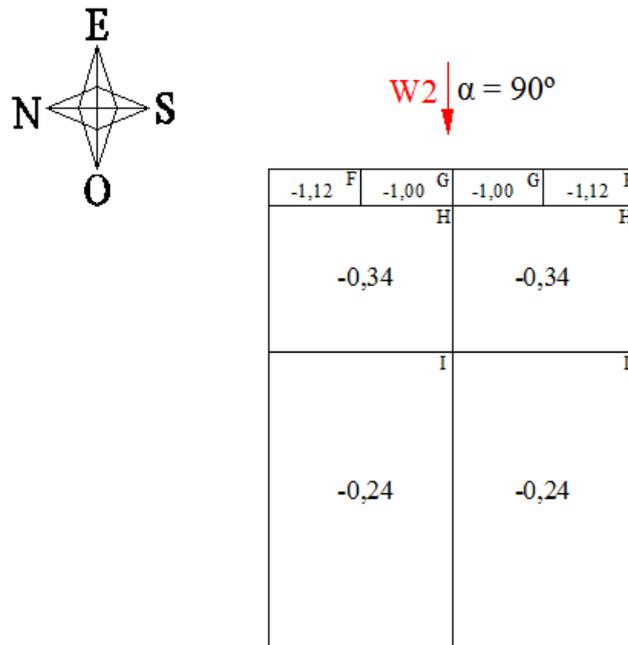


Figura 5.30 – Coeficientes de pressão globais na cobertura para W2 na situação 2 (EC1.1.4)

Pressão exercida pelo vento em superfícies

Pela expressão 5.35 é possível determinar a pressão resultante do vento nas paredes verticais e na cobertura. Obteve-se assim os seguintes valores.

- Paredes verticais

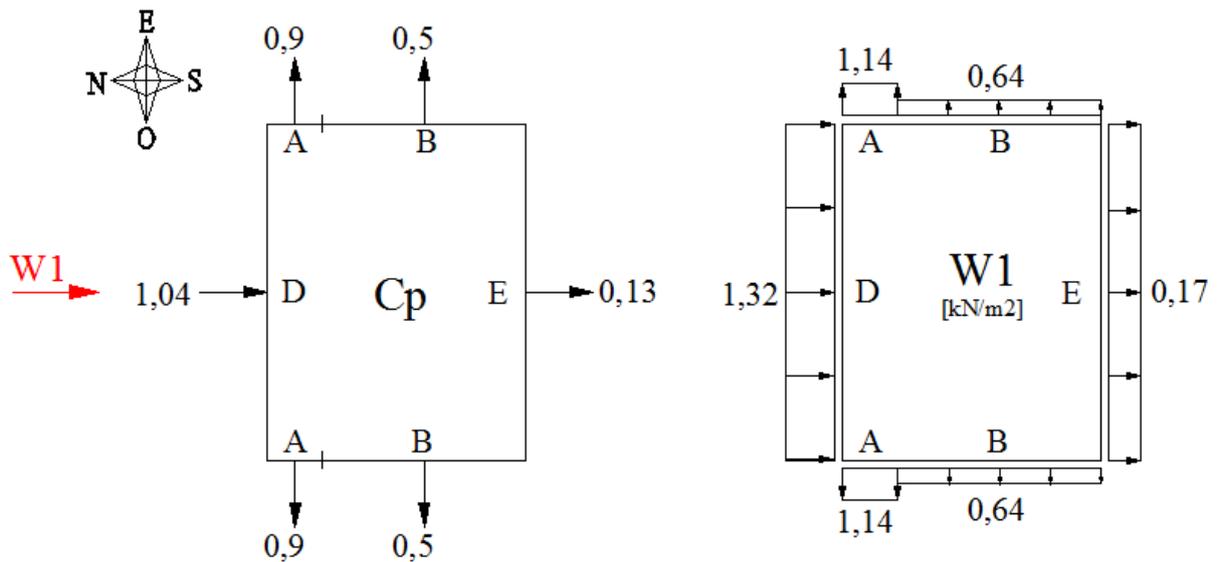


Figura 5.31 – Pressão exercida pelo vento nas fachadas para W1 na situação 2 (EC1.1.4)

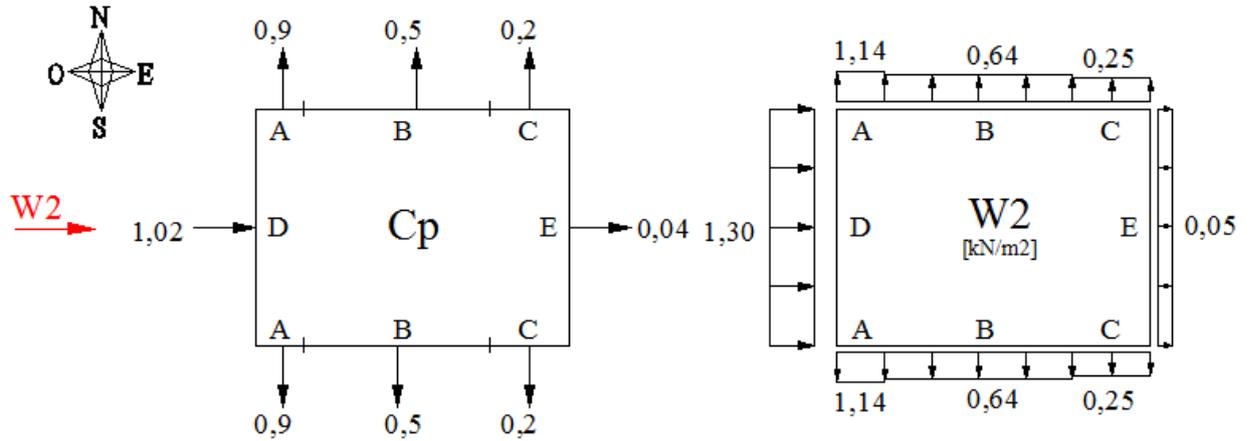


Figura 5.32 – Pressão exercida pelo vento nas fachadas para W2 na situação 2 (EC1.1.4)

- Cobertura de duas vertentes³⁰

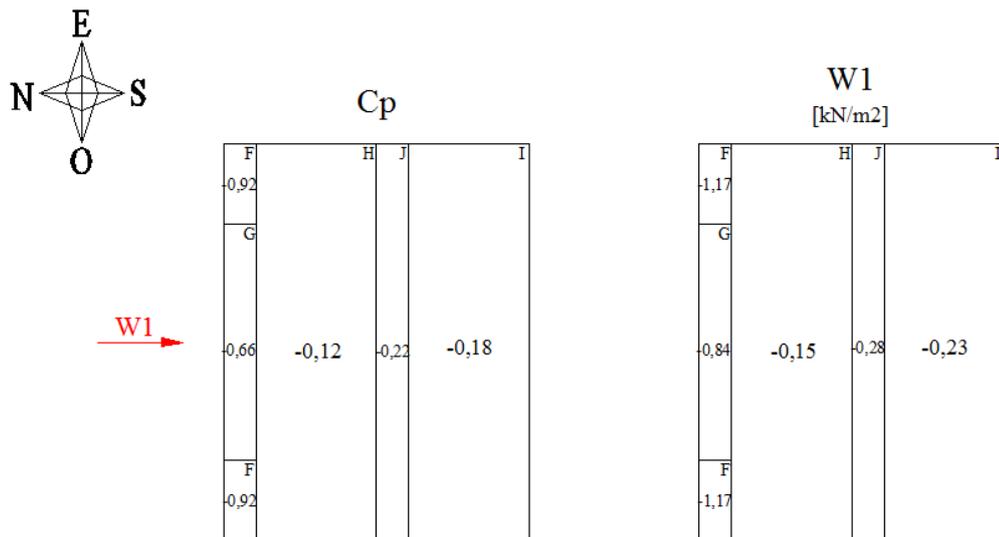


Figura 5.33 – Pressão exercida pelo vento na cobertura para W1 na situação 2 (EC1.1.4)

30 Para o vento W1 tem-se duas combinações de valores de coeficiente de pressão como se pode verificar na Figura 5.29. Neste caso, opta-se por verificar a situação em que os valores são mais gravosos, isto é, os negativos com maior valor.

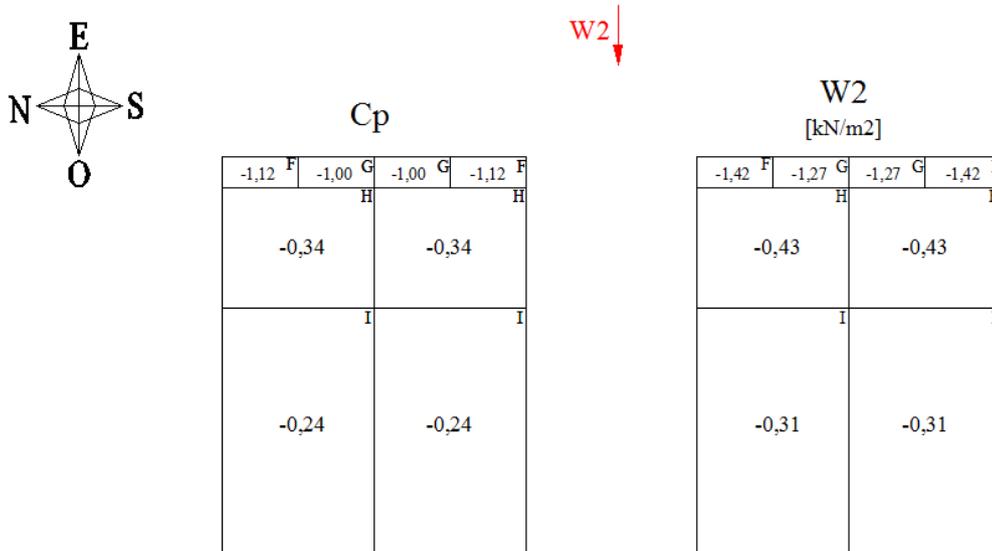


Figura 5.34 – Pressão exercida pelo vento na cobertura para W2 na situação 2 (EC1.1.4)

5.4.3. Cargas atuantes no edifício

Tendo determinado as cargas uniformemente distribuídas sobre as fachadas e a cobertura da estrutura para a situação 1 e 2, sabendo as áreas de influência de cada elemento procede-se ao cálculo das cargas linearmente distribuídas na cobertura e nas fachadas.

Relativamente à ação da temperatura, esta encontra-se dividida em duas parcelas, de Inverno, ΔT_{inv} , e de Verão, $\Delta T_{\text{verão}}$. O valor da temperatura no Inverno, -6°C , é aplicado em todas as barras, tanto nas fachadas como na cobertura. Por outro lado, os valores da temperatura no Verão são diferentes para as fachadas e para a cobertura, consoante a sua orientação. Assim, para as barras que se encontram em contacto com o ambiente exterior aplica-se os seguintes valores:³¹

Fachada orientada a Norte: $15,50^{\circ}\text{C}$

Fachadas orientada a Este: $14,50^{\circ}\text{C}$

Fachada orientada a Sul: $18,50^{\circ}\text{C}$

Fachada orientada a Oeste: $14,50^{\circ}\text{C}$

Cobertura: 18°C

³¹ Para as barras interiores nomeadamente as asnas interiores apresentam um valor de temperatura de verão de 10°C .

5.4.3.1. Situação 1

5.4.3.1.1. Cargas atuantes na cobertura

Nas figuras seguintes está esquematizado o carregamento na cobertura de cada carga (sobrecarga, revestimento, vento W1 e vento W2) e o seu respetivo valor de carga linearmente distribuída em cada barra.

Sobrecarga

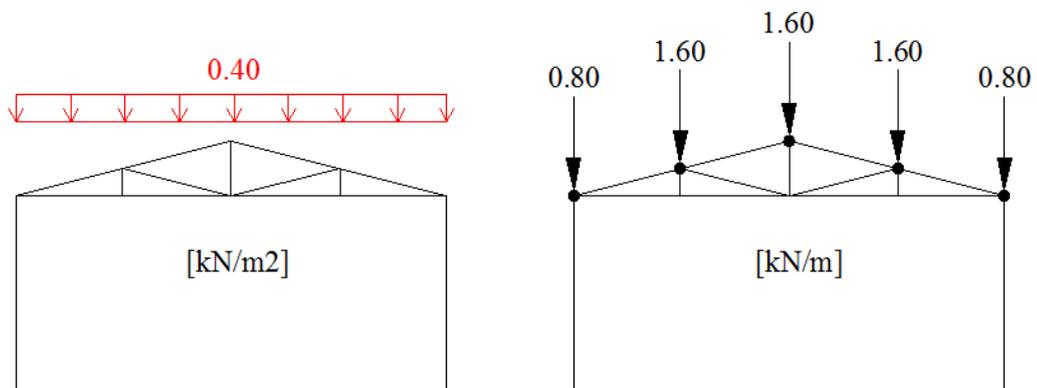


Figura 5.35 – Sobrecarga na cobertura (EC1.1.1)

Revestimento

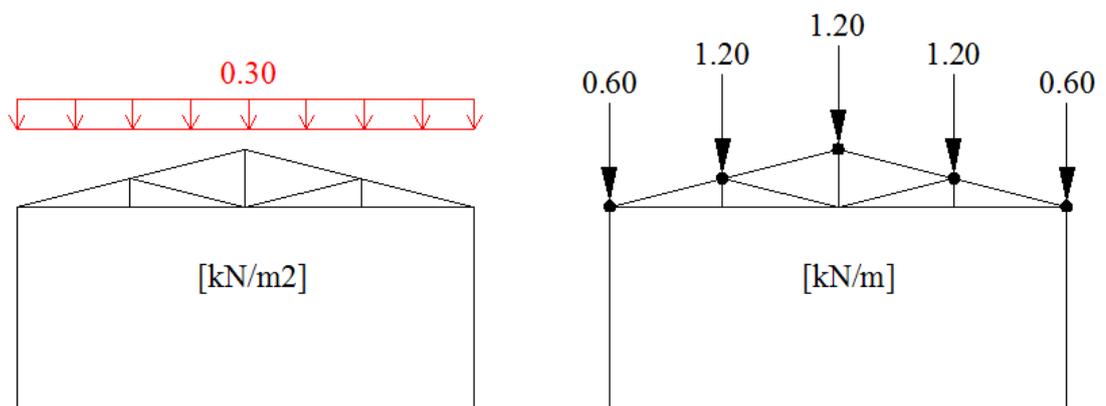


Figura 5.36 – Revestimento na cobertura (EC)

Vento (W1;W2)³²

- Vento (W1)

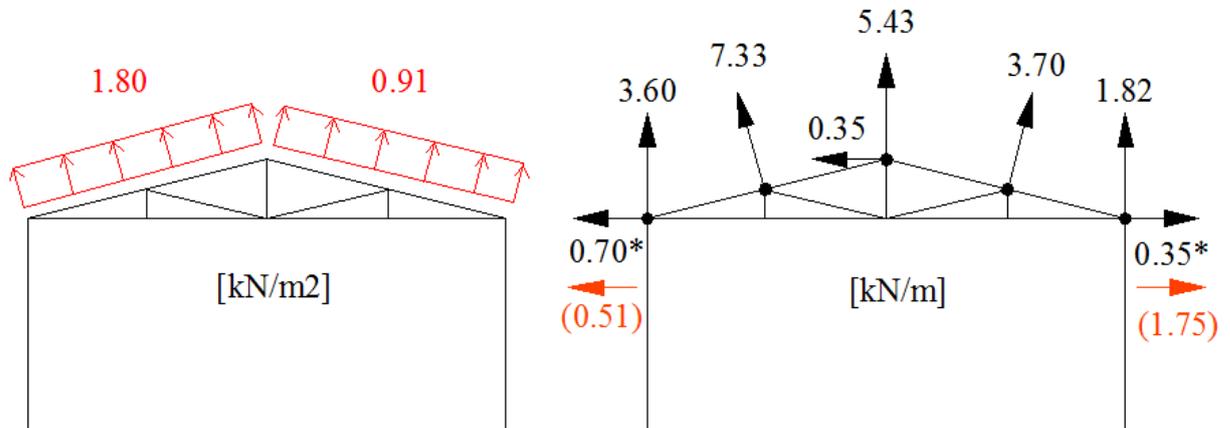


Figura 5.37 – Vento W1 na cobertura na situação 1 (EC1.1.4)

- Vento (W2)

Relativamente ao vento W2 verificou-se pela Figura 5.25 que existem zonas na cobertura com valores de pressão diferentes. A Figura 5.38 ilustra essas zonas e a Figura 5.39 apresenta as cargas linearmente distribuídas nas barras devido a estas pressões.

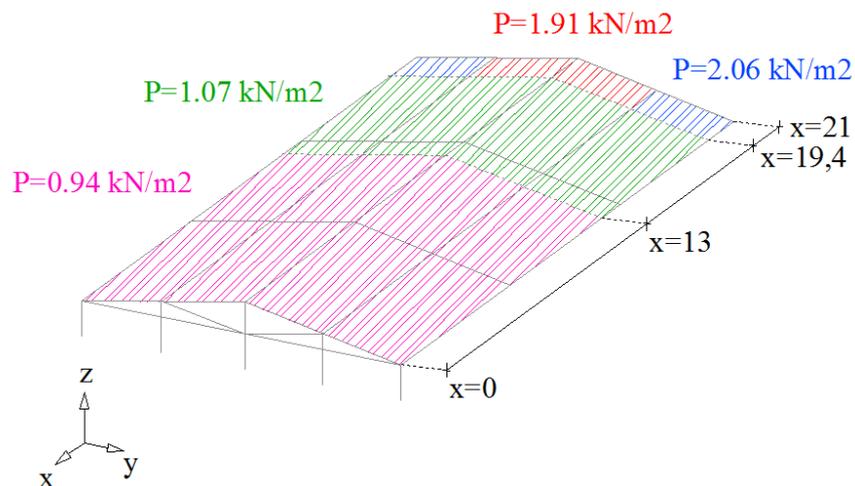


Figura 5.38 - Zonas na cobertura com diferentes pressões exercidas pelo vento W2 na situação 1 (EC1.1.4)

³² Os valores com (*) são os valores para a carga em causa, os valores abaixo (a laranja) são os valores corrigidos devido à combinação de duas cargas (a carga do vento na cobertura e a carga do vento nas fachadas do edifício).

