

d) medidas destinadas a reduzir erros de projeto e de construção da estrutura, e erros humanos grosseiros;

e) outras medidas relacionadas com as seguintes questões de projeto:

- os requisitos gerais;
- o grau de robustez (integridade estrutural);
- a durabilidade, incluindo a escolha do tempo de vida útil de projeto;
- a extensão e a qualidade das prospeções preliminares dos solos e as possíveis influências ambientais;
- o rigor dos modelos mecânicos utilizados;
- as disposições construtivas.

No presente projeto, encontram-se implementadas as medidas indicadas nas alíneas c) e d) acima, de acordo com o preconizado na alínea (b) do ponto B.1 e os procedimentos definidos nos pontos B.4 e B.5 do anexo B do EC0, nomeadamente:

- Nível de supervisão de projeto, DSL3, compatível com a classe de fiabilidade RC3, traduz-se num requisito de supervisão alargada, realizada por uma entidade distinta da que elaborou o Projeto;
- Nível de inspeção durante a execução, IL3, compatível com a classe de fiabilidade RC3, traduz-se num requisito de inspeção alargada, realizada por terceiros (Fiscalização da Empreitada de Construção).

Complementarmente, tendo em consideração a fixação do tempo de vida útil de projeto de 100 anos, o plano de prospeção geológico-geotécnica complementar previsto para a empreitada, a robustez das estruturas definitivas (nomeadamente a não integração e consideração de estruturas de contenção provisória nas estruturas definitivas) e outras disposições construtivas, tais como a adoção de sistemas de impermeabilização, conjugadas com as especificações técnicas que integram as Cláusulas Técnicas do Caderno de Encargos, é possível garantir também a classe de fiabilidade RC3 no que se refere ao cumprimento das medidas indicadas da alínea e) acima. Nas situações omissas, que forem sendo identificadas, poderão ser elaboradas especificações técnicas e ensaios de verificação complementares aos já previstos no CE.

4.6 Classificação do Tipo de Terreno

Relativamente ao tipo de terreno, o EC8 preconiza a seguinte classificação:

Tabela 1 – Classes de solo de acordo com o EC8

Classe de solo	Descrição do perfil estratigráfico	Parâmetros		
		$V_{s,30}$ (m/s)	NSPT	C_u (kPa)
A	Rocha ou formação geológica rochosa, que inclua, no máximo 5m de material mais fraco à superfície	> 800	-	-
B	Depósitos de areia muito densa, cascalho ou argila muito rija com uma espessura de, pelo menos, várias dezenas de metros, caracterizados por um aumento gradual das propriedades mecânicas em profundidade	360 – 800	> 50	> 250
C	Depósitos profundos de areia de densidade média a elevada, de cascalho ou de argila dura, com espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros	180 – 360	15 – 50	70 – 250
D	Depósitos soltos de solos não coesivos (com ou sem ocorrência de algumas camadas coesivas brandas), ou de solos coesivos predominantemente de fraca a média consistência	< 180	< 15	< 70
E	Perfil de solo com um nível aluvionar superficial com $V_s < 360$ m/s e espessura variando entre 5 e 20 m, sobrejacente a um nível mais rígido (com $V_s > 800$ m/s)	< 360		
S ₁	Depósitos consistindo ou contendo uma camada com pelo menos 10m de espessura – de argilas ou siltes brandos com elevado índice de plasticidade (IP > 40) e elevado teor em água	< 100 (indicativo)	-	10 – 20
S ₂	Depósitos de solos com potencial de liquefação, ou argilas sensíveis, ou outros perfis não incluídos nos tipos anteriores			

A classificação do tipo de terreno segundo a NP EN 1998 é feita ponderando os valores de N_{SPT} das sondagens, da coesão não drenada, S_u e das medições da velocidade das ondas de corte, V_s (m/s), obtidas diretamente dos resultados dos ensaios *in situ* (quando existentes), como os “crosshole” e SCPTu. Na fase de Projecto de Execução recorre-se à informação existente em particular aos ensaios existentes, ou seja, ensaios SPT’s.

De acordo com os estudos geológicos e geotécnicos realizados, os solos interessados na zona de implantação da estação de Alcântara são essencialmente de dois tipos: depósitos aluvionares e rochas do complexo carbonatado.

Os depósitos aluvionares intercetados estão associados ao vale da ribeira de Alcântara e ocorrem em profundidades variáveis ao longo da extensão do caneiro de Alcântara e imediações do vale da Avenida de Ceuta. Encontram-se frequentemente cobertos por aterro e são constituídos por

intercalações arenosas e areno-siltosas, de granulometria variada, com argilas siltosas e com um horizonte de cascalheira na base.

O “Complexo Carbonatado”, datado da idade Cretácica, aflora na encosta do vale de Alcântara e engloba diversas formações que dependem da sua constituição, cor e cristalização das rochas constituintes.

Na zona de Estação de Alcântara a formação mais predominante é a chamada “Formação de Caneças” (C2Cn) constituída por calcários margosos de coloração creme a acinzentada e margas de tons acinzentados escuros. Embora esta Formação ocorra ao longo de todo o traçado, verifica-se que pode ser encontrada muito perto da superfície (apenas coberta por aterros e/ou aluviões) na extensão entre a Av. Infante Santo e Av. de Ceuta.

Relativamente ao tipo de terrenos intersetados pelas estruturas que englobam a totalidade da Estação de Alcântara e considerando a natureza das formações geológicas existentes, considera-se que:

- na zona Este do Corpo da Estação, localizada a maior proximidade do vale de Alcântara e da Av. de Ceuta os terrenos a atravessar são do tipo “E” (perfil de solo com um estrato aluvionar superficial de espessura variável entre os 5.0m e os 20.0m assente sobre um estrato mais rígido com valores de v_s superiores a 800m/s)
- na zona Oeste do Corpo da Estação e nas sub-estruturas que constituem a totalidade da Estação (corpo Norte e acessos Sul) os terrenos a considerar deverão ser do tipo “A” (rocha ou outra formação geológica rochosa, que inclua, no máximo 5 m de material mais fraco à superfície).

Na fase de Projecto de Execução, e de modo a uniformizar a acção sísmica a aplicar, optou-se por considerar, na totalidade da Estação, o terreno de tipo E que conduz, conservativamente, a acelerações sísmicas superiores.

Esta consideração poderá ser corrigida para as sub-estruturas dos acessos a Sul e zona técnica/acessos Norte, localizadas a cotas superiores e mais afastadas do Vale de Alcântara se se considerar pertinente face aos resultados obtidos.

Para o dimensionamento do Corpo da Estação deverá ser considerado o solo do tipo E uma vez que, por princípio e na ausência de juntas, uma mesma estrutura não deverá ser verificada para tipos de solo diferentes (optimização Este – Oeste não deverá ser implementada).

4.7 Categoria Geotécnica

A NP EN 1997-1:2010 estabelece-se a Categoria Geotécnica (CG1, CG2 ou CG3) do projeto em função da sua complexidade e classe de consequências.

Tendo em conta a definição das classes de consequências apresentada no quadro B.1 da NP EN 1990, a Estação faz parte integrante de uma infraestrutura cujo colapso representa “consequência elevada em termos de perda de vidas humanas; ou consequências económicas, sociais ou ambientais importantes” (CC3). Adicionalmente, considera-se ainda que o grau de complexidade do projeto geotécnico é elevado. Assim, para uma classe de consequências CC3 e

para uma complexidade do projeto geotécnico elevada atribui-se a Categoria Geotécnica 3 (CG3) à Estação de Alcântara.

4.8 Critérios de Estanqueidade em Estruturas Subterrâneas

4.8.1 Elementos subterrâneos

Os elementos subterrâneos deverão apresentar desempenho correspondente à classe 2 de BTS (2010)(1) complementada com as recomendações STUVA (Haack, 1991(2)) para a mesma classe.

O sistema de revestimento deverá garantir que a superfície interior se mantenha essencialmente seca, admitindo-se apenas, como manifestações de humidade, a existência de pequenas manchas isoladas. O contacto de mão seca com a mancha não deverá detetar água superficial. Igualmente um papel colocado sobre a mancha não deverá apresentar alteração cromática por via de absorção de água.

Esta exigência limita o influxo médio (espacial) diário de água a 0,1 litros/m² em troços com comprimento de referência de 10 m e a 0,05 litros/m² em troços com comprimento de referência de 100 m. Para aplicação do primeiro limite, os troços de 10 m deverão ser pontuais, com carácter esporádico.

Para a circunscrição dos eventuais defeitos do sistema de impermeabilização e dos trabalhos de reparação será efetuada a compartimentação transversal e, se necessário, longitudinal do sistema de impermeabilização. A área máxima de cada compartimento será de 360 m². A compartimentação transversal será conseguida pela solidarização de perfis extrudidos flexíveis à geomembrana impermeabilizante ao longo do perímetro. Para a eventual compartimentação longitudinal, em troços localizados, os perfis serão colocados segundo o eixo longitudinal num alinhamento superior e em alinhamentos inferiores.

4.8.2 Requisitos legais de proteção de águas subterrâneas

Regra geral, a Lei de Proteção da Água exige que os níveis de água existentes no subsolo sejam mantidos e que a água subterrânea seja mantida sem contaminação; uma consequência direta do cumprimento destas exigências é a impossibilidade de rebaixamento permanente do lençol freático, sempre que possível.

Assim, qualquer desvio de água subterrânea deve ser limitado ao período de construção e os volumes desviados devem ser limitados por forma a garantir a plena recuperação do nível inicial do lençol freático.