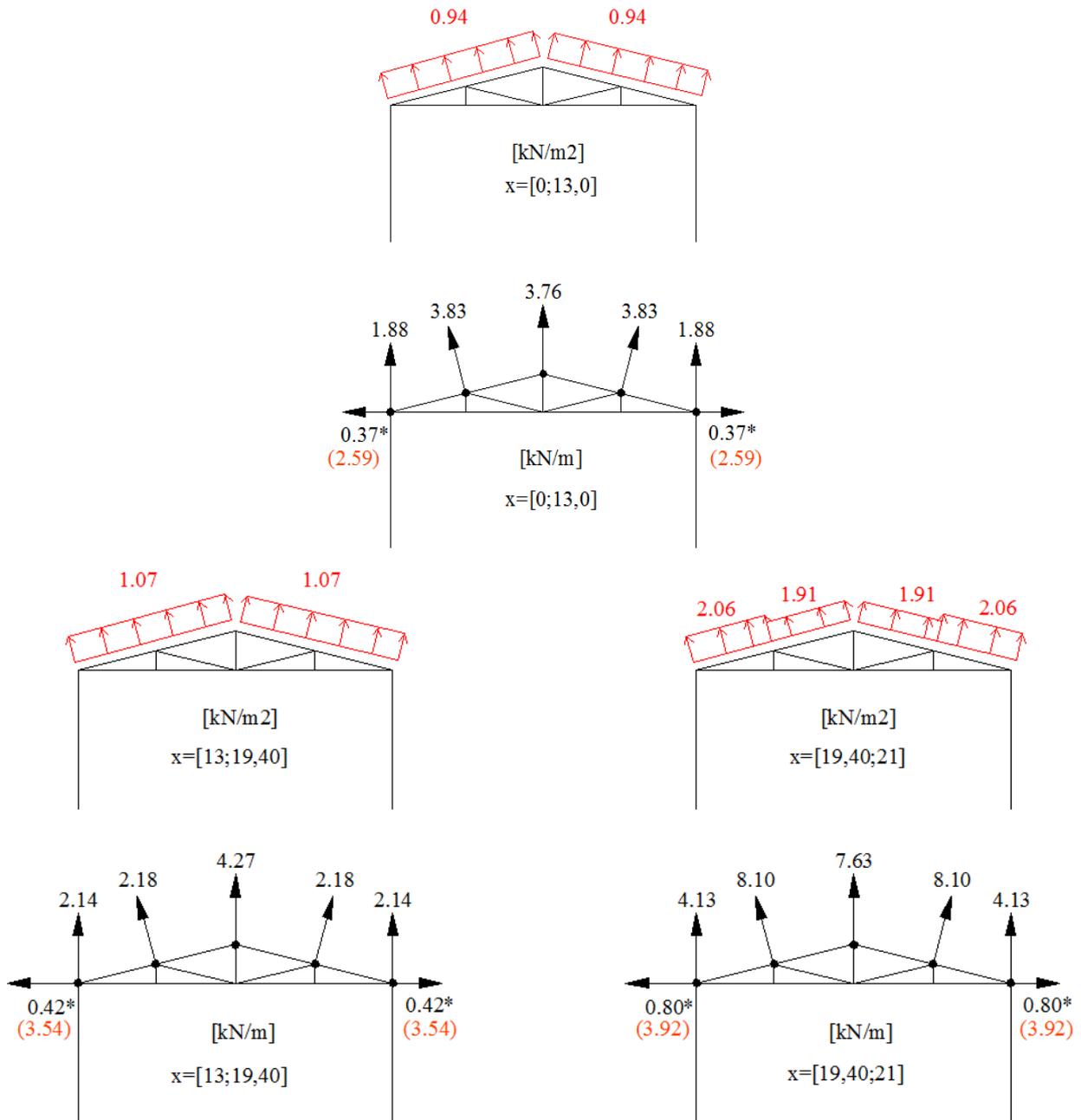


Figura 5.39 – Vento W2 na cobertura para $x=[0;13];[13;19,40];[19,40;21]$ na situação 1 (EC1.1.4)

5.4.3.1.2. Cargas atuantes nas fachadas

Nas figuras seguintes estão esquematizados os carregamentos nas fachadas (vento W1 e vento W2) e o seu respetivo valor de carga linearmente distribuída nas barras.

Vento (W1;W2)³³

- Vento (W1)
 - Fachadas orientadas a Este e Oeste

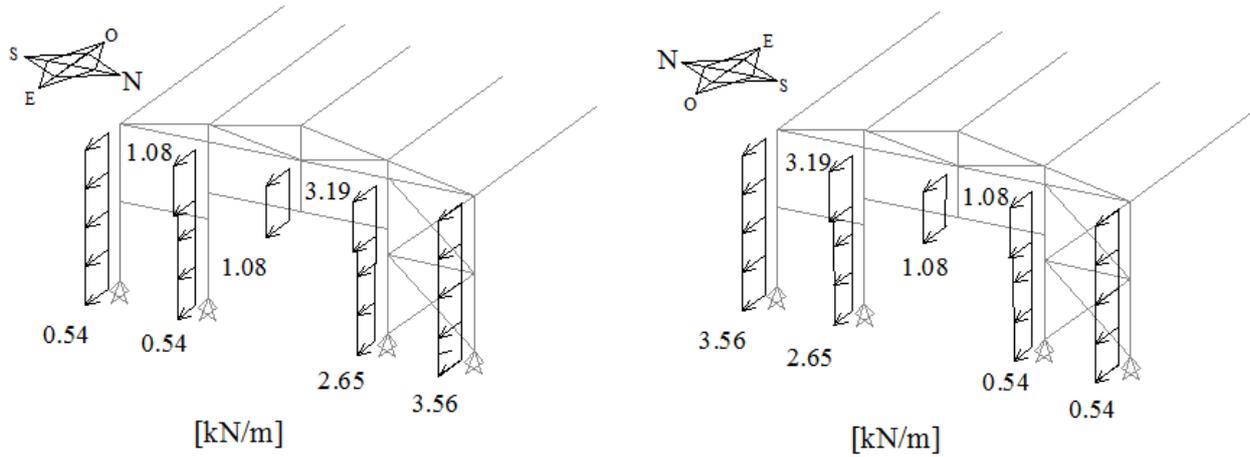


Figura 5.40 – Vento W1 nas fachadas orientadas a Este e Oeste na situação 1 (EC1.1.4)

- Fachada orientada a Sul

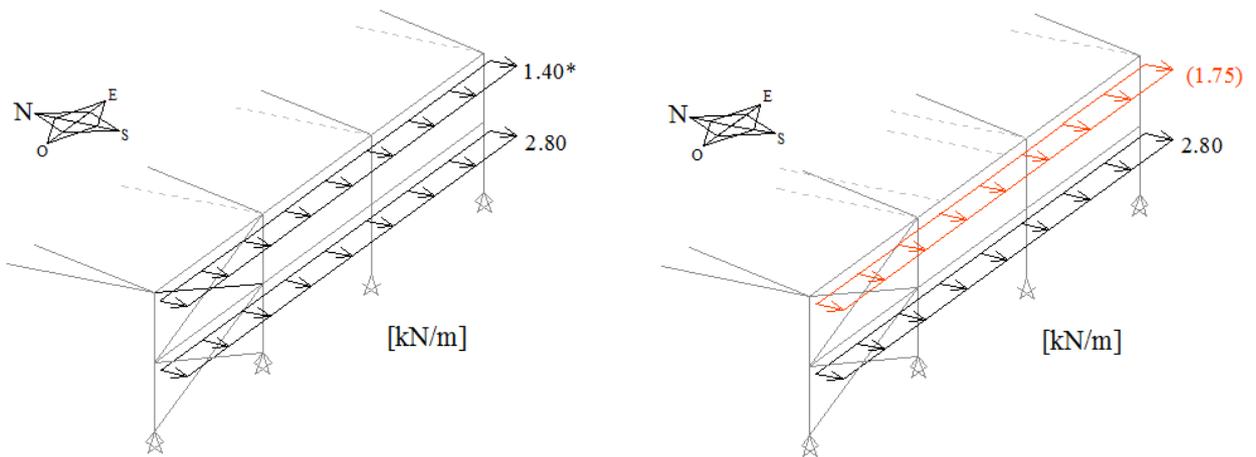


Figura 5.41 – Vento W1 na fachada orientada a Sul na situação 1 (EC1.1.4)

³³ Os valores com (*) são os valores para a carga em causa, a figura ao lado com os valores a laranja são os valores corrigidos devido à combinação de duas cargas (a carga do vento na cobertura e a carga do vento nas fachadas do edifício).

○ Fachada orientada a Norte

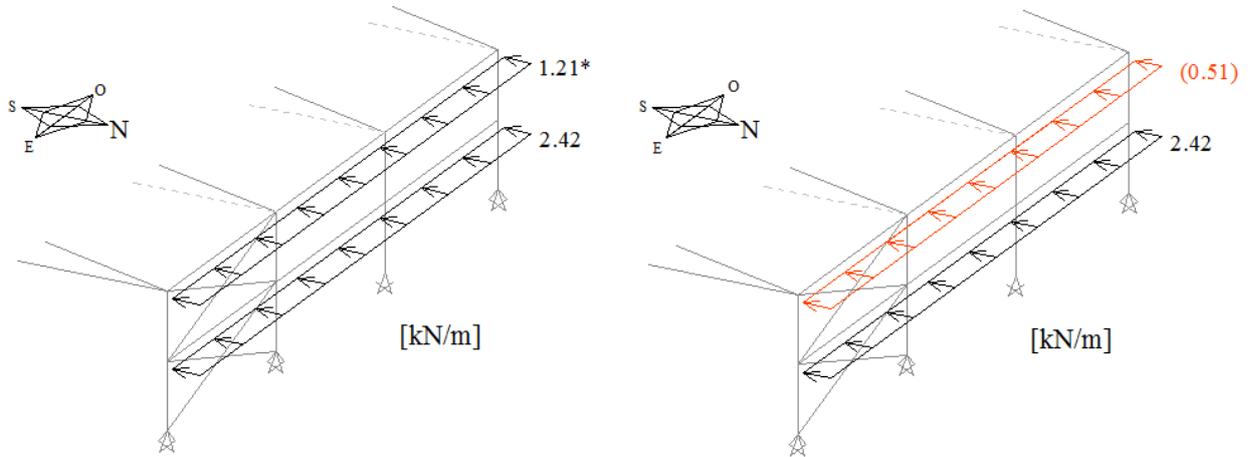


Figura 5.42 – Vento W1 na fachada orientada a Norte na situação 1 (EC1.1.4)

● Vento (W2)

○ Fachadas orientadas a Este e Oeste

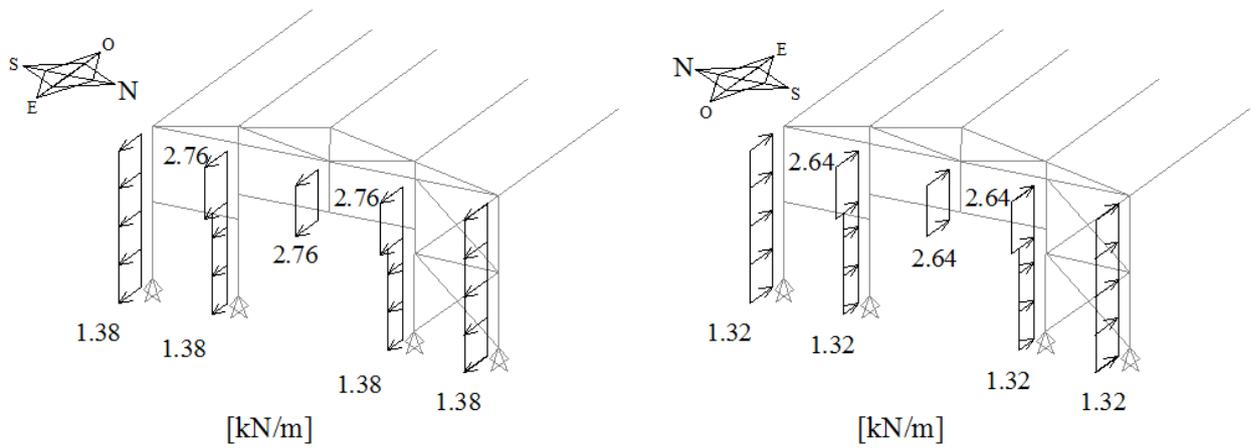


Figura 5.43 – Vento W2 nas fachadas orientadas a Este e Oeste na situação 1 (EC1.1.4)

○ Fachada orientada a Sul

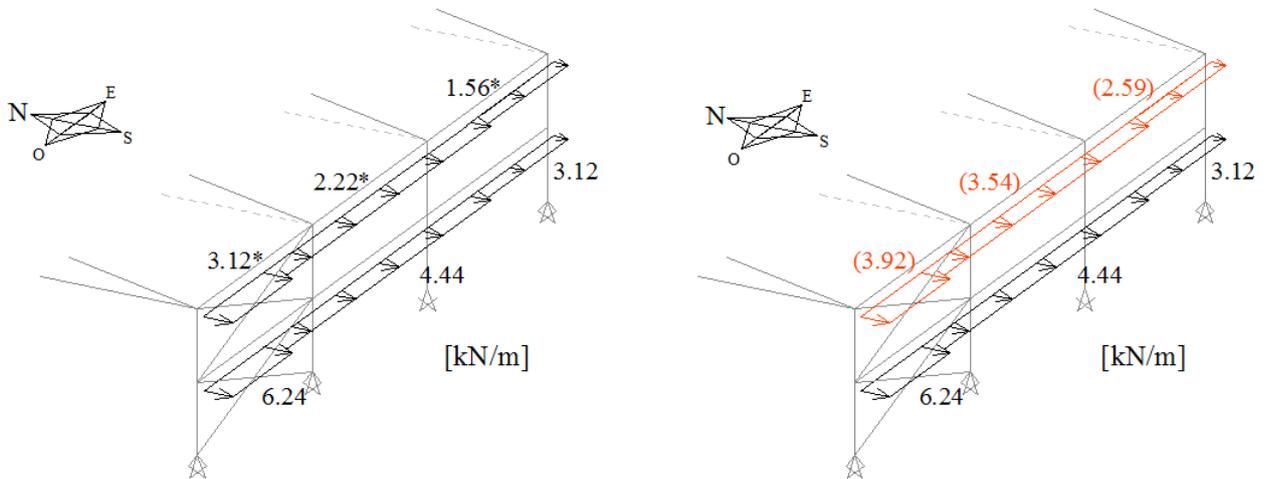


Figura 5.44 - Vento W2 na fachada orientada a Sul na situação 1 (EC1.1.4)

○ Fachada orientada a Norte

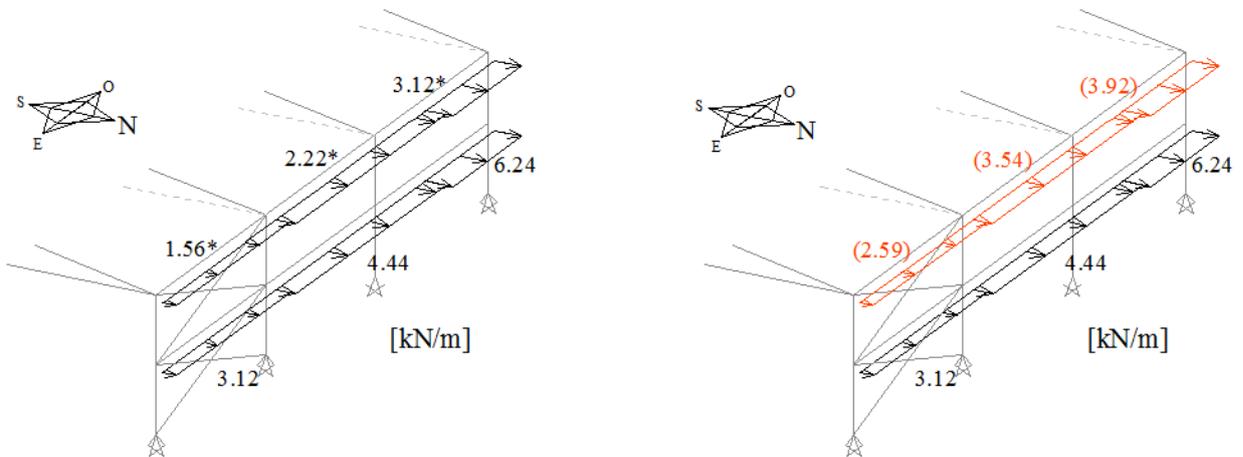


Figura 5.45 - Vento W2 na fachada orientada a Norte na situação 1 (EC1.1.4)

5.4.3.2. Situação 2

5.4.3.2.1. Cargas atuantes na cobertura

As cargas atuantes na cobertura devido à sobrecarga e ao revestimento são os mesmos valores que os determinados no capítulo 5.4.3.1.1 e encontram-se na Figura 5.35 e na Figura 5.36.

As seguintes figuras apresentam o carregamento na cobertura devido ao vento W1 e W2 para a situação 2 e o seu respetivo valor de carga linearmente distribuída em cada barra considerada.

Vento (W1;W2)³⁴

- Vento (W1)

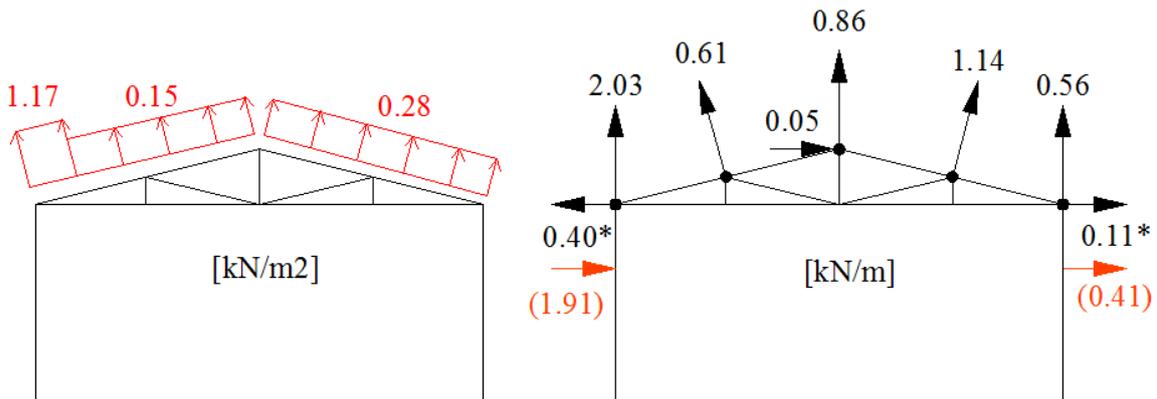


Figura 5.46 - Vento W1 na cobertura na situação 2 (EC1.1.4)

- Vento (W2)

Relativamente ao vento W2, tal como se verificou na situação 1, existem zonas na cobertura com valores de pressão diferentes. A Figura 5.47 ilustra essas zonas e a Figura 5.48 apresenta as cargas linearmente distribuídas nas barras devido a estas pressões.

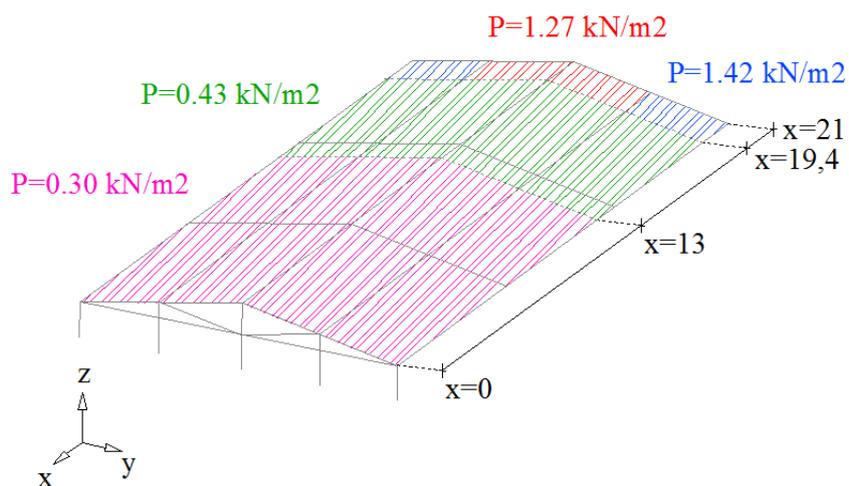


Figura 5.47 - Zonas na cobertura com diferentes pressões exercidas pelo vento W2 na situação 2 (EC1.1.4)

³⁴ Os valores com (*) são os valores para a carga em causa, os valores abaixo (a laranja) são os valores corrigidos devido à combinação de duas cargas (a carga do vento na cobertura e a carga do vento nas fachadas do edifício).