5 MATERIAIS

5.1 Materiais – contenção periférica provisória

As características dos materiais adoptados para as estruturas de contenção periférica provisória encontram-se apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 2 – Características dos materiais considerados na contenção periférica provisória

Materiais	Propriedades	
Betão	Betão Projectado (via húmida)	C20/25 XC4 (P) CL 0,4 D _{máx} 10 S5
	Regularização/Enchimento	C20/25 XC0 (P) CL 0.4 D _{máx} 22 S3
	Vigas	C30/37 XC2 (P) CL 0.4 D _{máx} 22 S3
Aço	Chapas e perfis Metálicos	S 275 JR
	Rede electrossoldada	A500 ER
	Aço ordinário em elementos de betão armado	A500 NR SD
	Elementos de fixação metálica	Classe 8.8
	Ancoragens	F _{puk} > 1860 MPa (Grade 270k – ASTM A416)
No caso particular das soldaduras de elementos de construção metálica, a sua preparação e execução deverá obedecer ao estipulado no REAE, NP 1515 E NP EN 1993.		
Calda de Cimento	A calda de cimento que constitui o bolbo de selagem dos elementos deverá ser injetada através de técnica adequada: IRS (válvulas anti-retorno e obturador duplo) e deverá apresentar as seguintes características:	
	Injecção de Selagem	A/C = 1/2,5
	Injecção a Alta Pressão (> 2MPa)	A/C = 1/2,3
	Resistência à compressão aos 7 dias	f _{ck,min.} = 27 MPa
	Cimento	CEM I 42,5 R
Pranchas de Madeira	Flexão	18 MPa
	Compressão (d direcção paralela às fibras)	11 MPa
	Compressão (d direcção normal às fibras)	18 MPa
	Corte	4.8 MPa
	Classe de Qualidade	E
	Classe de Duração das acções	Média
	Classe de Serviço	1
Geodrenos	Geodreno Ø50mm em tubos PVC envoltos em geotêxtil 150 gr/m ²	

5.2 Materiais – estruturas definitivas

As características dos materiais adotados para as estruturas definitivas da estação encontram-se apresentadas nas tabelas seguintes.

Tabela 3 – Características dos materiais – estruturas definitivas – Betão

Materiais	Elemento	Classe de resistência	Classe de exposição	cl. teor de cloretos	D _{max} (mm)	Classe de consistência
Betão (<i>in situ</i>)	Regularização	C12/15	X0	-	-	-
	Estrutura interior em ambiente seco (lajes, vigas, escadas e paredes)	C40/50	XC1	CL 0,40	22	S4
	Estrutura interior em ambiente seco - pilares	C40/50	XC1	CL 0,40	12	S4
	Fundações, muros de contenção definitiva	C40/50	XC4	CL 0,40	22	S4
	Estacas	C30/37	XC2	CL 0,40	22	S3
	Muros de suporte	C30/37	XC4	CL 0,40	22	S4
	Elementos elevados da estação (laje mista)	C40/50	XC4	CL 0,40	12	S4
	Enchimento (sub-cais)	C20/25	X0	-	-	-

Notas:

As betonilhas de enchimento a realizar para o assentamento dos revestimentos dos pisos e para a formação de pendentes nas lajes internas deverão ter um peso específico máximo de 15 kN/m³.

De acordo com a NP EN 1992 e NP EN 206:2003 – A1:2017 os betões a utilizar apresentam as seguintes propriedades:

C30/37

- Valor característico de tensão de rotura à compressão aos 28 dias $f_{ck} = 30.0$ [MPa]
- Valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão $f_{cd} = 20.0$ [MPa]
- Valor médio da tensão de rotura do betão à compressão $f_{cm} = 38.0$ [MPa]
- Valor médio da tensão de rotura do betão à tração simples $f_{ctm} = 2.90$ [MPa]
- Extensão do betão à compressão correspondente à tensão máxima $\epsilon_{c2} = 2.0$ [%]
- Extensão última $\epsilon_{cu2} = 3.5$ [‰]
- Módulo de elasticidade secante do betão $E_{cm} = 32$ [GPa]
- Massa volúmica $\rho_c = 2500$ [kg/m³]
- Coeficiente de dilatação térmica linear $\alpha_t = 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$
- Coeficiente de Poisson $\mu = 0.20$

C40/50

- Valor característico de tensão de rotura à compressão aos 28 dias $f_{ck} = 40.0$ [MPa]
- Valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão $f_{cd} = 26.7$ [MPa]

• Valor médio da tensão de rotura do betão à compressão	$f_{cm} = 48.0$ [MPa]
• Valor médio da tensão de rotura do betão à tração simples	$f_{ctm} = 3.50$ [MPa]
• Extensão do betão à compressão correspondente à tensão máxima	$\epsilon_{c2} = 2.0$ [%]
• Extensão última	$\epsilon_{cu2} = 3.5$ [%]
• Módulo de elasticidade secante do betão	$E_{cm} = 35$ [GPa]
• Massa volúmica	$\rho_c = 2500$ [kg/m ³]
• Coeficiente de dilatação térmica linear	$\alpha_t = 10^{-5}/^\circ\text{C}$
• Coeficiente de Poisson	$\mu = 0.20$

Tabela 4 – Características dos materiais – estruturas definitivas – Aço ordinário e aço estrutural