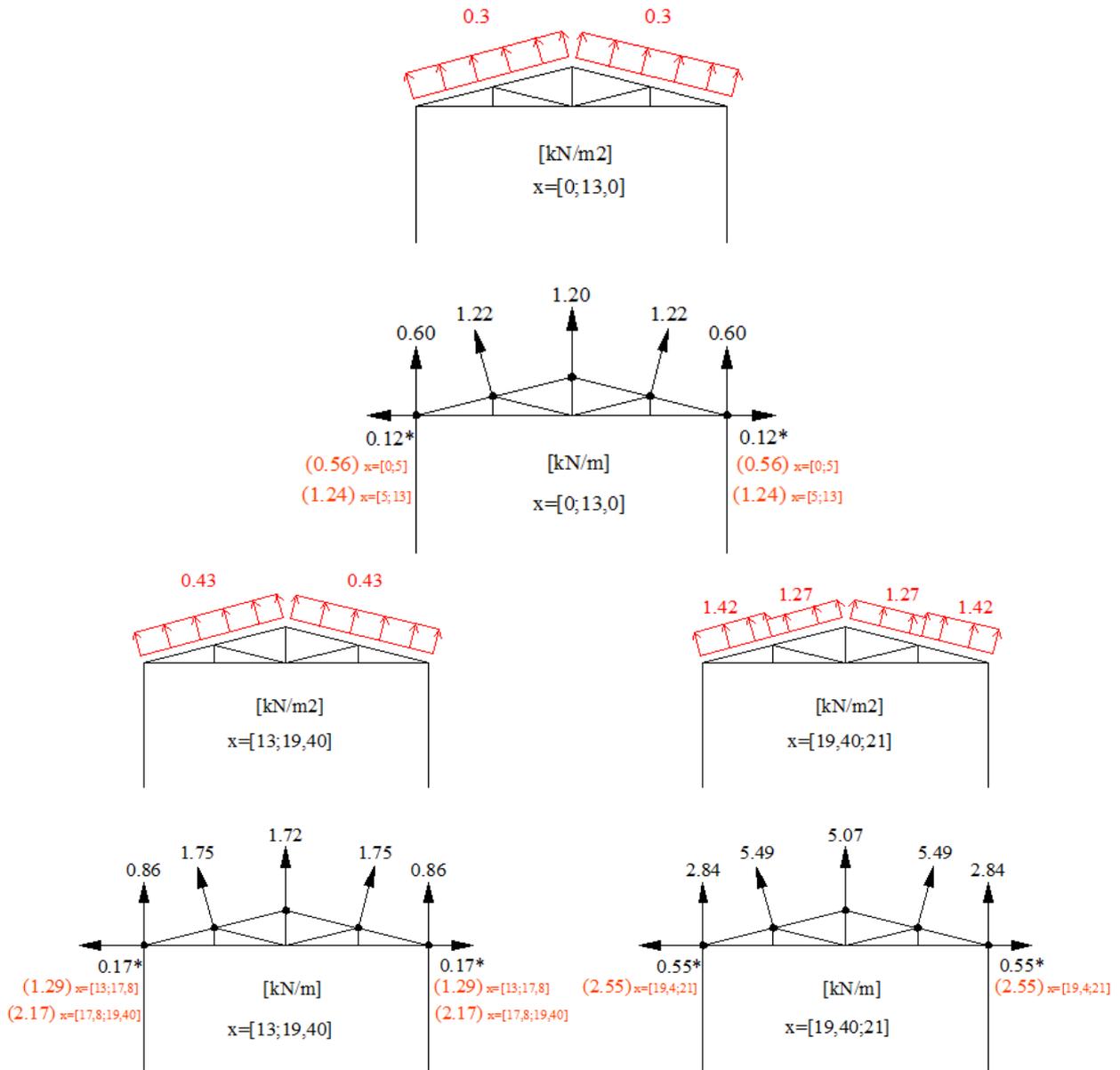


Figura 5.48 - Vento W2 na cobertura para $x=[0;13];[13;19,40];[19,40;21]$ na situação 2 (EC1.1.4)

5.4.3.2.2. Cargas atuantes nas fachadas

Nas figuras seguintes estão esquematizados os carregamentos nas fachadas (vento W1 e vento W2) para a situação 2 e o seu respetivo valor de carga linearmente distribuída nas barras consideradas para cada orientação.

Vento (W1;W2)³⁵

- Vento (W1)
 - Fachadas orientadas a Este e Oeste

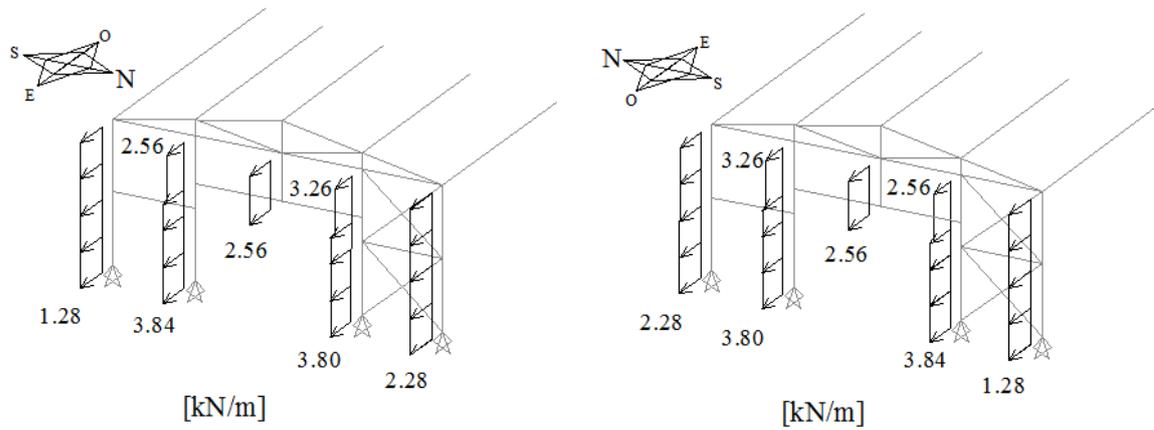


Figura 5.49 - Vento W1 nas fachadas orientadas a Oeste e Este na situação 2 (EC1.1.4)

- Fachada orientada a Sul

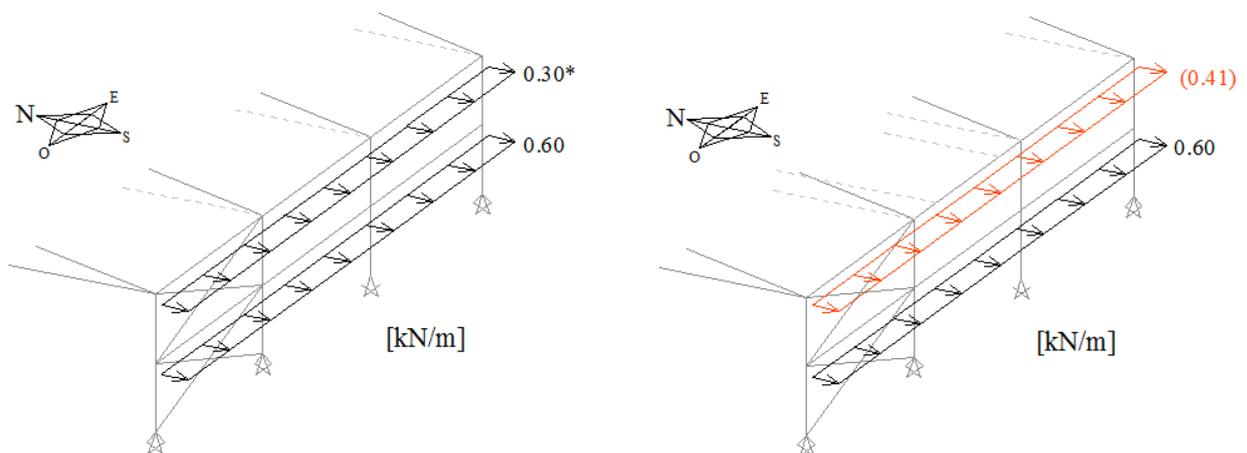


Figura 5.50 - Vento W1 na fachada orientada a Sul na situação 2 (EC1.1.4)

³⁵ Os valores com (*) são os valores para a carga em causa, a figura ao lado com os valores a laranja são os valores corrigidos devido à combinação de duas cargas (a carga do vento na cobertura e a carga do vento nas fachadas do edifício).

- Fachada orientada a Norte

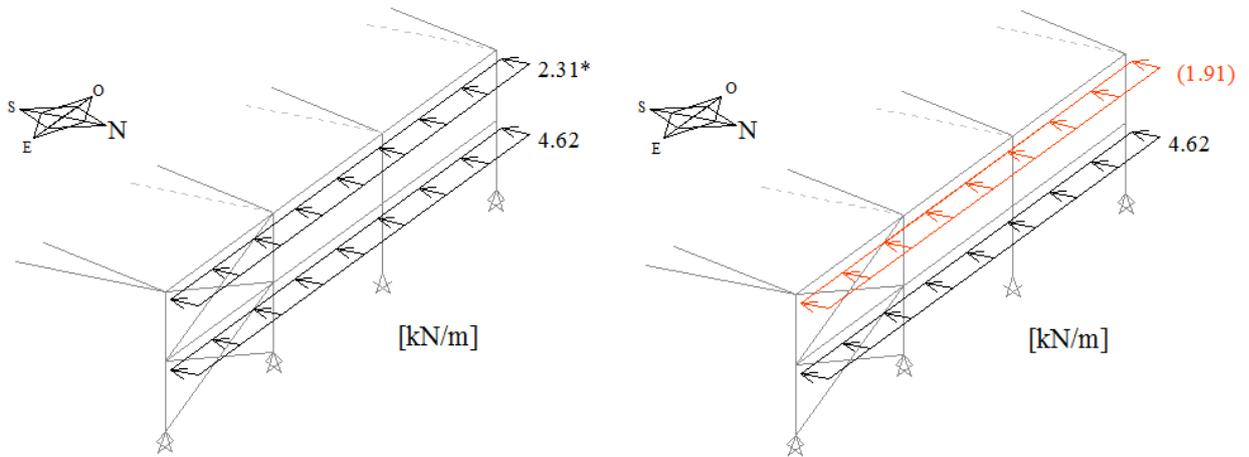


Figura 5.51 - Vento W1 na fachada orientada a Norte na situação 2 (EC1.1.4)

- Vento (W2)
 - Fachadas orientadas a Este e Oeste

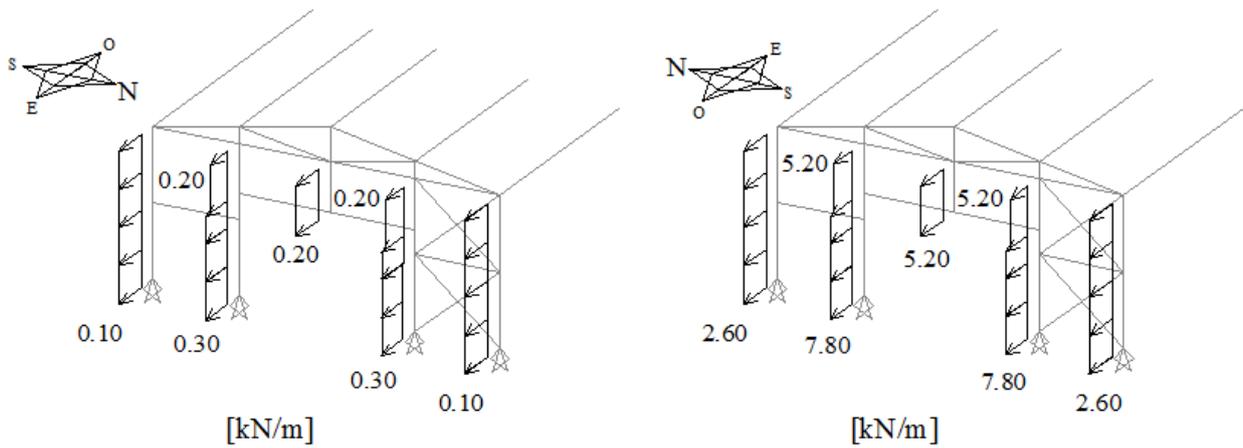


Figura 5.52 - Vento W2 na fachada orientada a Este e Oeste na situação 2 (EC1.1.4)

○ Fachada orientada a Sul

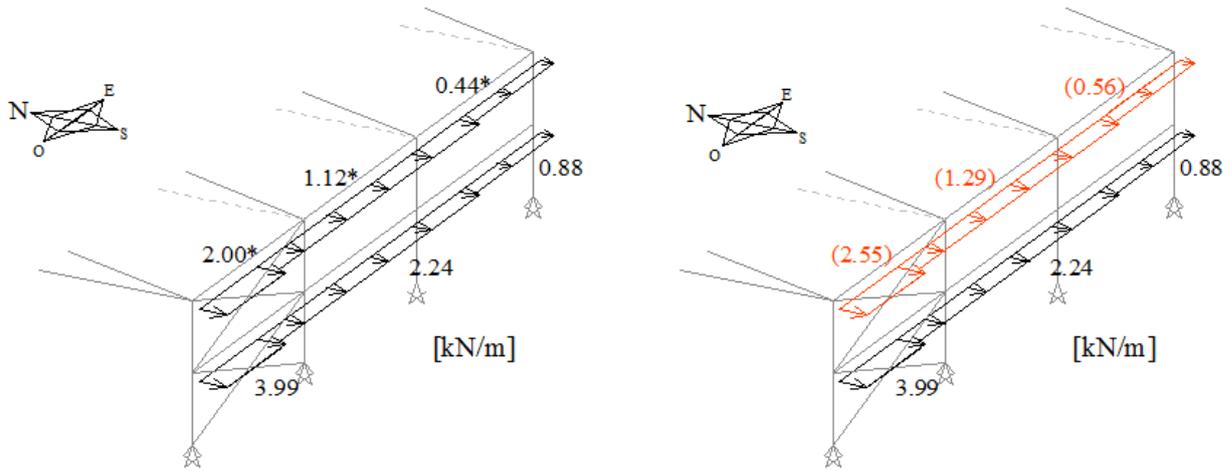


Figura 5.53 - Vento W2 na fachada orientada a Sul na situação 2 (EC1.1.4)

○ Fachada orientada a Norte

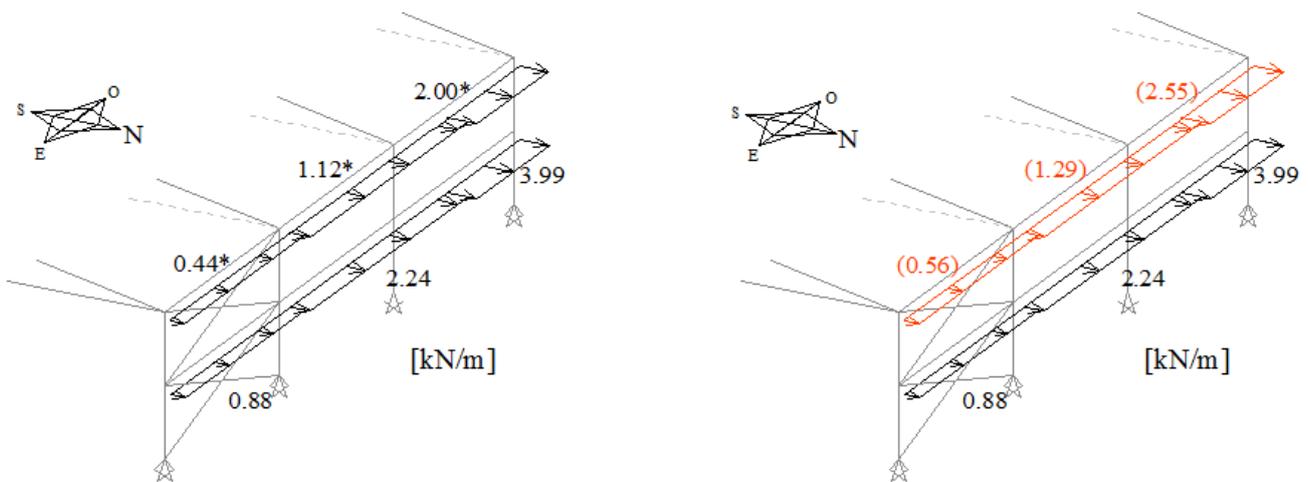


Figura 5.54 - Vento W2 na fachada orientada a Norte na situação 2 (EC1.1.4)

5.4.4. Modelo computacional (Programa SAP 2000)

5.4.4.1. Combinação de ações

Tal como no dimensionamento da estrutura segundo o RSA, é necessário inserir todas as combinações de ações possíveis no programa SAP2000, que neste caso corresponde a 40 combinações para a situação de projeto persistente ou transitória (E. L. U.) e 2 combinações para a combinação característica (E. L. Utilização). Estas combinações têm em conta os coeficientes de

segurança indicados na Tabela 5.3 e os coeficientes para obter o valor reduzido de cada ação definidos no subcapítulo 5.4.1.

5.4.4.2. Dimensionamento

Estados limites últimos

Primeiramente é de referir que para efetuar o dimensionamento da estrutura optou-se por estudar a situação mais desfavorável, ou seja, a situação 1 (edifício com simulação de aberturas) uma vez que esta apresenta, no geral, cargas aplicadas na estrutura superiores às obtidas na situação 2.

Para efetuar o dimensionamento da estrutura segundo a norma atual, o EC, optou-se por servir como base a estrutura previamente dimensionada pelo regulamento antigo, o RSA.

Tal como foi efetuado no dimensionamento da estrutura segundo o RSA, este processo passou por analisar os elementos estruturais críticos, isto é, os que apresentam um rácio superior a 1,0 e substituir estas barras por perfis mais resistentes.

Verificou-se que, devido às condições impostas pelo EC, os perfis adotados para o edifício dimensionado pelo RSA não permitem a verificação à segurança dos estados limites últimos do EC. Assim, foi necessário optar por trocar alguns perfis por uns mais resistentes, isto é, substituir o perfil HE160-B por HE180-B na cobertura e substituir o perfil HE120-A por HE120-B nos contraventamentos.

Obteve-se desta forma, uma estrutura com perfis do tipo HE240-B, HE 180-B e HE 120-B, e foram distribuídas da seguinte forma:

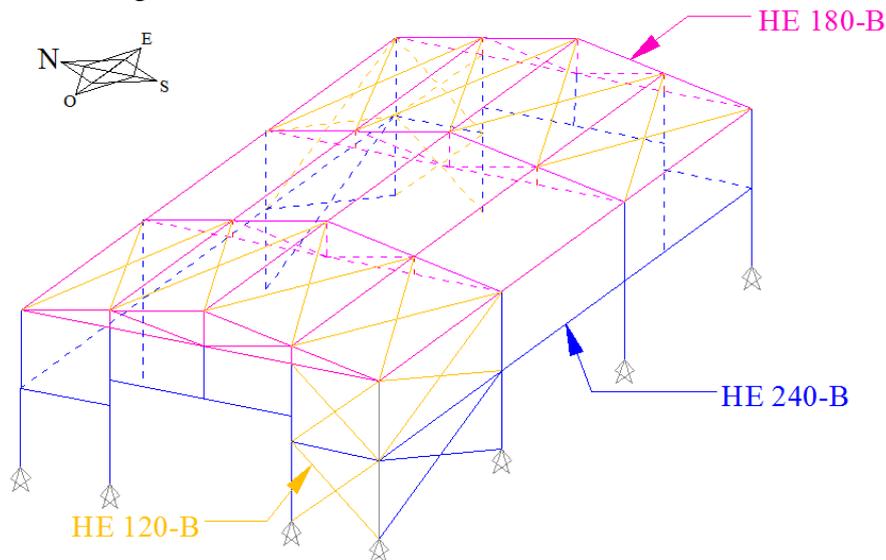


Figura 5.55 - Edifício dimensionado pelo EC com indicação dos perfis adotados

Estados limites de utilização

Após o dimensionamento tendo em conta os estados limites últimos, procedeu-se à verificação aos estados limites de utilização que consiste em analisar as flechas provocadas nas barras de estrutura devido à combinação característica de ações dos estados limites de utilização.

Este processo consiste em obter as flechas (deslocamentos ascendentes) diretamente do programa SAP2000 e comparar com o valor máximo, que para cobertura em geral tem que cumprir a expressão 4.20.

Com base na estrutura previamente dimensionada tendo em consideração os E. L. U., conclui-se que uma vez que as flechas obtidas apresentam um valor inferior ao estipulado pelo regulamento, que cumpre também os E. L. Utilização.

Reações nos apoios

Esta verificação consiste em analisar as reações nos apoios da mesma forma que no subcapítulo 4.3.4.2. Pretende-se novamente estimar as margens relativamente ao peso das sapatas constituintes da estrutura.

A seguinte tabela indica o valor máximo e mínimo da reação no apoio no eixo z para cada caso e encontra-se destacado o valor máximo negativo e o valor máximo positivo.