Materiais	Localização	Classe de resistência	
Aço Ordinário e Aço Estrutural	Armaduras ordinárias	A500 NR SD (LNEC E460)	
	Malha eletrossoldada	A500 ER (LNEC E479)	
	Estruturas metálicas	Perfis de secção aberta, chapas e PRS	S355 J0 (EN 10025)
		Perfis Tubulares	S355 J2H (EN 10210)
		Perfis enformados a frio tipo Omega	S350GD+Z275 (EN 10346)
		Chapa trapezoidal para laje mista	S350GD+ZM175 (EN 10346)
	Parafusos / Pernos	CLASSE 8.8/10.9 (EN 14399)	
	Porcas	CLASSE 8/10 (EN 20898)	

De acordo com a NP EN 1993-1-1:2010 e EN10080 o aço da classe A 500 NR SD apresenta as seguintes propriedades:

• Valor característico da tensão de cedência	$f_{yk} = 500$ [MPa]
• Valor de cálculo da tensão de cedência à tração	$f_{yd} = 435$ [MPa]
• Valor característico da extensão à tensão máxima	$\epsilon_{uk} = 7.5$ [%]
• Valor de cálculo para o módulo de elasticidade	$E_s = 200$ [GPa]
• Massa volúmica	$\rho_s = 7850$ [kg/m ³]
• Coeficiente de dilatação térmica linear	$\alpha_t = 10^{-5}/^\circ\text{C}$
• Coeficiente de Poisson	$\mu = 0.30$

A generalidade dos elementos metálicos apresenta as seguintes propriedades, de acordo com a EN1993-1-1:2010 e NP EN 10025-3:

- Valor característico da tensão de cedência/ tensão última:

	f_{yk} [MPa]	f_u [MPa]
$t \leq 16$ mm	355	470
16 mm $< t \leq 40$ mm	345	

40 mm < t ≤ 63 mm	335	
63 mm < t ≤ 80 mm	325	

- Módulo de elasticidade de cálculo $E_a = 210$ [GPa]
- Densidade média do material $\rho_a = 7850$ [kg/m³]
- Coeficiente linear de dilatação térmica $\alpha_t = 12 \times 10^{-6}$ / °C

Tabela 5 – Recobrimentos nominais das armaduras – estruturas definitivas

Recobrimentos Nominais (*) (**)		
	Elemento	Recobrimento nominal
Recobrimentos a Garantir de Acordo com Exigências de Resistência ao Fogo e Durabilidade dos Materiais Vida Útil Considerada: 100 Anos Resistência ao Fogo: R120	Lajes elevadas e escadas	40 mm
	Paredes interiores	40 mm
	Pilares e Vigas	45 mm
	Revestimento definitivo das galerias	45 mm
	Laje de fundo do poço principal	45 mm
	Lajes de cobertura enterradas	45 mm
	Paredes de contenção definitiva	50 mm

(*) - Recobrimento mínimo + Margem de cálculo para as tolerâncias de execução = Recobrimento nominal.

(**) - Em elementos inferiores a 0.25 m o recobrimento é reduzido em 0.005 m, devendo ser garantidos os recobrimentos mínimos definidos na EN 10080.

6 ACÇÕES

6.1 Acções Permanentes

6.1.1 Peso Próprio da estrutura (G1)

• Elementos de betão armado	25.0 [kN/m ³]
• Elementos de betão fresco	26.0 [kN/m ³]
• Elementos de betão simples	24.0 [kN/m ³]
• Elementos de aço estrutural	78.5 [kN/m ³]

6.1.2 Restantes Cargas Permanentes (G2)

Considera-se como “restante carga permanente” a carga que, não fazendo parte da própria estrutura, tem um carácter permanente sobre ela; nesta categoria englobam-se os pesos próprios dos revestimentos, paredes divisórias e terra vegetal em coberturas jardinadas por exemplo.

Para efeitos de cálculo do valor de restante carga permanente por piso foram considerados valores médios de pesos específicos dos materiais; o peso volúmico do solo foi obtido da parametrização geotécnica (Tomo I – Geral, Volume 6 – Estudo Geológico/Geotécnico):

• Enchimento em betão simples	24 [kN/m ³]
• Enchimentos ou betonilha de pisos com betão leve	15 [kN/m ³]
• Peso volúmico do solo	20 [kN/m ³]

Revestimentos (inclui enchimentos, betonilhas e acabamentos):

✓ Espaços de circulação e permanência do público (zona 1)	[kN/m ²] 2,8
✓ Espaços de apoio à exploração (zona 2)	[kN/m ²] 2,8
✓ Instalações técnicas	[kN/m ²] 3,0
✓ Cobertura	[kN/m ²] 2,0

Tectos falsos e/ou pequenas instalações técnicas sob lajes [kN/m²] 0,2

Paredes divisórias não estruturais:

✓ Panos de alvenaria simples, esp = 19 cm	[kN/m ²] 2,1
---	--------------------------

Equipamentos fixos:

✓ Escadas rolantes (carga de faca em 1,5 m)	[kN/m] 75
✓ Elevadores (a definir de acordo com fornecedor)	[kN/m ²] 5.0

6.1.3 Retracção e Fluência (C)

O cálculo da retracção e fluência foi realizado através do procedimento prescrito na EN 1992-1-1:2004 considerando um período de 10.000 dias após o início da construção.