Tabela 5.30 – Valor total, máximo e mínimo da reação nos apoios do edifício no eixo Z para W1, W2 e as combinações de ações (EC)

W1	MÁXIMO	85,91
	MÍNIMO	-121,223
W2	MÁXIMO	17,91
	MÍNIMO	-76,394
COMBOS	MÁXIMO	70,405
	MÍNIMO	18,994

Assim, conclui-se que as sapatas terão que apresentar um peso mínimo de modo a contrariar o efeito de tração na vertical de valor 121,22 kN, ou seja, um peso mínimo de 12,12 ton. E terão que apresentar uma área que conduza a uma tensão atuante que não exceda a tensão admissível do solo onde será implementada a estrutura, tendo em conta o valor máximo da reação de compressão de 85,91 kN.

5.4.4.3. Identificação dos elementos estruturais críticos

Os elementos estruturais mais solicitados relativamente à sua resistência são os que apresentam um rácio S_d/R_d maior. Analisou-se assim estes valores para a situação 1 e a situação 2 tendo em conta a estrutura dimensionada.

A Figura 5.56 e a Figura 5.57 indicam, em escala a cores, os elementos e os rácios correspondentes do edifício em estudo para a situação 1 e 2, respetivamente.

Situação 1

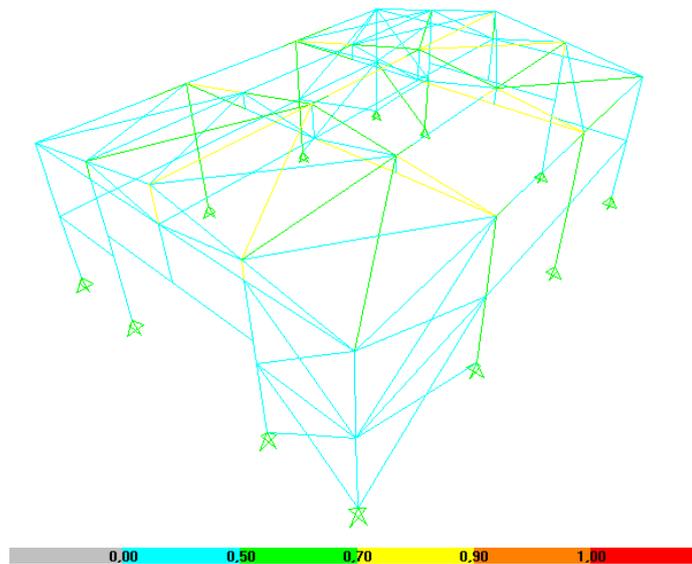


Figura 5.56 – Identificação dos elementos estruturais críticos no edifício em estudo na situação 1 (EC)

Situação 2

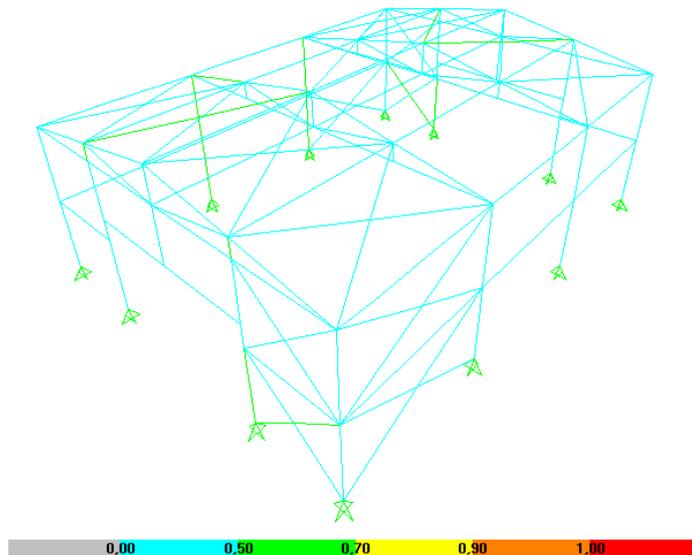


Figura 5.57 - Identificação dos elementos estruturais críticos no edifício em estudo na situação 2 (EC)

Analisando a situação 1, em que se simulou a existência de aberturas, verifica-se que os elementos que apresentam valores superiores (cor amarela) se situam na cobertura e nos contraventamentos na cobertura.

Comparando as duas situações conclui-se que situação 1 apresenta elementos estruturais na cobertura e nas fachadas com rácios superiores relativamente à situação 2. Isto deve-se ao facto do coeficiente de pressão interior na situação 1 agravar os valores dos coeficientes de pressão globais pela existência de aberturas nas fachadas e conseqüentemente aumentar as pressões exercidas nas superfícies.

6. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE RSA E EC

Após o dimensionamento do caso de estudo pelo regulamento antigo, o RSA, e a norma atual, o EC, foi possível enumerar sucintamente algumas semelhanças e algumas diferenças.

Relativamente aos E. L. U. verifica-se que, tanto as expressões utilizadas como os coeficientes para obter os valores reduzidos no RSA e no EC, são idênticos. Por outro lado, nos E. L. Utilização, as expressões são diferentes, no que se refere ao coeficiente para obtenção do valor reduzido da ação variável acompanhante (o RSA considera ψ_1 e o EC0 considera ψ_0). Deste modo, como os valores ψ_1 são menores, os esforços resultantes atuantes para estas combinações são mais reduzidos no RSA (combinação rara) do que no EC (combinação característica). O coeficiente de segurança para ações permanentes (γ_g) em situações desfavoráveis segundo o RSA é maior (1,50) do que o EC0 (1,35) o que conduz ao seu agravamento. Com esta análise cumpriu-se o objetivo a) que consiste em detetar diferenças entre o RSA e o EC0/EC1.

As ações térmicas, segundo o RSA, são estimadas de uma forma muito simplificada enquanto que o EC1 engloba um capítulo extenso, a parte 1-5 do EC1, a qual exige um estudo mais aprofundado desta ação. Concluindo desta forma, e cumprindo o objetivo e), que os valores obtidos pelo RSA serão maiores do que os obtidos pelo EC1, o que conduz a que o RSA seja mais conservativo relativamente a esta ação. O recurso a cálculos mais elaborados imposto pelo EC1, conduz a resultados mais refinados e logo, a valores mais baixos quando comparados com o RSA. Cumpre-se assim o objetivo f).

Em relação à ação do vento, para a determinação da sua pressão dinâmica, ambos os regulamentos englobam os aspetos relativos ao zonamento do território, à rugosidade do terreno e a orografia, apesar do EC1 possibilitar uma maior definição em termos de rugosidade do terreno (5 escalões) do que o RSA (rugosidade tipo I e II). A pressão dinâmica do vento no EC1 contempla ainda alguns fatores adicionais relativamente ao RSA, nomeadamente; o fator direcional, c_{dir} (que considera a possibilidade do vento incidir em várias direções), e o fator sazonal, c_{season} (influência da variação do vento resultante das estações do ano). A pressão dinâmica do vento calculada com base no EC1 ($q_p=1,27\text{kN/m}^2$) é maior do que a determinada com recurso ao RSA ($w_k=1,08\text{kN/m}^2$). O facto de o EC englobar fatores adicionais no cálculo deste parâmetro permite concluir que o valor obtido pelo EC será mais próximo do real.

O EC1 contempla também efeitos dinâmicos em função do fator estrutural, $c_s c_d$, contrariamente ao que sucede no RSA. Este fator não foi quantificado no caso de estudo uma vez que a altura do edifício é inferior a 15 m, pelo que este parâmetro apresenta um valor de 1,0.

Para efetuar o dimensionamento do edifício em estudo e deste modo ter em conta os efeitos da ação do vento, simulou-se duas situações diferentes, a situação 1 (com simulação de aberturas nas fachadas) e a situação 2 (sem simulação de aberturas) para depois, a partir da situação mais desfavorável, proceder à escolha dos perfis adequados. Entre a situação 1 e a situação 2, concluiu-se no geral que a situação 1 origina pressões superiores nas superfícies pelo que se recorre a estes valores mais desfavoráveis para dimensionar o edifício em estudo, segundo o RSA e o EC.

Com base no edifício dimensionado, pelo RSA e pelo EC, foi possível efetuar uma comparação entre os dois e concluir acerca de qual deles é o mais conservativo para cada situação.

Situação 1 – com simulação de aberturas nas fachadas

A seguinte figura indica, numa escala a cores, o rácio entre o esforço atuante nos elementos e a resistência dos elementos estruturais do edifício dimensionado pelo RSA. A primeira imagem apresenta o edifício sujeito às ações determinadas pelo RSA e a segunda imagem o edifício sujeito às ações determinadas pelo EC. Pretende-se analisar as diferenças relativamente aos esforços nas barras entre o RSA e o EC.

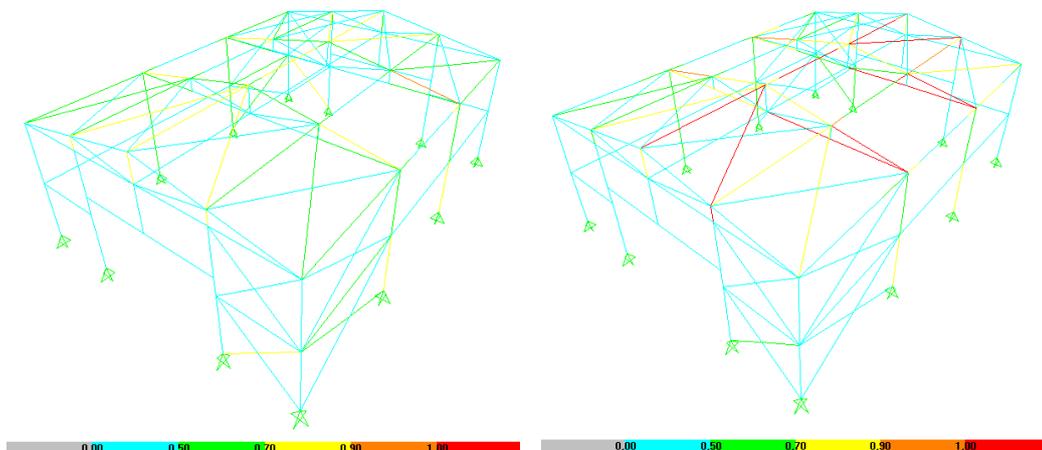


Figura 6.1 – Análise dos rácios nos elementos estruturais do edifício dimensionado segundo o RSA sujeito às ações determinadas pelo RSA e pelo EC (Situação 1)

Analisando os rácios verifica-se que o edifício sujeito às ações calculadas pelo EC apresenta esforços maiores, existindo barras com rácios superiores a 1, nomeadamente na cobertura. Estas barras indicam os locais onde o perfil não resiste ao esforço atuante e portanto ocorre a rutura, pelo que foi necessário recorrer a perfis de maior secção de modo a cumprir os requisitos do EC. Assim, demonstra que o EC é a norma mais conservativa em comparação com o RSA (para a situação 1).

Situação 2 – sem simulação de aberturas

A seguinte figura indica, numa escala a cores, os rácios nos elementos estruturais do edifício dimensionado pelo RSA. Do mesmo modo como foi apresentado anteriormente, a primeira figura apresenta o edifício sujeito às ações determinadas pelo RSA e a segunda o edifício sujeito às ações determinadas pelo EC.

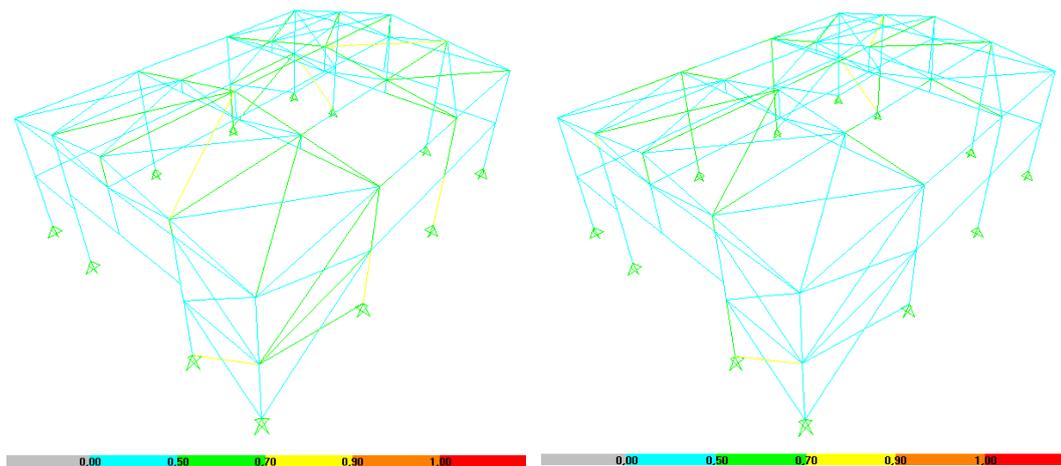


Figura 6.2 - Análise dos rácios nos elementos estruturais do edifício dimensionado segundo o RSA sujeito às ações determinadas pelo RSA e pelo EC (Situação 2)

Analisando os rácios verifica-se que o edifício sujeito às ações calculadas pelo RSA apresenta esforços superiores embora muito próximos dos obtidos pelo EC. Conclui-se assim que o RSA é o regulamento mais conservativo para a situação 2.

Após a simulação e a análise dos elementos estruturais críticos das duas situações verifica-se que na situação 1 o EC é o mais conservativo e na situação 2 verifica-se o contrário, ou seja o RSA é o mais conservativo apesar da diferença entre os rácios ser reduzida. A desigualdade entre as

duas situações resulta da diferença do valor do coeficiente de pressão interior devido à existência ou não de aberturas nas fachadas.

Na situação 1, consultando a Figura 6.1, verifica-se que as pressões exercidas nas superfícies segundo o EC são maiores em comparação com o RSA. Relativamente aos coeficientes de pressão interior o RSA considera $c_{pi}=-0,3$ quando o vento incide nas fachadas impermeáveis (W1) e $c_{pi}=+0,2$ quando incide nas fachadas permeáveis (W2). Portanto, quando o vento incide nas fachadas impermeáveis o RSA considera que a pressão interior vai aliviar no geral a pressão global nas superfícies, e quando atua nas superfícies permeáveis considera que a pressão interior vai agravar a pressão global nas superfícies.

O EC1, por outro lado, considera c_{pi} o valor mais gravoso entre $+0,2$ e $-0,3$ para cada direção do vento (W1 e W2), e verificou-se que o valor mais desfavorável, tanto para W1 como para W2, é de $+0,2$. Neste caso, em ambas as direções do vento (W1 e W2), os coeficientes de pressão interior vão agravar os coeficientes de pressão globais e conseqüentemente as pressões no EC1 vão ser superiores comparativamente com as obtidas no RSA. Para além disto, a pressão dinâmica do vento no EC1 é maior do que no RSA sendo portanto outro fator condicionante na diferença de pressões nesta situação.

Na situação 2, consultando a Figura 6.2, verifica-se que o RSA é mais conservativo. Nesta situação os coeficientes de pressão interior adotados, no RSA e no EC1, apresentam o mesmo valor ($c_{pi}=-0,3$), não podendo este ser o fator determinante na diferença de pressões entre o RSA e o EC1. Esta diferença de pressões resulta então do facto dos coeficientes de pressão exterior a considerar no RSA serem no geral mais conservativos em comparação com o EC1. Cumpre-se o objetivo d).

Observando a Figura 6.1, assumindo que a situação de simulação de aberturas (situação 1) é a mais desfavorável e portanto foi a considerada para efetuar o dimensionamento, verifica-se que as pressões exercidas nas fachadas e na cobertura são em geral maiores no dimensionamento segundo o EC. A referência de todas as diferenças entre o RSA e o EC permite o cumprimento do objetivo b).

Efetuando, para o RSA e para o EC, o dimensionamento do edifício em estudo e tendo em consideração a situação 1 (no geral a mais desfavorável) e as regras impostas por estes regulamentos, verifica-se que a solução de dimensionamento segundo o EC apresenta perfis com maior secção, como se pode verificar na Figura 6.3. Assim, através do desenvolvimento deste

trabalho com base no caso de estudo, o EC1 é considerado o mais conservativo para o edifício em estudo, cumprindo o objetivo c).

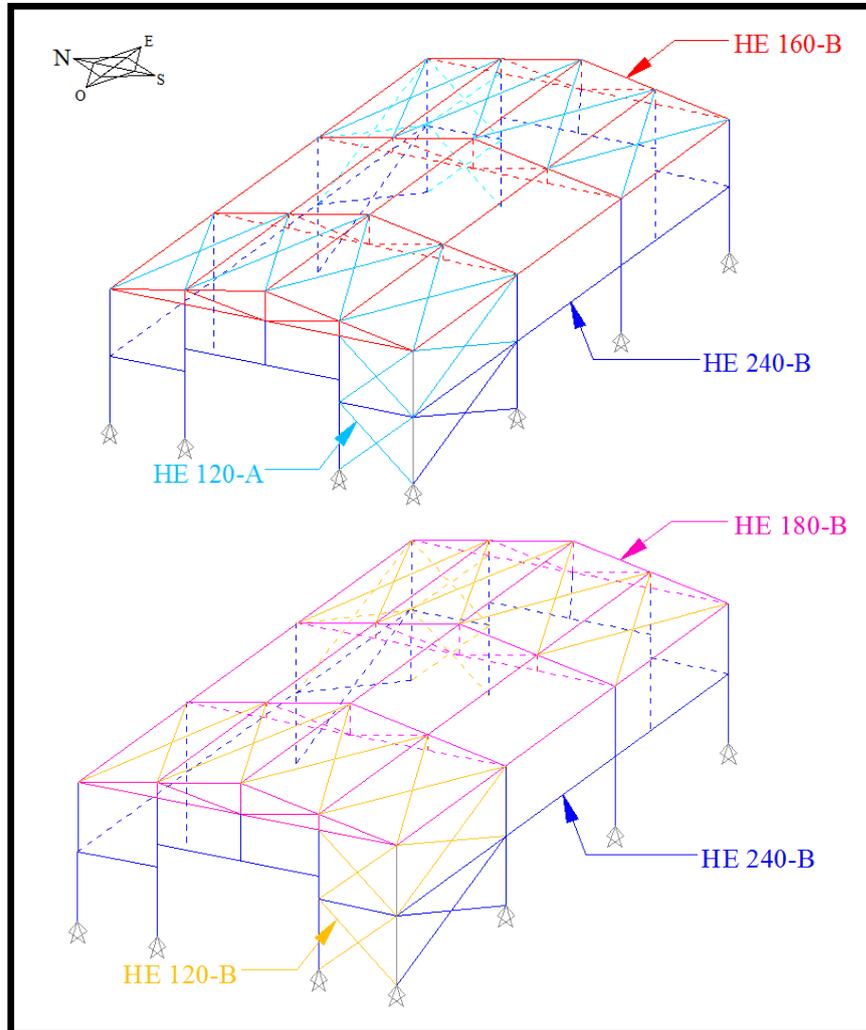


Figura 6.3 – Comparação entre edifícios dimensionados pelo RSA e EC

7. CONCLUSÕES

Após um enquadramento teórico dos fatores relevantes ao dimensionamento de um edifício de estrutura metálica e ao dimensionamento em si, segundo o RSA e o EC, com recurso ao programa de elementos finitos SAP2000, foi possível retirar algumas conclusões relativas à ação do vento e a sua influência neste tipo de edifícios.

Para o dimensionamento segundo o RSA optou-se por ter como ponto de partida um edifício com apenas dois tipos de perfil, isto é, HE 200-B em toda a estrutura exceto nos contraventamentos onde se colocou HE 120-B. Dimensionou-se o edifício com o intuito de obter uma estrutura que cumprisse os requisitos do RSA e fosse ao mesmo tempo a mais económica possível. Por outro lado, no dimensionamento segundo o EC, optou-se por ter como ponto de partida a estrutura anteriormente dimensionada pelo RSA de modo a identificar de imediato algumas diferenças e efetuar as alterações necessárias de modo a obter um edifício que cumprisse os requisitos do EC.