Na quantificação da fluência e retracção do betão foi admitida uma humidade relativa ambiente de 70%, correspondente a um ambiente moderado, e uma temperatura exterior de 20°C.

6.1.4 Impulso lateral do solo (R)

Na definição do impulso lateral do solo a actuar nos muros foram tomados os seguintes parâmetros de acordo com as características geomecânicas dos maciços interessados:

- Ângulo de atrito interno do solo [°] 30
- Peso volúmico do solo [kN/m³] 20
- Coeficiente de impulso activo [-] $K_a = 0.33$
- Coeficiente de impulso em repouso [-] $K_0 = 0.50$

Uma vez definido o coeficiente de impulso lateral do solo a utilizar para uma determinada análise, a pressão lateral do solo é dada pela seguinte expressão:

$$\sigma_{solo} = K_i \times \gamma \times h$$

onde “h” é a altura de terra no tardo do muro e “i” é o identificador do coeficiente de pressão do solo.

No cálculo dos impulsos do solo a actuar nos muros foi tomado o valor do impulso em repouso devido ao facto dos movimentos laterais se encontrarem restringidos pela existência de lajes e de outros elementos verticais.

Em verificações de estabilidade de muros de suporte de terras com geometrias em consola foi considerado o coeficiente de impulso activo.

Estes valores foram assumidos após consulta do zonamento geotécnico apresentado nas peças desenhadas.

6.1.5 Impulso hidroestático (RW)

A possibilidade da presença de água no solo foi tomada em consideração através da aplicação de um impulso hidrostático abaixo da interface do afloramento do complexo vulcânico ($\beta+\tau$) e na faixa onde ocorrem os aterros heterogéneos. Na determinação dos impulsos hidrostáticos considerou-se um peso específico da água de $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$ pelo que a pressão hidroestática é dada pela seguinte expressão:

$$\sigma_{\text{água}} = \gamma_w \times h$$

O nível freático foi definido para cada secção de cálculo, tanto no projecto das estruturas provisórias como no dimensionamento das estruturas definitivas. Adoptaram-se os níveis freáticos definidos no Tomo I – Geral, Volume 6 – Estudo Geológico/Geotécnico.

6.1.6 Assentamentos (S)

Face às soluções encontradas para a fundação da estrutura da estação, com fundações superficiais na zona Poente da estação onde o solo é constituído por estratos rochosos do Cretácico e fundações profundas a Nascente onde os estratos Cretácicos aparecem em profundidade sob uma espessa camada de aterros de qualidade inferior, não se prevem nesta fase a ocorrência de assentamentos uma vez que a utilização de soluções de fundação distintas permite uma uniformização das tensões verticais transmitidas ao terreno e por conseguinte uma redução dos assentamentos diferenciais.

A avaliação do assentamento de um grupo de estacas em meio não coesivo será realizada com base na teoria linear de assentamento de Poulos. De acordo com esta teoria, o assentamento total de um grupo de estacas, s_g , é dado pela factorização do assentamento de uma estaca individual, s_0 , de acordo com a expressão seguinte:

$$s_g = s_0 \times g_f$$

onde g_f é o factor de assentamento do grupo em meio não coesivo (segundo Pile Buck Inc. 1992) e é dado por:

$$g_f = \sqrt{\frac{b_x}{d}}$$

onde “d” é o diâmetro da estaca e “ b_x ” é a largura mínima do grupo de estacas.

O assentamento de uma estaca individual pode ser obtido directamente da consulta da sua curva de carga-assentamento cuja definição depende da capacidade resistente da base da estaca, R_{bu} , da capacidade resistente lateral da estaca, R_{su} , e da caracterização do solo de fundação através do módulo de elasticidade, E , e do coeficiente de Poisson, ν . Os sucessivos assentamentos para valores de carga aplicada crescentes são então obtidos através da teoria da elasticidade com modificações atribuídas a medições *in situ*, de acordo com o procedimento descrito no livro *Pile Foundations Analysis and Design* (H. G. Poulos e E. H. Davis).

A figura seguinte explicita a obtenção da curva carga-assentamento global que depende do valor da capacidade última da estaca dado pela soma das capacidades resistentes da base e laterais.

$$P_u = R_{bu} + R_{su}$$

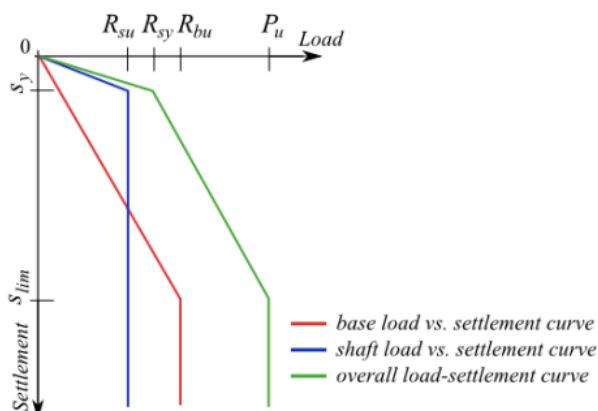


Figura 1 – Obtenção da curva carga-assentamento de uma estaca de acordo com o método de Poulos

6.2 Acções Variáveis

6.2.1 Sobrecarga do Terrapleno (RQ)

Foi considerada uma sobrecarga de 10 kN/m² para a determinação dos impulsos de terras por efeito da circulação de veículos à superfície.

6.2.2 Sobrecarga nos Pisos (Q)

De acordo com as tabelas 6.1, 6.9, 6.10, N.A-6.2 e N.A-6.10 da NP EN1991-1-1, é possível classificar as sobrecargas relevantes nos pisos de edificios de acordo com as seguintes categorias:

- C3 – Zonas sem obstáculos para a movimentação de pessoas; por exemplo (...) átrios de entrada de estações de comboio
 - ✓ Pavimentos [kN/m²] 5.00
 - ✓ Escadas [kN/m²] 5.00

Esta sobrecarga deverá ser considerada em todas as lajes que não pertençam à Categoria C5 ou a pisos técnicos.

- C5 – Zonas de possível acolhimento de multidões; por exemplo (...) plataformas ferroviárias
 - ✓ Pavimentos [kN/m²] 6.00
 - ✓ Escadas [kN/m²] 6.00

Esta sobrecarga deverá ser considerada nas lajes dos pisos destinados a plataformas ferroviárias como é o caso do Piso 0 (cais do LIOS) e do piso 2 superior (cais do Metropolitano).

- H - Coberturas não acessíveis, excepto para operações de manutenção e reparação correntes

- ✓ Pavimentos [kN/m²] 0.40

No caso de lajes pertencentes às áreas técnicas periféricas da estação consideram-se as sobrecargas de acordo com o definido nas Normas de Projecto de Estruturas do Metropolitano de Lisboa, E.P.:

- ✓ Pisos técnicos [kN/m²] 10.0

Para coberturas enterradas com recobrimento de terras $h_{\text{terras}} > 1$ m e sem situações particulares de carga (p.e. fundações de edificios existentes) deverá considerar-se uma sobrecarga uniformemente distribuída de 50 kN/m² com uma degradação de 10 kN/m² por cada metro de profundidade, ou seja:

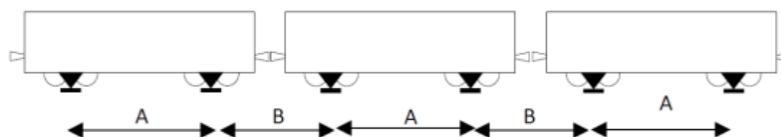
- ✓ Coberturas enterradas com recobrimento $h_{\text{terras}} > 1$ m [kN/m²] 50.0 - 10 h_{terra}

6.2.3 Sobrecarga Ferroviária: Comboio Tipo (CT)

O material circulante na linha do Metropolitano é formado por unidades triplas compostas por 2 motoras (M) e um reboque (R) com a formação MRM. Os veículos poderão ser constituídos por 2 unidades triplas, com a formação MRM-MRM.

Em seguida enumeram-se as principais características geométricas relevantes para o posicionamento e modelação das acções do material circulante do Metropolitano de Lisboa:

- Largura ao nível das longarinas do chão [mm] 2700
- Embasamento do bogie [mm] ≤ 2100
- Bitola [mm] 1435
- Diâmetro das rodas novas [mm] 860
- Distância entre pontos de levante de uma UT



- ✓ Distância A = 10400 mm
- ✓ Distância B = 5900 mm

- Largura entre pontos de levante de uma UT [mm] 2520

As principais características do material circulante que interessam à quantificação das acções a aplicar sobre a estrutura são as seguintes:

- Peso em tara de uma carruagem motora [kg] 30 000
- Peso em tara de uma carruagem reboque [kg] 20 000
- Área útil total para passageiros de uma carruagem motora [m²] 36,65
- Área útil total para passageiros de uma carruagem reboque [m²] 40,91
- Densidade de passageiros [pax/m²] 6
- Peso médio por passageiro [kg] 70
- Coeficiente de majoração da carga dos passageiros para cálculo estrutural [-] 1,60

6.2.3.1 Cargas verticais

As sobrecargas ferroviárias a considerar no dimensionamento são obtidas a partir dos dados apresentados no ponto anterior:

Carruagens motoras:

- Peso em tara de uma carruagem motora [kg] 30 000
- Peso dos passageiros (majorada) [kg] 24 629

$$densidade \times \hat{A}_{\text{útil,motora}} \times peso \text{ médio} \times \gamma = 6 \times 36.65 \times 70 \times 1.60 \approx 24629 \text{ kg}$$

- Total Q₁ [kg] 54 629
- Total Q₁ [kN] ~ 546

Carruagens reboque:

- Peso em tara de uma carruagem reboque [kg] 20 000
- Peso dos passageiros (majorada) [kg] 27 492

$$densidade \times \hat{A}_{\text{útil,reboque}} \times peso \text{ médio} \times \gamma = 6 \times 40.91 \times 70 \times 1.60 \approx 27492 \text{ kg}$$

- Total Q₂ [kg] 47 492
- Total Q₂ [kN] ~ 475

Na Figura 2 apresenta-se a disposição geométrica do carregamento vertical correspondente a uma unidade tripla MRM.