Foi possível verificar que a estrutura concebida com os perfis adotados pelo RSA, não permitia o cumprimento com as verificações de segurança impostas pelo EC, pelo que se tornou necessário alterar dois tipos de perfil, mais concretamente, o HE 160-B situado na cobertura para um mais resistente, o HE 180-B, e o HE 120-A situado nos contraventamentos para o HE 120-B.

Em termos de dimensionamento do edifício em estudo, à exceção destes perfis, não se verificaram grandes diferenças nos perfis adotados para os dois casos, de modo a verificar as condições de segurança impostas pelo RSA e pelo EC.

Através da consulta da Figura 6.1, em que se identifica os elementos estruturais críticos do edifício dimensionado pelo RSA (para a situação 1), é possível verificar que o edifício sujeito às ações determinadas pelo EC apresenta rácios maiores do que o edifício sujeito às ações do RSA. Desta forma concluiu-se que os elementos estruturais estão sujeitos a esforços maiores quando se aplica o EC, e isto deve-se ao facto dos requisitos impostos por esta norma serem mais conservativos, quando a existência de aberturas é preponderante. Assim conclui-se que a norma atual (EC) é mais conservativo neste tipo de situação uma vez que foi necessário recorrer a perfis

maiores, e conseqüentemente a estrutura será mais robusta. Para a situação 2 concluiu-se que o RSA é ligeiramente conservativo para o edifício em estudo.

Através da consulta de outros trabalhos relacionados com este tema, nomeadamente (Nunes, P. E. V., 2008) foi possível verificar que no caso de coberturas metálicas (isoladas), ao contrário do que se concluiu neste trabalho para a situação 1, o regulamento mais conservativo é o RSA. Assim, não se pode concluir, no geral e para todo o tipo de estruturas, que a norma mais conservativa é o EC, tal depende da tipologia da estrutura e da existência de aberturas.

Este trabalho poderá conduzir a desenvolvimentos futuros, apresentando-se seguidamente algumas propostas:

- Na aplicação do EC1.1.4, na fase da determinação das pressões exercidas nas superfícies pela ação do vento, optar por considerar c_{pi} apenas 70% de c_{pe} (da face predominante);
- Adotar o edifício estudado neste trabalho e aumentar a sua altura de modo a analisar a variação da ação do vento com a altura;
- Efetuar este tipo de estudo de comparação entre o RSA e o EC em outros tipos de estruturas de modo a verificar qual dos dois é o mais conservativo;
- Estudar o efeito da ação do vento em elementos isolados como chaminés ou painéis de sinalização e efetuar o seu dimensionamento.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

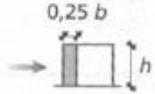
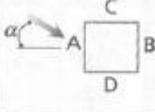
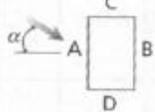
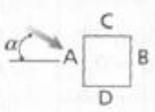
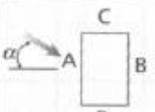
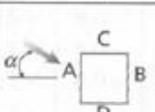
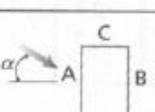
- BARRETO, V. (2010) *Apontamentos acerca do EC1-1-4 no âmbito da disciplina de Análise de Estruturas II*, UAIG – ISE – Licenciatura em Engenharia Civil.
- COOK, N. (2007) *Designers' Guide to EN 1991-1-4 Eurocode 1: Actions on structures, general actions part 1-4. Wind Actions*, Series editor Haig Gulvanessian.
- GUERRA, J. (2010) *Fundamentos de conceção de estruturas – Pré-dimensionamento*, Universidade Fernando Pessoa – Engenharia Civil 2010.
- MARTINS, J.G. (2008) *Análise de Estruturas – Acção do Vento*, 8ª edição/2008.
- Norma Portuguesa NP EN 1990 (2009) *Eurocódigo – Bases para o projeto de estruturas* – Instituto Português da Qualidade.
- Norma Portuguesa NP EN 1991-1-1 (2009) *Eurocódigo 1 – Ações em estruturas Parte 1-1: Ações gerais. Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios* – Instituto Português da Qualidade.
- Norma Portuguesa NP EN 1991-1-4 (2009) *Eurocódigo 1 – Ações em estruturas Parte 1-4: Ações gerais. Ação do vento* – Instituto Português da Qualidade.
- Norma Portuguesa NP EN 1991-1-5 (2009) *Eurocódigo 1 – Ações em estruturas Parte 1-5: Ações gerais. Ações térmicas* – Instituto Português da Qualidade.

- Norma Portuguesa NP EN 1993-1-1 (2010) *Eurocódigo 3 – Projeto de estruturas de aço Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios* – Instituto Português da Qualidade.
- NUNES, P. E. V. (2008) *Acção do vento em coberturas metálicas - Modelação de uma estrutura do tipo sombreador*, Faculdade de Ciências e Tecnologias (Universidade Nova de Lisboa).
- PERFITEC, *Revestimentos metálicos* - www.perfitec.pt.
- Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes, Aprovado pelo Decreto-Lei n.º 235/83, de 31 de Maio (2007) – Porto Editora.
- Reis, A. J. (1996) *Dimensionamento de estruturas, 1996/97 Parte II – Segurança e acções*, Instituto Superior Técnico (DECivil).
- Trein, C. A. (2005) *Modelagem Dinâmica Equivalente de Edifícios Altos Submetidos à Acção do Vento*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Escola de Engenharia).

ANEXOS

Anexo 1

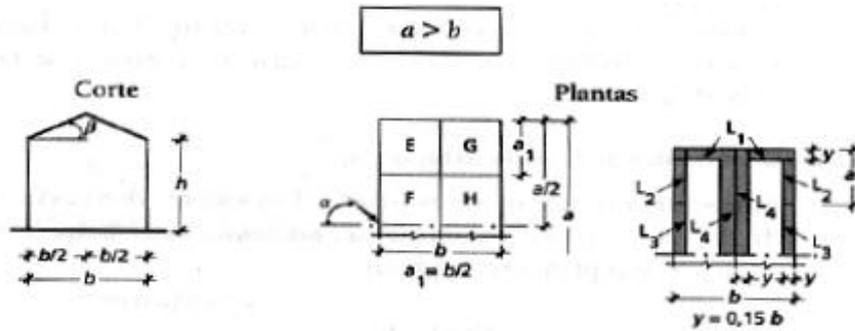
RSA Quadro I-I - Coeficientes de pressão exterior para paredes

Relações geométricas do edifício (*)		Planta	Direcção do vento α (graus)	Acções globais sobre as superfícies				Acções locais na faixa referenciada na figura
$\frac{h}{b}$	$\frac{a}{b}$			A	B	C	D	
$\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	$1 < \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$		0	+0,7	-0,2	-0,5	-0,5	-0,8
			90	-0,5	-0,5	+0,7	-0,2	
	$\frac{3}{2} < \frac{a}{b} \leq 4$		0	+0,7	-0,25	-0,6	-0,6	-1,0
			90	-0,5	-0,5	+0,7	-0,1	
$\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	$1 < \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$		0	+0,7	-0,25	-0,6	-0,6	-1,1
			90	-0,6	-0,6	+0,7	-0,25	
	$\frac{3}{2} < \frac{a}{b} \leq 4$		0	+0,7	-0,3	-0,7	-0,7	-1,1
			90	-0,5	-0,5	+0,7	-0,1	
$\frac{3}{2} < \frac{a}{b} \leq 4$	$1 < \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$		0	+0,8	-0,25	-0,8	-0,8	-1,2
			90	-0,8	-0,8	+0,8	-0,25	
	$\frac{3}{2} < \frac{a}{b} \leq 4$		0	+0,7	-0,4	-0,7	-0,7	-1,2
			90	-0,5	-0,5	+0,8	-0,1	

(*) h representa a altura do edifício; a e b representam, respectivamente, a maior e a menor dimensão em planta.

Anexo 2

RSA Quadro I-II - Coeficientes de pressão para coberturas de duas vertentes



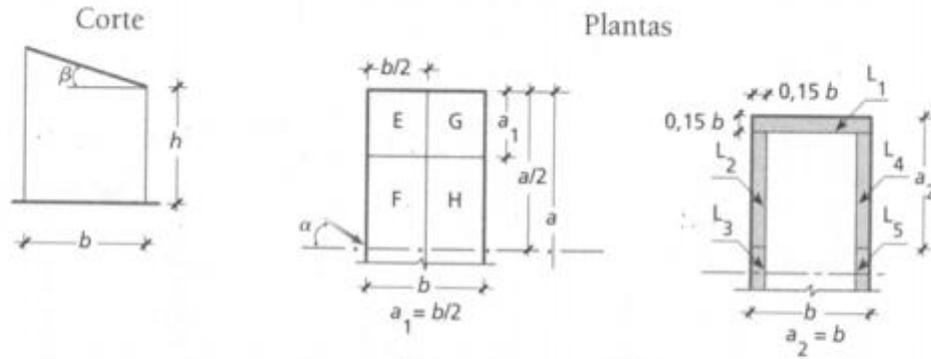
Relações geométricas do edifício $\frac{h}{b}$	Inclinação da vertente β (graus)	Acções globais				Acções locais			
		Direcção do vento							
		$\alpha = 0^\circ$		$\alpha = 90^\circ$		L_1	L_2	L_3	L_4
		E, F	G, H	E, G	F, H				
$\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	0	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2,0	-2,0	-2,0	
	5	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,0
	10	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4		-1,2
	20	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-1,0			-1,2
	30	0	-0,4	-0,7	-0,6	-0,8			-1,1
45	-0,3	-0,5	-0,7	-0,6				-1,1	
$\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	0	-0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-2,0	-2,0	-2,0	
	5	-0,9	-0,6	-0,9	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
	10	-1,1	-0,6	-0,8	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2
	20	-0,7	-0,5	-0,8	-0,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,0
	30	-0,2	-0,5	-0,8	-0,8	-1,0			-1,0
45	-0,2	-0,5	-0,8	-0,8				-1,0	
$\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$	0	-0,7	-0,6	-0,9	-0,7	-2,0	-2,0	-2,0	
	5	-0,7	-0,6	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
	10	-0,7	-0,6	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2
	20	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-1,5	-1,5	-1,5	-1,2
	30	-1,0	-0,5	-0,8	-0,7	-1,5			
40	-0,2	-0,5	-0,8	-0,7	-1,0				
50	+0,2	-0,5	-0,8	-0,7					

NOTA:

- Não há que considerar valores particulares para as acções locais nos casos em que no quadro não são indicados os respectivos coeficientes.

Anexo 3

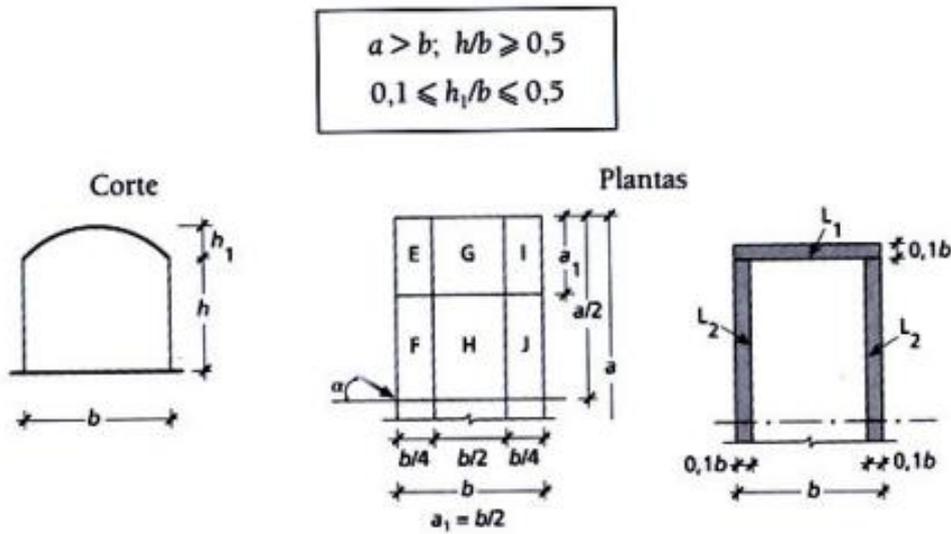
RSA Quadro I-III - Coeficientes de pressão para coberturas de uma vertente



Inclinação da vertente β (graus)	Acções globais										Acções locais				
	Direcção do vento, α														
	0°		45°		90°		135°		180°						
	E, F	G, H	E, F	G, H	E, G	F, H	E, F	G, H	E, F	G, H					
5 a 10	-1,0	-0,5	-1,0	-0,9	-1,0	-0,5	-0,9	-1,0	-0,5	-1,0	-2,0	-2,0	-1,5	-2,0	-1,5
15	-0,9	-0,5	-1,0	-0,7	-1,0	-0,5	-0,6	-1,0	-0,3	-1,0	-2,0	-1,8	-0,9	-1,8	-1,4
20	-0,8	-0,5	-1,0	-0,6	-0,9	-0,5	-0,5	-1,0	-0,2	-1,0	-2,0	-1,8		-1,8	-1,4
25	-0,7	-0,5	-1,0	-0,6	-0,8	-0,5	-0,3	-0,9	-0,1	-0,9	-2,0	-1,8			
30	-0,5	-0,5	-1,0	-0,6	-0,8	-0,5	-0,1	-0,6	0	-0,6	-2,0	-1,8			

Anexo 4

RSA Quadro I-IV - Coeficientes de pressão para coberturas cilíndricas com diretriz circular, elíptica ou parabólica

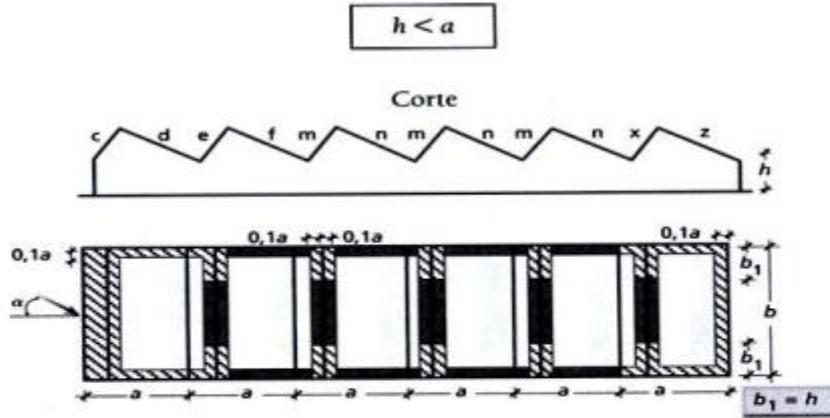


Abatimento h_1/b	Acções globais					Acções locais	
	Direcção do vento, α						
	0°			90°			
	E, F	G, H	I, J	E, G, I	F, H, J		
0,1	-0,9	-0,8	-0,5	-0,8	-0,6	-1,6	-1,8
0,2	-0,9 ou α (*)	-0,9	-0,5	-0,8	-0,6	-1,6	-1,8
0,3	-0,3 ou $+0,2$ (*)	-1,0	-0,5	-0,8	-0,6	-1,6	-0,6
0,4	+0,4	-1,1	-0,5	-0,8	-0,6	-1,6	
0,5	+0,7	-1,2	-0,5	-0,8	-0,6	-1,6	

(*) Deve considerar-se o valor mais desfavorável

Anexo 5

RSA Quadro I-V - Coeficientes de pressão para coberturas de duas vertentes



1 – Acções globais

Coeficiente δ_{pe} nas vertentes								Direcção do vento $\alpha = 90^\circ$		
c	d	e	f	m	n	x	z	Coeficientes δ_{pe} nas bandas		
Direcção do vento $\alpha = 0^\circ$								b_1	b_2	b_3
+0,6	-0,7	-0,7	-0,4	-0,3	-0,3	-0,1	-0,3	-0,8	-0,6	-0,2
Direcção do vento $\alpha = 180^\circ$										
-0,5	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,6	-0,6	-0,1			

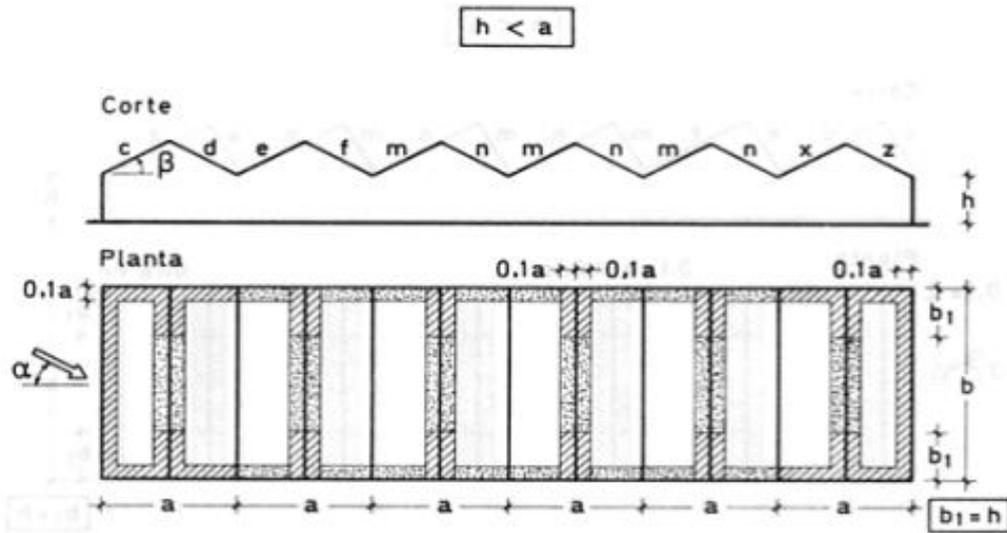
2 – Acções locais

Os coeficientes δ_{pe} que definem as acções locais a ter em conta nas faixas assinaladas na figura são os seguintes:

- Faixas tracejadas -2,0
- Faixas sombreadas -1,5

Anexo 6

RSA Quadro I-VI - Coeficientes de pressão para coberturas múltiplas em dente de serra



1 - Acções globais

Inclinação das vertentes β (graus)	Direcção do vento $\alpha = 0^\circ$								Direcção do vento $\alpha = 90^\circ$		
	Coeficientes δ_{pe} nas vertentes								Coeficientes δ_{pe} nas bandas		
	c	d	e	f	m	n	x	z	b_1	b_2	b_3
5 a 10	-1,1	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,8	-0,6	-0,2
20	-0,7	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,5			
30	-0,2	-0,6	-0,4	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	-0,5			
45	+0,3	-0,6	-0,6	-0,4	-0,2	-0,4	-0,2	-0,5			

2 - Acções locais

Os coeficientes δ_{pe} que definem as acções locais a ter em conta nas faixas assinaladas na figura são os seguintes:

- Faixas tracejadas - 2,0
- Faixas sombreadas - 1,5

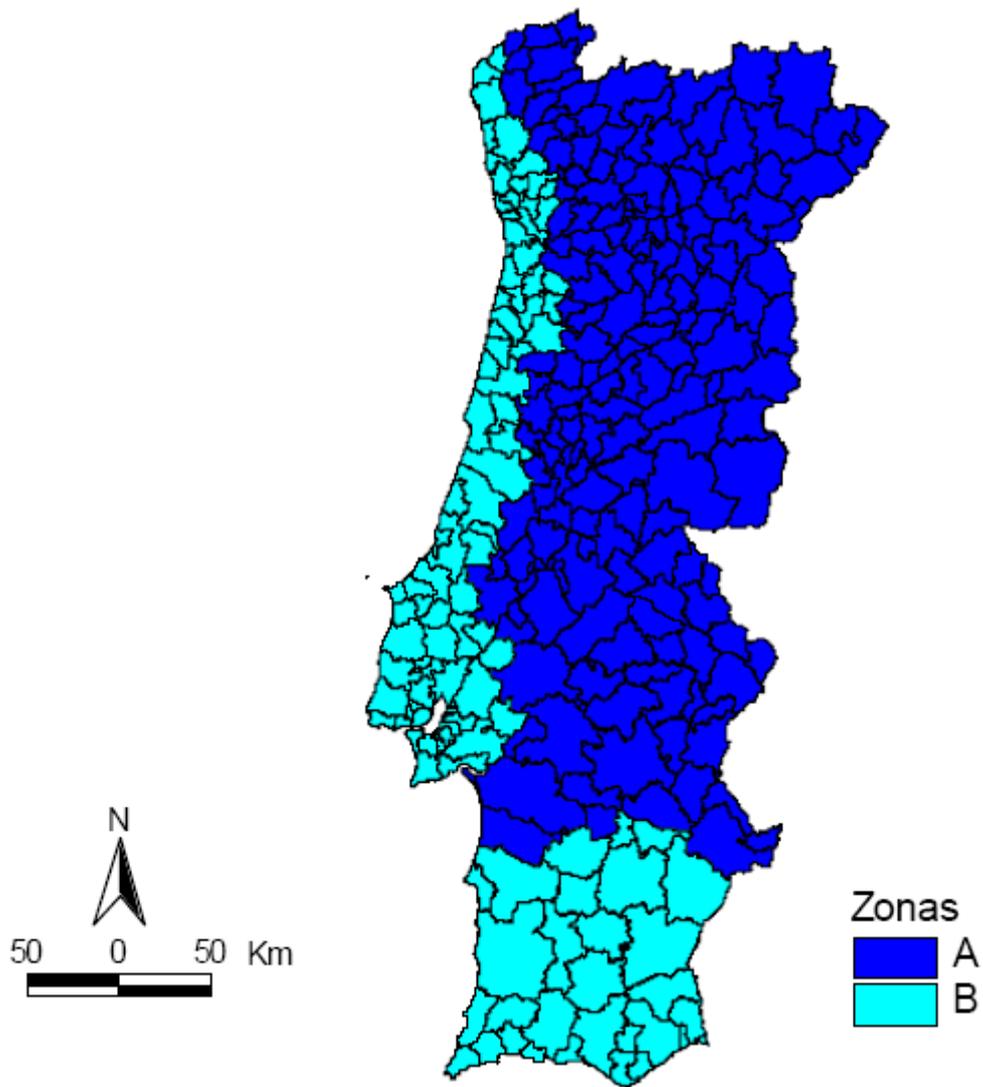
Anexo 7

EC1.1.5 Quadro NA.I - Zonamento térmico para condições de Inverno (T_{\min}) por concelhos

Zona A – $T_{\min} = - 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
<p>Continente: Abrantes, Aguiar da Beira, Alandroal, Alcácer do Sal, Alcanena, Alfândega da Fé, Alijó, Almeida, Almeirim, Alpiarça, Alter do Chão, Alvaiázere, Alvito, Amarante, Amares, Anadia, Ansião, Arcos de Valdevez, Arganil, Armamar, Arouca, Arraiolos, Arronches, Avis, Baião, Barrancos, Belmonte, Borba, Boticas, Braga, Bragança, Cabeceiras de Basto, Campo Maior, Carrazeda de Ansiães, Carregal do Sal, Castanheira de Pêra, Castelo Branco, Castelo de Paiva, Castelo de Vide, Castro Daire, Celorico da Beira, Celorico de Basto, Chamusca, Chaves, Cinfães, Coimbra, Condeixa-a-Nova, Constância, Coruche, Covilhã, Crato, Elvas, Entroncamento, Estremoz, Évora, Fafe, Felgueiras, Ferreira do Zêzere, Figueira de Castelo Rodrigo, Figueiró dos Vinhos, Fornos de Algodres, Freixo de Espada à Cinta, Fronteira, Fundão, Gavião, Góis, Golegã, Gouveia, Grândola, Guarda, Guimarães, Idanha-a-Nova, Lamego, Lousã, Lousada, Mação, Macedo de Cavaleiros, Mangualde, Manteigas, Marco de Canaveses, Marvão, Mealhada, Meda, Melgaço, Mesão Frio, Miranda do Corvo, Miranda do Douro, Mirandela, Mogadouro, Moimenta da Beira, Monção, Mondim de Basto, Monforte, Montalegre, Montemor-o-Novo, Mora, Mortágua, Moura, Mourão, Murça, Nelas, Nisa, Oleiros, Oliveira de Frades, Oliveira do Hospital, Ourém, Pampilhosa da Serra, Paredes de Coura, Pedrógão Grande, Penacova, Penafiel, Penalva do Castelo, Penamacor, Penedono, Penela, Peso da Régua, Pinhel, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Ponte de Sor, Portalegre, Portel, Póvoa de Lanhoso, Proença-a-Nova, Redondo, Reguengos de Monsaraz, Resende, Ribeira de Pena, Sabrosa, Sabugal, Santa Comba, Dão, Santa Marta de Penaguião, Santarém, São João da Pesqueira, São Pedro do Sul, Sardoal, Sátão, Seia, Sernancelhe, Sertã, Sousel, Tábua, Tabuaço, Tarouca, Terras de Bouro, Tomar, Tondela, Torre de Moncorvo, Torres Novas, Trancoso, Valença, Valpaços, Vendas Novas, Viana do Alentejo, Vieira do Minho, Vila de Rei, Vila Flor, Vila Nova da Barquinha, Vila Nova de Foz Côa, Vila Nova de Paiva, Vila Nova de Poiares, Vila Pouca de Aguiar, Vila Real, Vila Velha de Ródão, Vila Verde, Vila Viçosa, Vimioso, Vinhais, Viseu, Vizela, Vouzela</p>
Zona B – $T_{\min} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$
<p>Continente: Águeda, Albergaria-a-Velha, Albufeira, Alcobaça, Alcochete, Alcoutim, Alenquer, Aljezur, Aljustrel, Almada, Almodôvar, Amadora, Arruda dos Vinhos, Aveiro, Azambuja, Barcelos, Barreiro, Batalha, Beja, Benavente, Bombarral, Cadaval, Caldas da Rainha, Caminha, Cantanhede, Cartaxo, Cascais, Castro Marim, Castro Verde, Cuba, Espinho, Esposende, Estarreja, Faro, Ferreira do Alentejo, Figueira da Foz, Gondomar, Ílhavo, Lagoa, Lagos, Leiria, Lisboa, Loulé, Loures, Lourinhã, Mafra, Maia, Marinha Grande, Matosinhos, Mértola, Mira, Moita, Monchique, Montemor-o-Velho, Montijo, Murtosa, Nazaré, Óbidos, Odemira, Odivelas, Oeiras, Olhão, Oliveira de Azeméis, Oliveira do Bairro, Ourique, Ovar, Paços de Ferreira, Palmela, Paredes, Peniche, Pombal, Portimão, Porto, Porto de Mós, Póvoa de Varzim, Rio Maior, Salvaterra de Magos, Santa Maria da Feira, Santiago do Cacém, Santo Tirso, São Brás de Alportel, São João da Madeira, Seixal, Serpa, Sesimbra, Setúbal, Sever do Vouga, Silves, Sines, Sintra, Sobral de Monte Agraço, Soure, Tavira, Torres Vedras, Trofa, Vagos, Vale de Cambra, Valongo, Viana do Castelo, Vidigueira, Vila do Bispo, Vila do Conde, Vila Franca de Xira, Vila Nova de Cerveira, Vila Nova de Famalicão, Vila Nova de Gaia, Vila Real de Santo António</p>
Zona C – $T_{\min} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
<p>Açores: A totalidade do arquipélago</p> <p>Madeira: A totalidade do arquipélago</p>

Anexo 8

EC1.1.5 Figura NA.I - Zonamento térmico para as condições de Inverno (T_{\min}) no Continente



Anexo 9

EC1.1.5 Quadro NA.II - Zonamento térmico para condições de Verão (T_{max}) por concelhos

Zona A – $T_{max} = 45$ °C

Continente:

Abrantes, Aguiar da Beira, Alandroal, Alcácer do Sal, Alcoutim, Alfândega da Fé, Alijó, Aljustrel, Almeida, Almeirim, Almodôvar, Alpiarça, Alter do Chão, Alvito, Amarante, Arganil, Armamar, Arouca, Arraiolos, Arronches, Avis, Baião, Barrancos, Beja, Belmonte, Borba, Boticas, Bragança, Cabeceiras de Basto, Campo Maior, Carrazeda de Ansiães, Carregal do Sal, Castanheira de Pêra, Castelo Branco, Castelo de Paiva, Castelo de Vide, Castro Daire, Castro Verde, Celorico da Beira, Celorico de Basto, Chamusca, Chaves, Cinfães, Constância, Coruche, Covilhã, Crato, Cuba, Elvas, Entroncamento, Estremoz, Évora, Ferreira do Alentejo, Ferreira do Zêzere, Figueira de Castelo Rodrigo, Figueiró dos Vinhos, Fornos de Algodres, Freixo de Espada à Cinta, Fronteira, Fundão, Gavião, Góis, Golegã, Gouveia, Grândola, Guarda, Idanha-a-Nova, Lamego, Lousã, Mação, Macedo de Cavaleiros, Mangualde, Manteigas, Marco de Canaveses, Marvão, Meda, Mértola, Mesão Frio, Miranda do Douro, Mirandela, Mogadouro, Moimenta da Beira, Mondim de Basto, Monforte, Montalegre, Montemor-o-Novo, Mora, Mortágua, Moura, Mourão, Murça, Nelas, Nisa, Odemira, Oleiros, Oliveira de Frades, Oliveira do Hospital, Ourique, Pampilhosa da Serra, Pedrógão Grande, Penacova, Penafiel, Penalva do Castelo, Penamacor, Penedono, Peso da Régua, Pinhel, Ponte de Sor, Portalegre, Portel, Proença-a-Nova, Redondo, Reguengos de Monsaraz, Resende, Ribeira de Pena, Sabrosa, Sabugal, Santa Comba Dão, Santa Marta de Penaguião, Santiago do Cacém, São João da Pesqueira, São Pedro do Sul, Sardoal, Sátão, Seia, Sernancelhe, Serpa, Sertã, Sines, Sousel, Tábua, Tabuaço, Tarouca, Tomar, Tondela, Torre de Moncorvo, Trancoso, Valpaços, Vendas Novas, Viana do Alentejo, Vidigueira, Vila de Rei, Vila Flor, Vila Nova da Barquinha, Vila Nova de Foz Côa, Vila Nova de Paiva, Vila Nova de Poiares, Vila Pouca de Aguiar, Vila Real, Vila Velha de Ródão, Vila Viçosa, Vimioso, Vinhais, Viseu, Vouzela

Zona B – $T_{max} = 40$ °C

Continente:

Águeda, Albergaria-a-Velha, Albufeira, Alcanena, Alcochete, Alenquer, Aljezur, Almada, Alvaiázere, Amadora, Amares, Anadia, Ansião, Arcos de Valdevez, Arruda dos Vinhos, Aveiro, Azambuja, Barcelos, Barreiro, Batalha, Benavente, Braga, Cadaval, Caminha, Cantanhede, Cartaxo, Cascais, Castro Marim, Coimbra, Condeixa-a-Nova, Espinho, Esposende, Estarreja, Fafe, Faro, Felgueiras, Figueira da Foz, Gondomar, Guimarães, Ílhavo, Lagoa, Lagos, Leiria, Lisboa, Loulé, Loures, Lousada, Maia, Matosinhos, Mealhada, Melgaço, Mira, Miranda do Corvo, Moita, Monção, Monchique, Montemor-o-Velho, Montijo, Murtosa, Odivelas, Oeiras, Olhão, Oliveira de Azeméis, Oliveira do Bairro, Ourém, Ovar, Paços de Ferreira, Palmela, Paredes, Paredes de Coura, Penela, Pombal, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Portimão, Porto, Porto de Mós, Póvoa de Lanhoso, Póvoa de Varzim, Rio Maior, Salvaterra de Magos, Santa Maria da Feira, Santarém, Santo Tirso, São Brás de Alportel, São João da Madeira, Seixal, Sesimbra, Setúbal, Sever do Vouga, Silves, Sintra, Sobral de Monte Agraço, Soure, Tavira, Terras de Bouro, Torres Novas, Trofa, Vagos, Vale de Cambra, Valença, Valongo, Viana do Castelo, Vieira do Minho, Vila do Bispo, Vila do Conde, Vila Franca de Xira, Vila Nova de Cerveira, Vila Nova de Famalicão, Vila Nova de Gaia, Vila Real de Santo António, Vila Verde, Vizela

Madeira:

A totalidade do arquipélago

Zona C – $T_{max} = 35$ °C

Continente:

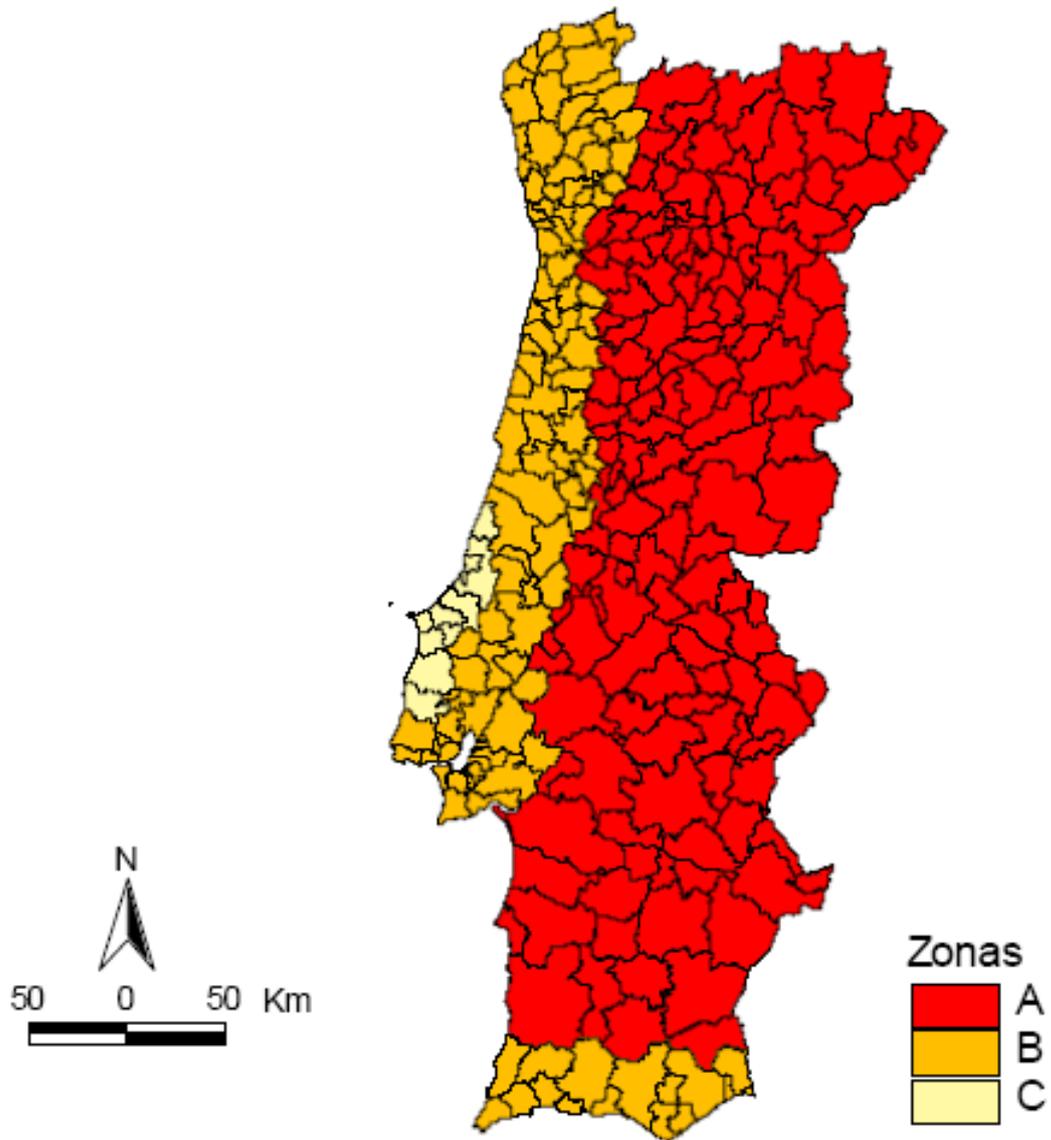
Alcobaça, Bombarral, Caldas da Rainha, Lourinhã, Mafra, Marinha Grande, Nazaré, Óbidos, Peniche, Torres Vedras

Açores:

A totalidade do arquipélago

Anexo 10

EC1.1.5 Figura NA.II - Zonamento térmico para as condições de Verão (T_{max}) no Continente



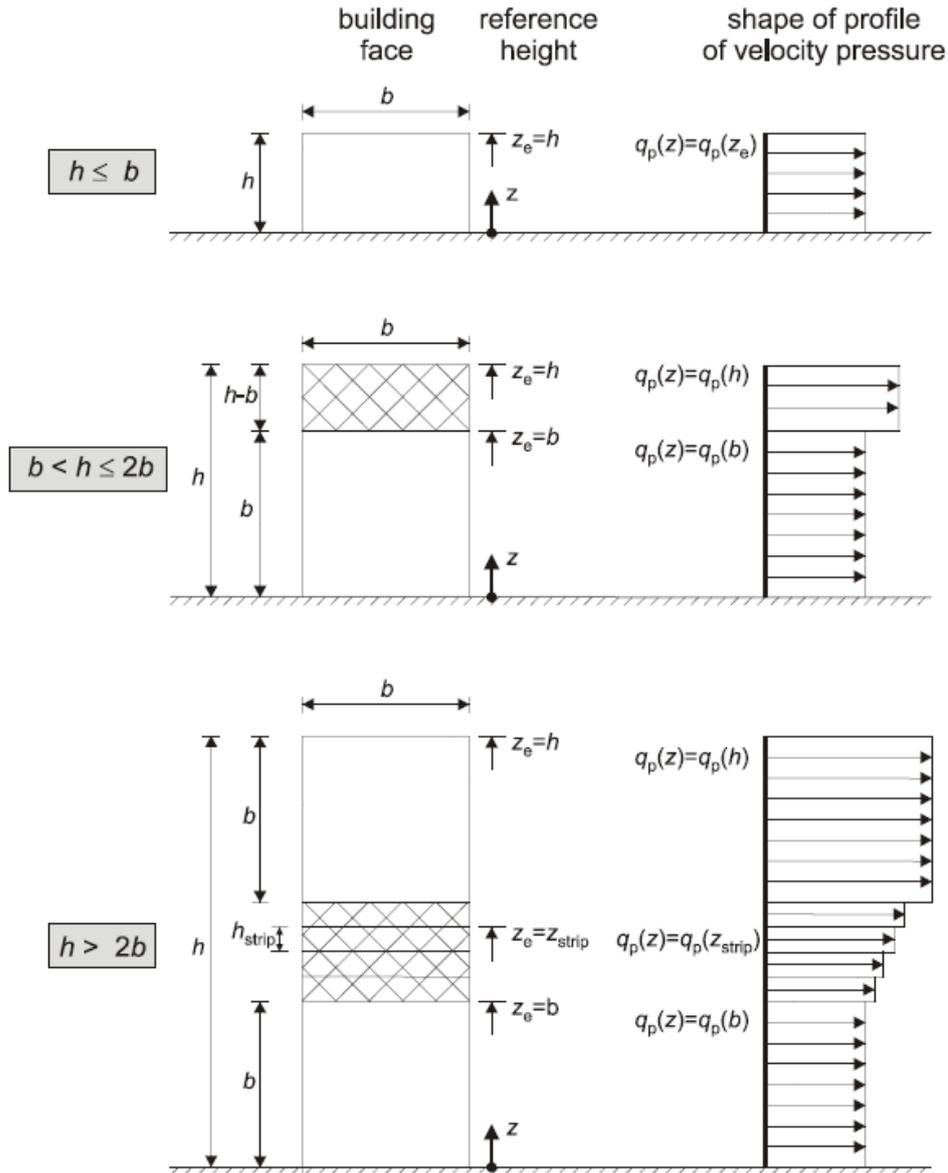
Anexo 11

EC1.1.4 Quadro NA-4.1 – Categorias de terreno e respetivos parâmetros

Categoria de terreno		z_0 [m]	z_{min} [m]
I	Zona costeira exposta aos ventos de mar	0,005	1
II	Zona de vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados (árvores, edifícios) com separações entre si de, pelo menos, 20 vezes a sua altura	0,05	3
III	Zona com uma cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações entre si de, no máximo, 20 vezes a sua altura (por exemplo: zonas suburbanas, florestas permanentes)	0,3	8
IV	Zona na qual pelo menos 15 % da superfície está coberta por edifícios com uma altura média superior a 15 m	1,0	15
<i>NOTA 1: As categorias de terreno II, III e IV estão ilustradas em A.1.</i>			
<i>NOTA 2: O coeficiente de rugosidade, $c_r(z)$, é ilustrado na Figura NA.1.</i>			