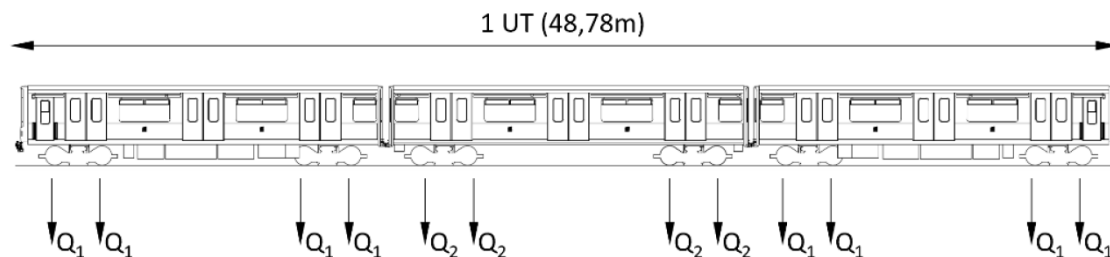


Figura 2 – Cargas transmitidas por uma formação MRM

6.2.3.2 Factor dinâmico

A necessidade de realização de uma análise dinâmica para avaliação dos efeitos provocados pelas cargas verticais foi avaliada de acordo com o procedimento preconizado na NP EN 1991-2.

Uma vez que a velocidade de projecto é inferior a 200km/h e que a estrutura que suporta o Metropolitano é composta por diversos pórticos transversais e longitudinais com continuidade, a norma estabelece que a análise dinâmica não é necessária, não sendo também necessárias verificações da aceleração e da fadiga em ressonância.

Assim sendo, os efeitos dinâmicos deverão ser determinados através de uma análise estática, em que as cargas verticais são majoradas pelo coeficiente dinâmico Φ cuja obtenção depende da manutenção das linhas.

Para linhas férreas com manutenção *standard* o factor dinâmico é dado por:

$$\Phi = \Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{L_\Phi - 0.20}} + 0.73$$

O comprimento determinante, L_Φ , é determinado através das considerações da tabela 6.2 do EC1991-2 para os diversos elementos que constituem os pórticos mencionados previamente:

Tabela 6 – Factores dinâmicos a aplicar a CT para o dimensionamento dos elementos de suporte

elemento	item tabela 6.2	L_Φ	Φ
vigas - pórticos principais	3.1 (simplesmente apoiada)	11,25	1,415
pilares - pórticos	6	11,25	1,415
longarinas longitudinais	3.1 (grelha continua)	15,0	1,318

6.2.3.3 Força de lacete

Conforme estabelecido na NP EN 1991-2, a força de lacete é dada por uma força horizontal concentrada $Q_{sk}=100\text{kN}$ aplicada horizontalmente ao nível superior dos carris e perpendicularmente à via. Esta força deve ser sempre aplicada em conjunto com as cargas verticais.

6.2.3.4 Força de arranque e frenagem

As forças de arranque e frenagem pretendem ter em consideração os efeitos que os movimentos de aceleração e travagem das composições têm sobre a estrutura; estes movimentos são considerados através de forças uniformemente distribuídas aplicadas no topo dos carris e na direcção longitudinal do tabuleiro ao longo do comprimento de influência $L_{a,b}$.

Os valores característicos das forças de arranque e frenagem para uma formação MRM-MRM podem ser obtidos das seguintes expressões:

- Forças de arranque:

$$Q_{lak} = 25\% \times \sum \text{forças nos bogies} = 25\% \times 3076 = 769 \text{ kN} \leq 1000 \text{ kN}$$

- Forças de frenagem:

$$Q_{lbk} = 25\% \times \sum \text{forças nos bogies} = 25\% \times 3076 = 769 \text{ kN} \leq 6000 \text{ kN}$$

De acordo com a EN 1991-2, as forças de arranque e de frenagem não necessitam de ser majoradas pelo coeficiente dinâmico.

6.2.4 Sobrecarga Ferroviária: Comboio LIOS (CL)

À data de elaboração deste documento, as condições de operação do LIOS não eram ainda conhecidas pelo que a quantificação das acções devido à circulação deste comboio não constam deste documento.

Para efeitos de cálculo, no referente às acções verticais, de lacete, de arranque e de frenagem, foram tomados os valores apresentados em 6.2.3 referentes ao material circulante tipo do Metropolitano de Lisboa.

6.2.5 Temperatura (T)

A componente uniforme da temperatura para um elemento estrutural, ΔT_u , é definida da seguinte forma:

$$\Delta T_u = T - T_0$$

T – temperatura média do elemento estrutural devido às temperaturas climáticas, no Inverno ou no Verão e das temperaturas operacionais.

$$T = \frac{T_{in} + T_{out}}{2}$$

Deverá ser tido em conta que a estrutura está enterrada parcialmente pelo que existe a necessidade de diferenciar as temperaturas para elementos enterrados.