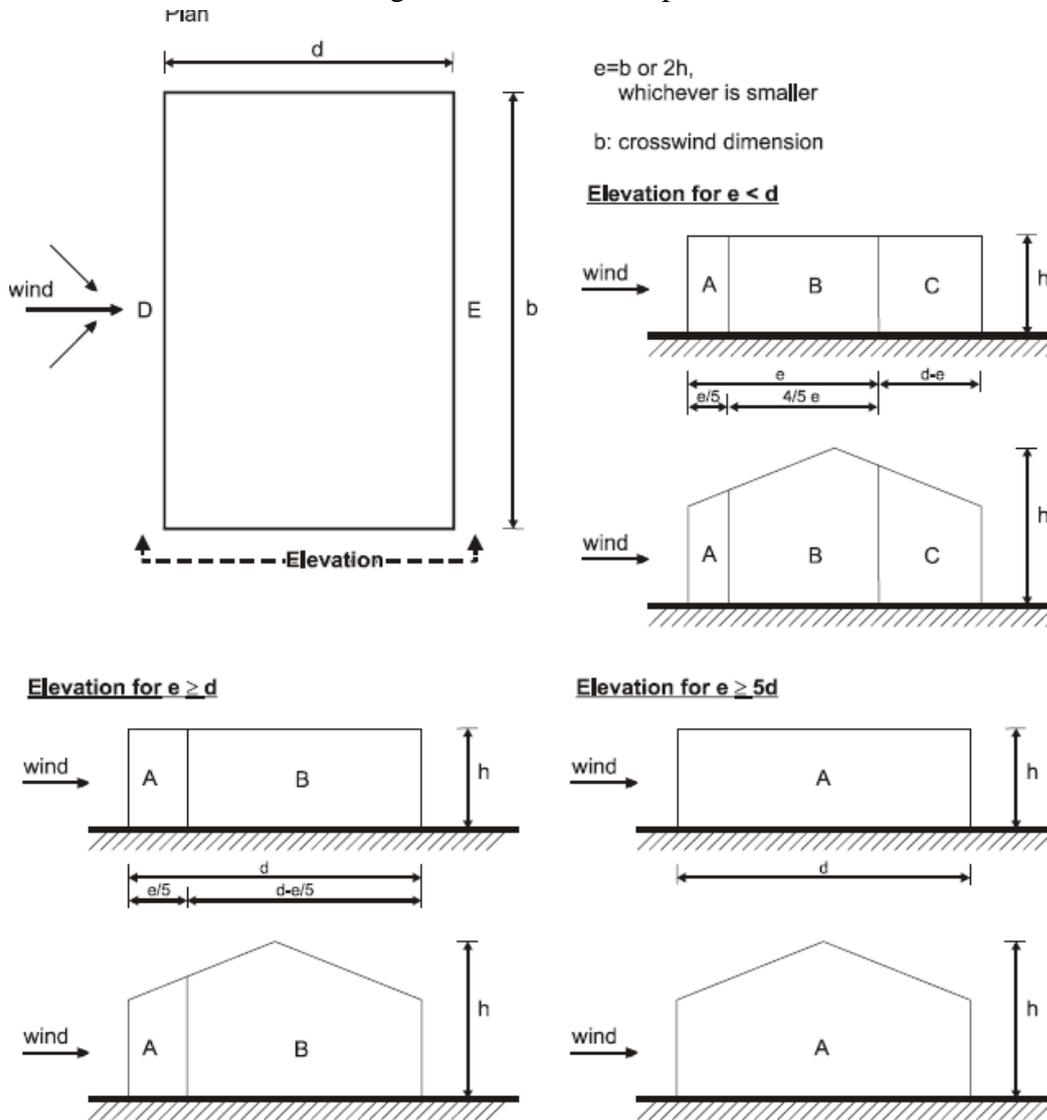
Anexo 12

EC1.1.4 Figura 7.4 – Altura de referência z_e em função de h e b , e correspondente perfil de pressão dinâmica



Anexo 13

EC1.1.4 Figura 7.5 – Zonas em paredes verticais



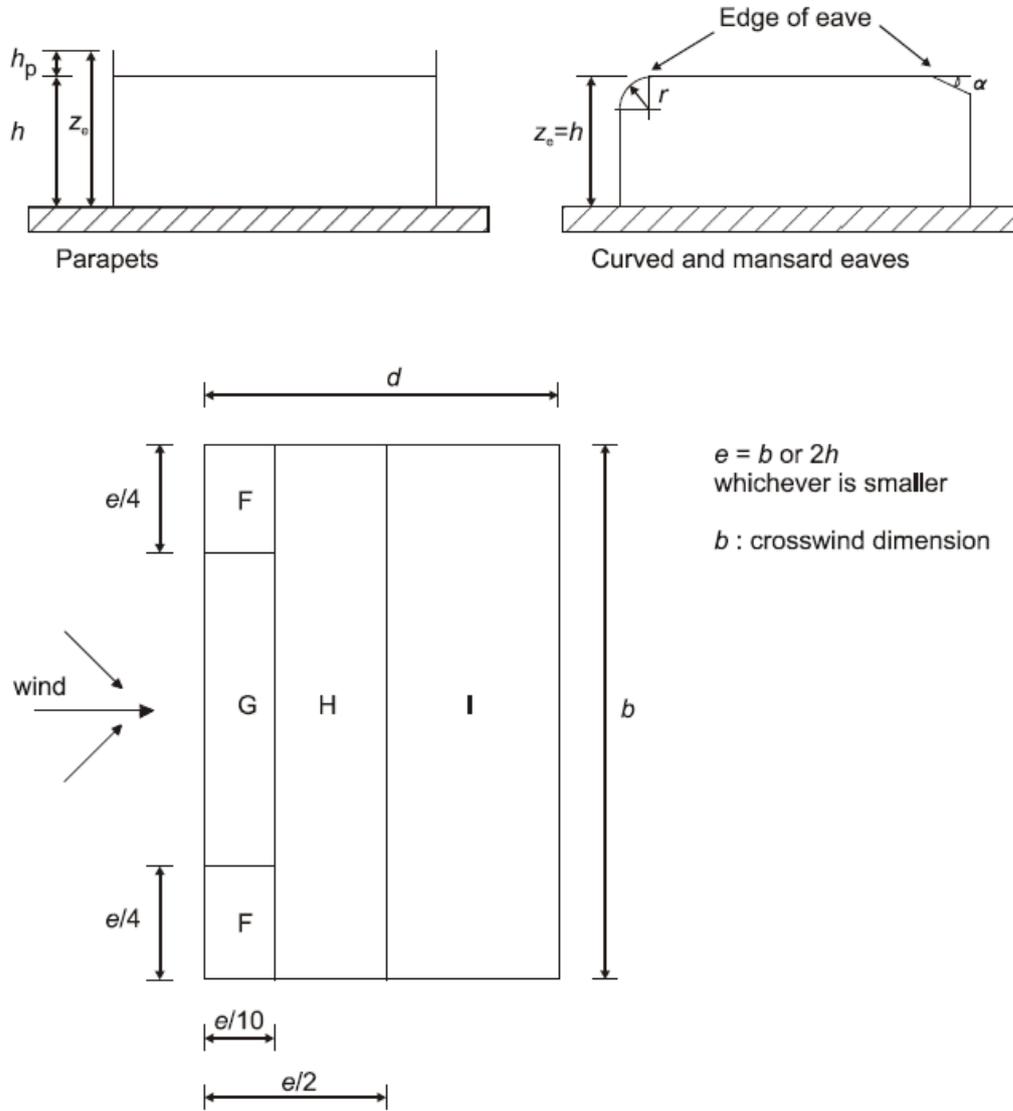
Anexo 14

EC1.1.4 Quadro 7.1 - Coeficientes de pressão exterior para paredes verticais de edifícios de planta retangular, $c_{pe,10}$ e $c_{pe,1}$

Zona	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$								
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Anexo 15

EC1.1.4 Figura 7.6 – Zonas em cobertura em terraço



Anexo 16

EC1.1.4 Quadro 7.2 - Coeficientes de pressão exterior para coberturas em terraço, $c_{pe,10}$ e $c_{pe,1}$

Tipo de cobertura		Zona								
		F		G		H		I		
		$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	
Bordos em aresta viva		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2	
Com platibanda	$h_p/h=0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2	
		-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2	
	$h_p/h=0,05$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2	
		-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2	
	Bordos arredondados	$r/h = 0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4	-0,4	+0,2	-0,2
			-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3	-0,3	+0,2	-0,2
$r/h = 0,20$		-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3	-0,3	+0,2	-0,2	
Bordos amansardados	$\alpha = 30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3	-0,3	+0,2	-0,2	
		-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4	-0,4	+0,2	-0,2	
	$\alpha = 45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4	-0,4	+0,2	-0,2	
		-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5	-0,5	+0,2	-0,2	
	$\alpha = 60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5	-0,5	+0,2	-0,2	
		-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5	-0,5	+0,2	-0,2	

NOTA 1: Para coberturas com platibandas ou com bordos arredondados, poderá ser efectuada uma interpolação linear para valores intermédios de h_p/h e de r/h .

NOTA 2: Para coberturas com bordos amansardados, poderá ser efectuada uma interpolação linear entre $\alpha = 30^\circ$, $\alpha = 45^\circ$ e $\alpha = 60^\circ$. Para $\alpha > 60^\circ$, poderá ser efectuada uma interpolação linear entre os valores para $\alpha = 60^\circ$ e os valores para coberturas em terraço com bordos em aresta viva.

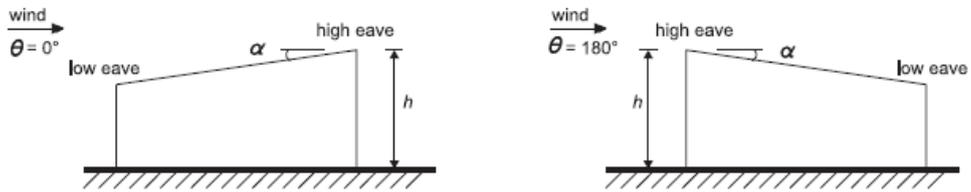
NOTA 3: Na Zona I, para a qual são fornecidos valores positivos e negativos, devem ser considerados ambos os valores.

NOTA 4: Para o bordo amansardado propriamente dito, os coeficientes de pressão exterior são fornecidos no Quadro 7.4a "Coeficientes de pressão exterior para coberturas de duas vertentes: direcção do vento 0", Zonas F e G, em função da inclinação do bordo.

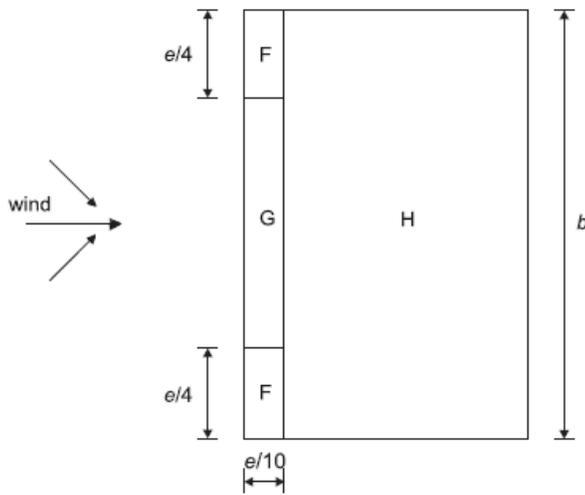
NOTA 5: Para o bordo arredondado propriamente dito, os coeficientes de pressão exterior são calculados, ao longo do bordo, por interpolação linear entre os valores relativos à parede e à cobertura.

Anexo 17

EC1.1.4 Figura 7.7 – Zonas em cobertura de uma vertente



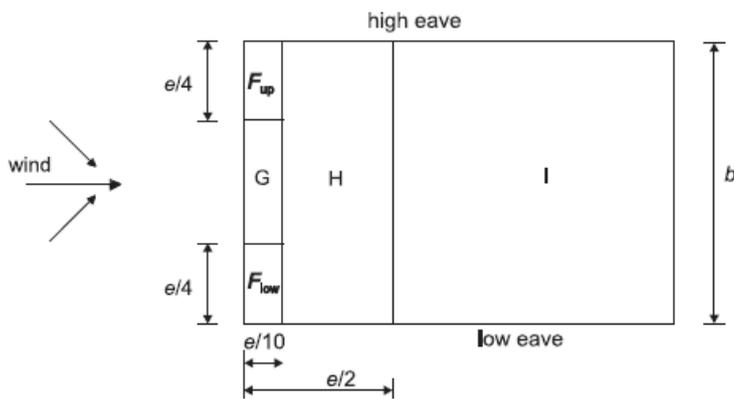
(a) general



(b) wind directions $\theta = 0^\circ$ and $\theta = 180^\circ$

$e = b$ or $2h$
whichever is smaller

b : crosswind dimension



(c) wind direction $\theta = 90^\circ$

Anexo 18

EC1.1.4 Quadro 7.3a - Coeficientes de pressão exterior para coberturas de uma vertente, $c_{pe,10}$ e

$c_{pe,1}$

Ângulo de inclinação α	Zona; Direcção do vento $\theta=0^\circ$						Zona; Direcção do vento $\theta=180^\circ$					
	F		G		H		F		G		H	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-2,3	-2,5	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
	+0,0		+0,0		+0,0							
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2
	+0,2		+0,2		+0,2							
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-1,1	-2,3	-0,8	-1,5	-0,8	
	+0,7		+0,7		+0,4							
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,6	-1,3	-0,5		-0,7	
	+0,7		+0,7		+0,6							
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	

Anexo 19

EC1.1.4 Quadro 7.3b - Coeficientes de pressão exterior para coberturas de uma vertente, $c_{pe,10}$ e

$c_{pe,1}$

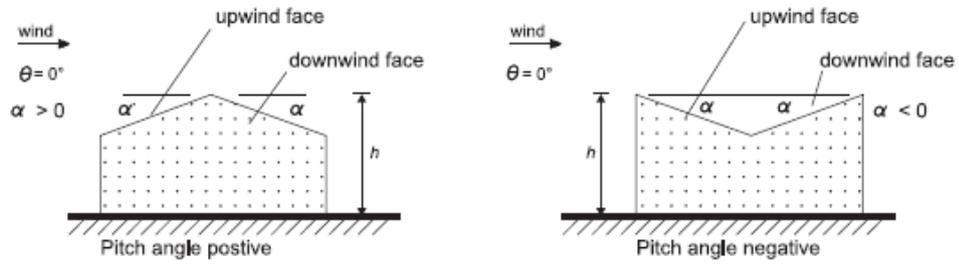
Ângulo de inclinação α	Zona; Direcção do vento $\theta=90^\circ$									
	F_{up}		F_{low}		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-2,1	-2,6	-2,1	-2,4	-1,8	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
15°	-2,4	-2,9	-1,6	-2,4	-1,9	-2,5	-0,8	-1,2	-0,7	-1,2
30°	-2,1	-2,9	-1,3	-2,0	-1,5	-2,0	-1,0	-1,3	-0,8	-1,2
45°	-1,5	-2,4	-1,3	-2,0	-1,4	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
60°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,7	-1,2
75°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,5	

NOTA 1: Com $\theta = 0^\circ$ (ver o Quadro a)), a pressão varia rapidamente entre valores positivos e negativos para inclinações entre $\alpha = +5^\circ$ e $\alpha = +45^\circ$, razão pela qual são fornecidos valores positivos e negativos. Para estas coberturas deverão ser considerados dois casos: um com todos os valores positivos e um outro com todos os valores negativos. Não é permitida a mistura, numa mesma vertente, de valores positivos com valores negativos.

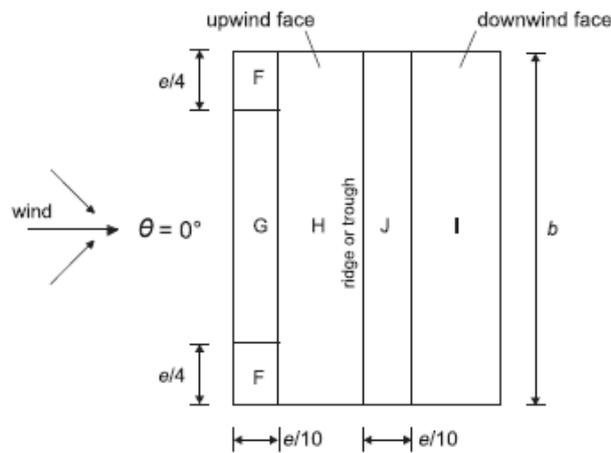
NOTA 2: Para ângulos intermédios de inclinação da vertente, poderá ser efectuada uma interpolação linear entre valores com o mesmo sinal. Os valores iguais a 0,0 são fornecidos para efeitos de interpolação.

Anexo 20

EC1.1.4 Figura 7.8 – Zonas em cobertura de duas vertentes



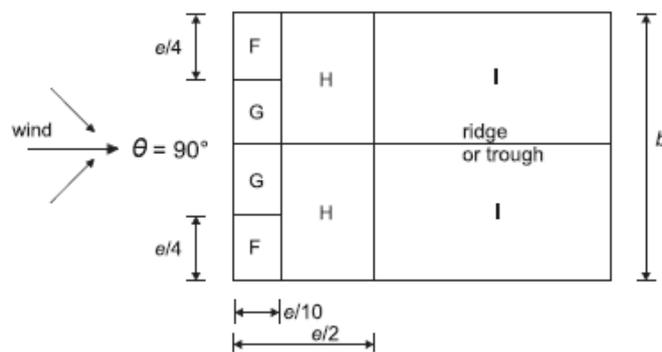
(a) general



(b) wind direction $\theta = 0^\circ$

$e = b$ or $2h$
whichever is smaller

b : crosswind dimension



(c) wind direction $\theta = 90^\circ$

Legenda:

wind
upwind face
downwind face
pitch angle positive
pitch angle negative
ridge or trough

vento
vertente de barlavento
vertente de sotavento
ângulo de inclinação positivo
ângulo de inclinação negativo
cumeeira ou revesa

general
wind direction $\theta = 0^\circ$
wind direction $\theta = 90^\circ$
 $e = b$ or $2h$, whichever is smaller
crosswind dimension

geral
direcção do vento $\theta = 0^\circ$
direcção do vento $\theta = 90^\circ$
 $e =$ menor valor de entre b e $2h$
dimensão transversal à direcção do vento

Anexo 21

EC1.1.4 Quadro 7.4a - Coeficientes de pressão exterior para coberturas de duas vertentes, $c_{pe,10}$ e $c_{pe,1}$ para direcção do vento de 0°

Ângulo de inclinação α	Zona; Direcção do vento $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

NOTA 1 : Com $\theta = 0^\circ$ e para inclinações entre $\alpha = -5^\circ$ e $\alpha = +45^\circ$, a pressão varia rapidamente entre valores positivos e negativos na vertente virada a barlavento, razão pela qual são fornecidos valores positivos e negativos. Para estas coberturas deverão ser considerados quatro casos, em que os valores maiores ou menores em todas as áreas F, G e H são combinados com os valores maiores ou menores nas áreas I e J. Não é permitida a mistura, numa mesma vertente, de valores positivos com valores negativos.

NOTA 2: Para ângulos de inclinação intermédios entre ângulos com o mesmo sinal, poderá ser efectuada uma interpolação linear entre valores com o mesmo sinal. (Não efectuar interpolação entre $\alpha = +5^\circ$ e $\alpha = -5^\circ$, mas antes utilizar os valores relativos às coberturas em terraço indicados em 7.2.3). Os valores iguais a 0,0 são fornecidos para efeitos de interpolação.

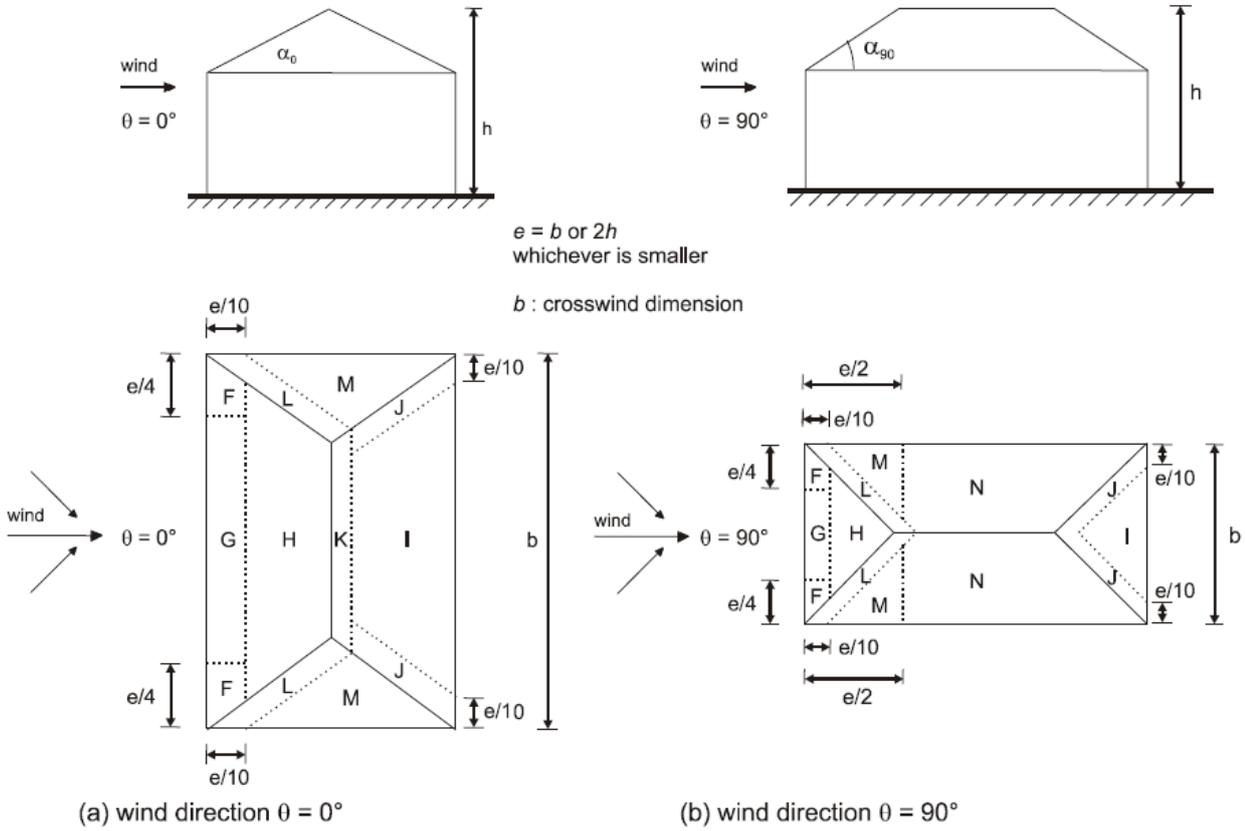
Anexo 22

EC1.1.4 Quadro 7.4b - Coeficientes de pressão exterior para coberturas de duas vertentes, $c_{pe,10}$ e $c_{pe,1}$ para direcção do vento de 90°

Ângulo de inclinação α	Zona; Direcção do vento $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

Anexo 23

EC1.1.4 Figura 7.9 – Zonas em cobertura de quatro vertentes



Legenda:

wind

wind direction $\theta = 0^\circ$

wind direction $\theta = 90^\circ$

$e = b$ or $2h$, whichever is smaller

crosswind dimension

vento

direcção do vento $\theta = 0^\circ$

direcção do vento $\theta = 90^\circ$

$e =$ menor valor de entre b e $2h$

dimensão transversal à direcção do vento

Anexo 24

EC1.1.4 Quadro 7.5 - Coeficientes de pressão exterior para coberturas de quatro vertentes, $c_{pe,10}$ e

$c_{pe,1}$

Ângulo de inclinação	Zona; Direcção do vento $\theta = 0^\circ$ e $\theta = 90^\circ$																	
	F		G		H		I		J		K		L		M		N	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3		-0,6		-0,6		-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,4	
	+0,0		+0,0		+0,0													
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,5		-1,0	-1,5	-1,2	-2,0	-1,4	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3	
	+0,2		+0,2															
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,7	-1,2	-0,5		-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,2	
	+0,5		+0,7															
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,3		-0,6		-0,3		-1,3	-2,0	-0,8	-1,2	-0,2	
	+0,7		+0,7															
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,3		-0,6		-0,3		-1,2	-2,0	-0,4		-0,2	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,3		-0,6		-0,3		-1,2	-2,0	-0,4		-0,2	

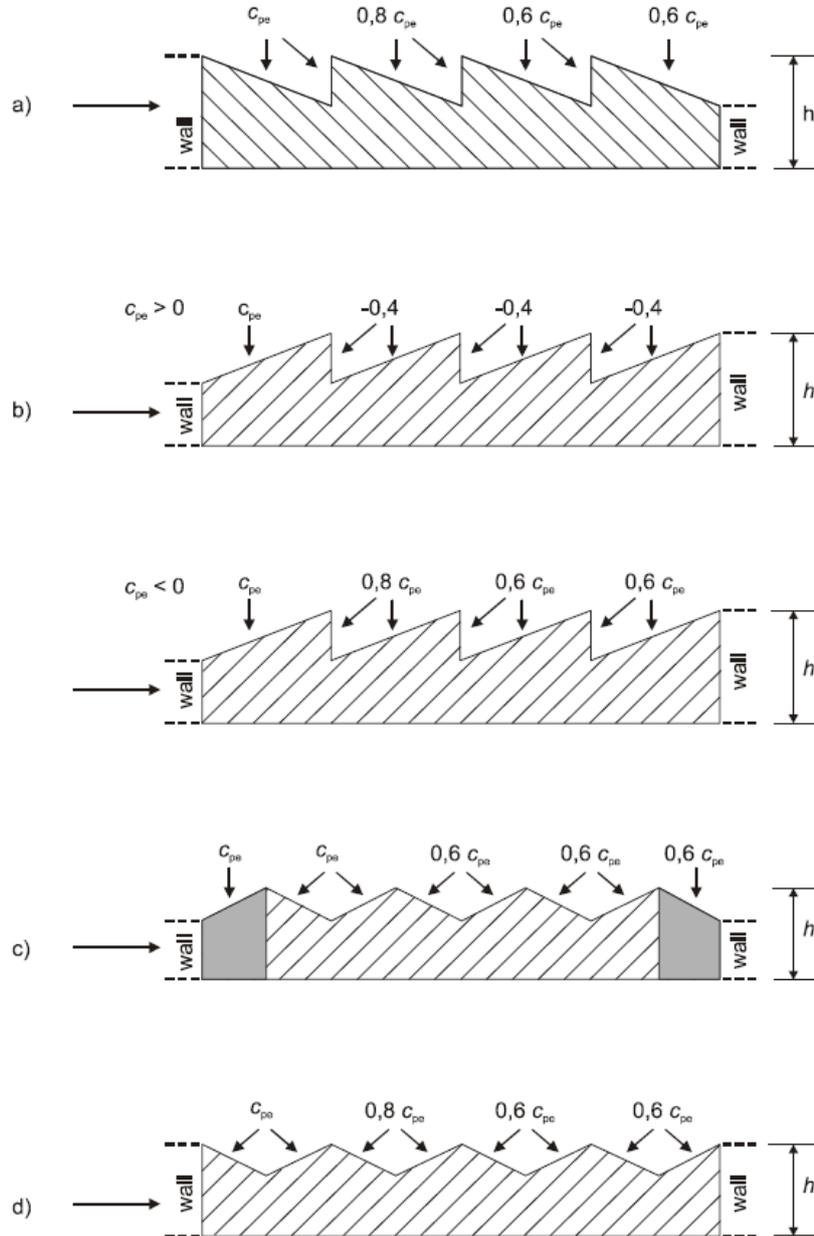
NOTA 1: Com $\theta = 0^\circ$ e para inclinações entre $\alpha = +5^\circ$ e $\alpha = +45^\circ$, a pressão varia rapidamente entre valores positivos e negativos na vertente virada a barlavento, razão pela qual são fornecidos valores positivos e negativos. Para estas coberturas deverão ser considerados dois casos: um com todos os valores positivos e um outro com todos os valores negativos. Não é permitida a mistura de valores positivos com valores negativos.

NOTA 2: Para ângulos intermédios de inclinação da vertente, poderá ser efectuada uma interpolação linear entre valores com o mesmo sinal. Os valores iguais a 0,0 são fornecidos para efeitos de interpolação.

NOTA 3: Os valores dos coeficientes de pressão são sempre regidos pela inclinação da vertente virada a barlavento.

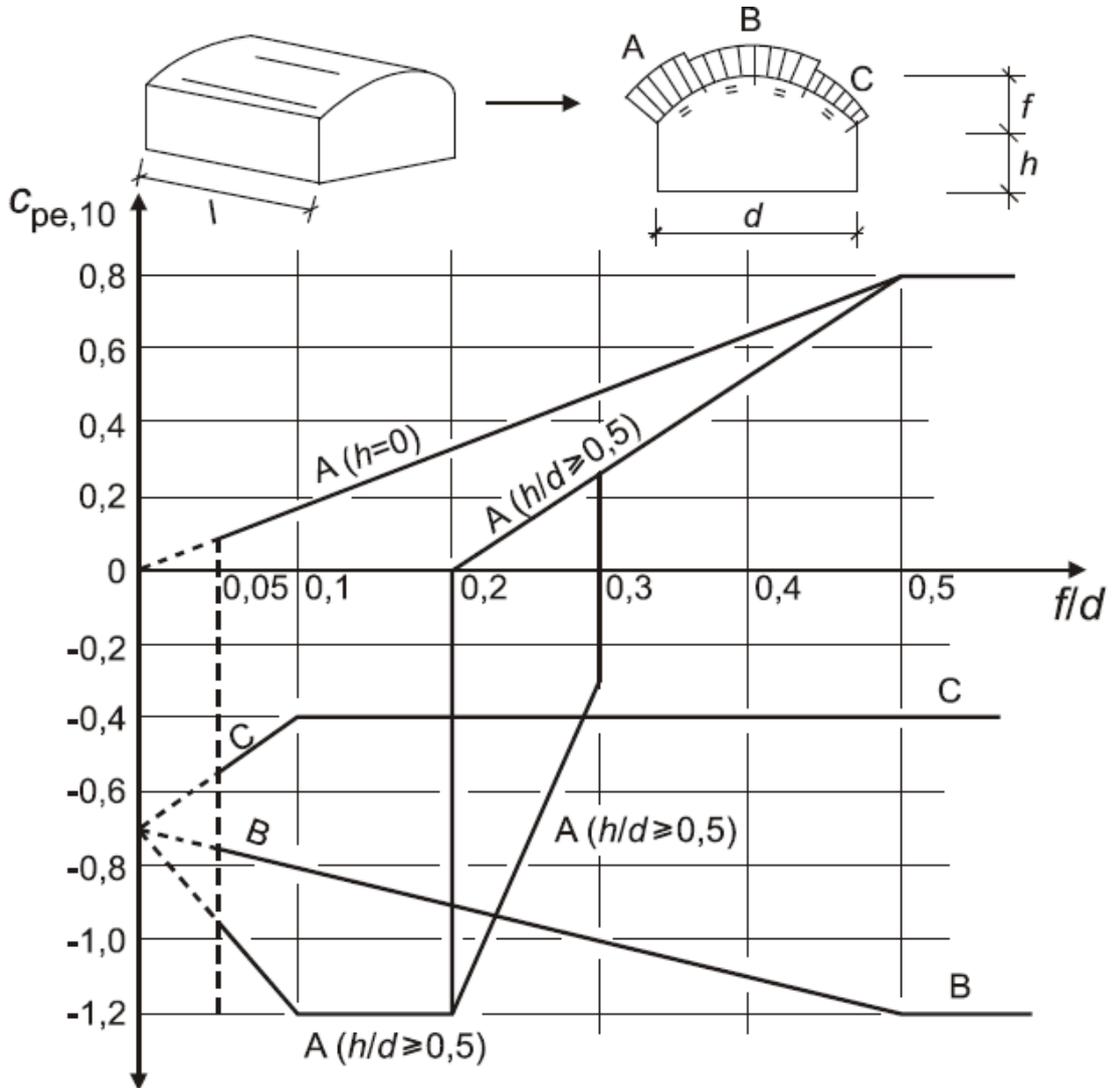
Anexo 25

EC1.1.4 Figura 7.10 – Coberturas múltiplas



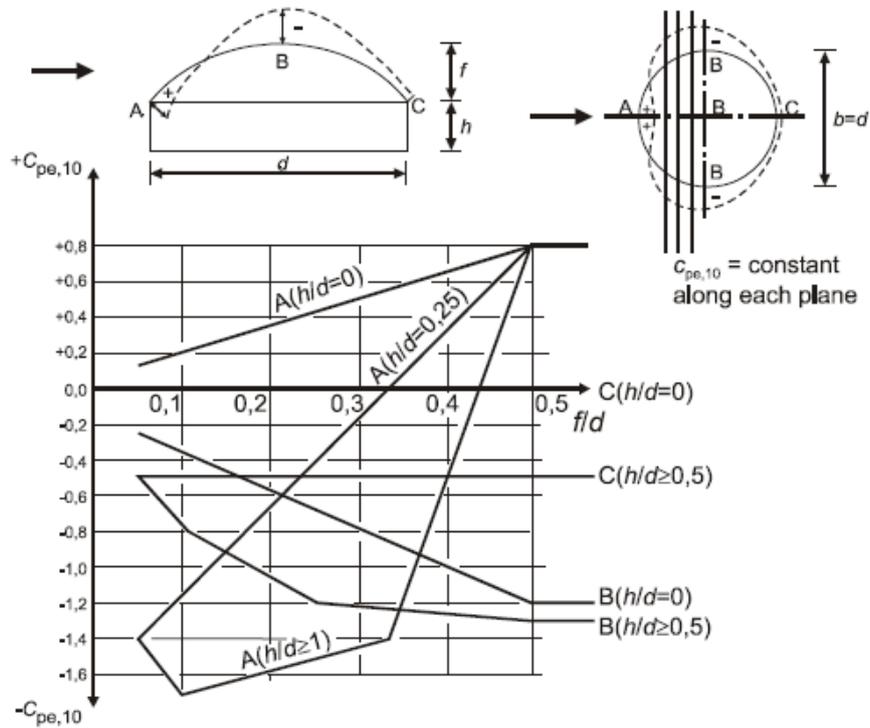
Anexo 26

EC1.1.4 Figura 7.11 – Valores recomendados dos coeficientes de pressão exterior $c_{pe,10}$ para coberturas em abóbada de base retangular



Anexo 27

EC1.1.4 Figura 7.11 – Valores recomendados dos coeficientes de pressão exterior $c_{pe,10}$ para cúpulas de base circular



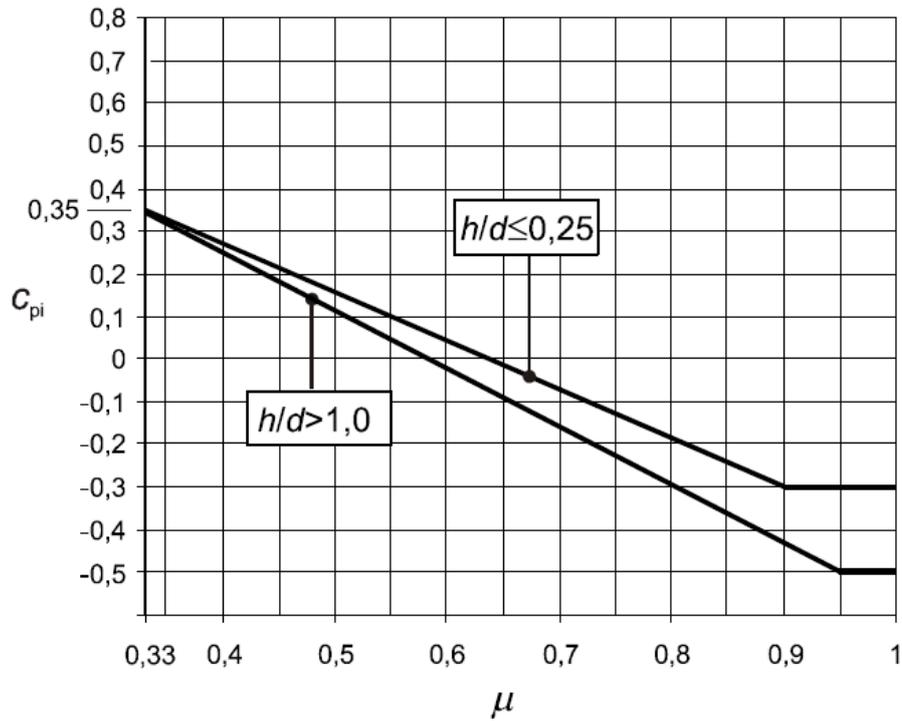
Legenda:

constant along each plane constante ao longo de cada plano

$c_{pe,10}$ é constante ao longo dos arcos circulares formados pelas intersecções da cúpula com planos perpendiculares ao vento. Em primeira aproximação, $c_{pe,10}$ pode ser determinado, ao longo dos arcos circulares paralelos ao vento, por interpolação linear entre os valores em A, B e C. De forma idêntica, os valores de $c_{pe,10}$ em A se $0 < h/d < 1$ e em B ou C se $0 < h/d < 0,5$ podem ser obtidos por interpolação linear entre os valores lidos na figura acima.

Anexo 28

EC1.1.4 Figura 7.13 – Coeficientes de pressão interior no caso de aberturas uniformemente distribuídas



Anexo 29

EC1.1.4 Quadro 7.10 – Coeficientes de atrito c_{fr} para paredes, platibandas e coberturas

Superfície	Coefficiente de atrito c_{fr}
Lisa (ex.: aço, betão liso)	0,01
Rugosa (ex.: betão rugoso, placas betumadas)	0,02
Muito rugosa (ex.: superfícies com ondulações, nervuras, dobras)	0,04

Anexo 30

EC1.1.1 Quadro 6.10 – Sobrecargas em coberturas da Categoria H

Cobertura	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Categoria H	q_k	Q_k
<p>NOTA 1: Para a Categoria H, q_k poderá ser escolhido na gama 0,0 kN/m² a 1,0 kN/m² e Q_k na gama 0,9 kN a 1,5 kN. Quando se indica uma gama de valores, os valores a adoptar poderão ser definidos no Anexo Nacional. Os valores recomendados são: $q_k = 0,4$ kN/m², $Q_k = 1,0$ kN.</p> <p>NOTA 2: q_k poderá ser alterado pelo Anexo Nacional, em função da inclinação da cobertura.</p> <p>NOTA 3: Poderá admitir-se que q_k actua sobre uma área A, a qual poderá ser definida no Anexo Nacional. O valor recomendado para A é 10 m², numa gama entre zero e a área total da cobertura.</p> <p>NOTA 4: Ver também 3.3.2(1).</p>		