Foram considerados três tipos de elementos para a quantificar os efeitos da temperatura:

- Elementos de fachada correspondem à cobertura e elementos exteriores;
- Elementos enterrados correspondem aos muros e lajes que fazem a separação entre ambiente interior e solo;
- Elementos interiores correspondem às lajes, pilares e paredes dispostos no interior da estrutura.

A acção da temperatura foi quantificada de acordo com as disposições constantes na NP EN1991-1-5 e no respectivo Anexo Nacional para uma estrutura localizada em Lisboa (zona B nos mapas de zonamento térmico para as condições de Verão e de Inverno).

6.2.5.1 Elementos acima do Solo

Temperatura de Inverno:

$$T_{inverno} = \frac{T_{in} + T_{out}}{2}$$

$$T_{in} = T_2 = 18^{\circ}\text{C}$$

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

$$T_{inverno} = \frac{18 + (0)}{2} = 9^{\circ}\text{C}$$

Temperatura de Verão:

$$T_{verão} = \frac{T_{in} + T_{out}}{2}$$

$$T_{in} = T_1 = 25^{\circ}\text{C}$$

$$T_{out} = T_{max} + T_5 = 40^{\circ}\text{C} + 5^{\circ}\text{C} = 45^{\circ}\text{C}$$

$$T_{verão} = \frac{25 + 45}{2} = 35^{\circ}\text{C}$$

Variação uniforme de temperatura para uma temperatura inicial $T_0=15^{\circ}\text{C}$:

$$\Delta T_{u,inverno,ElementosFachada} = 9.0 - 15.0 = -6.0^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{u,inverno,ElementosInteriores} = 18.0 - 15.0 = +3.0^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{u,ver\tilde{a}o,ElementosFachada} = 35.0 - 15.0 = +20.0^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{u,ver\tilde{a}o,ElementosInteriores} = 25.0 - 15.0 = +10.0^{\circ}\text{C}$$

6.2.5.2 Elementos Enterrados

Temperatura de Inverno:

$$T_{inverno} = \frac{T_{in} + T_{out}}{2}$$

$$T_{in} = T_2 = 18^{\circ}\text{C}$$

$$T_{out} = T_9 = 8^{\circ}\text{C}$$

$$T_{inverno} = \frac{18 + 8}{2} = 13.0^{\circ}\text{C}$$

Temperatura de Verão:

$$T_{ver\tilde{a}o} = \frac{T_{in} + T_{out}}{2}$$

$$T_{in} = T_1 = 25^{\circ}\text{C}$$

$$T_{out} = T_7 = 15^{\circ}\text{C}$$

$$T_{ver\tilde{a}o} = \frac{25 + 15}{2} = 20.0^{\circ}\text{C}$$

Varição uniforme de temperatura para uma temperatura inicial $T_0=15^{\circ}\text{C}$:

$$\Delta T_{u,inverno,ElementosEnterrados} = 13.0 - 15.0 = -2.0^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{u,inverno,ElementosInteriores} = 18.0 - 15.0 = +3.0^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{u,ver\tilde{a}o,ElementosEnterrados} = 20.0 - 15.0 = +5.0^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{u,ver\tilde{a}o,ElementosInteriores} = 25.0 - 15.0 = +10.0^{\circ}\text{C}$$

6.2.6 Vento (W)

A acção do vento foi considerada de acordo com a NP EN 1991-1-4. De acordo com o Anexo Nacional, a estação de Alcântara em Lisboa pertence à zona B que compreende as regiões

costeiras localizadas numa faixa de 5km de largura expostas a vento de mar, dos arquipélagos dos Açores e da Madeira e das zonas com altitude superior a 600m.

Assumiu-se que o terreno se insere na Categoria III que compreende zonas 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: aldeias, zonas suburbanas, florestas permanentes).

Daqui resulta:

Valor básico da velocidade de referência do vento	$V_{b0} = 30.0 \text{ m/s}$
Comprimento de rugosidade (Cat. III)	$z_0 = 0.3 \text{ m}$
Altura mínima (Cat. III)	$z_{min} = 8 \text{ m}$
c_{dir} - coeficiente de direcção	

c_{season} - coeficiente de sazão

De acordo com o Anexo Nacional o valor recomendado para c_{dir} e c_{season} é 1.0.

O valor de referência da velocidade do vento é calculado através da expressão:

$$V_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot V_{b0} = 30.0 \text{ km/h}$$

Se existir uma probabilidade p desta velocidade ser excedida anualmente então o valor de V_b ainda deve ser multiplicado pelo coeficiente c_{prob} que é dado por

$$c_{prob} = \left(\frac{1 - k \times \ln(1 - p)}{1 - k \times \ln(0.98)} \right)^n = 1.054$$

$$V_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot V_{b0} \cdot c_{prob} = 31.6 \text{ km/h}$$

6.2.6.1 Velocidade média

A velocidade média do vento depende da rugosidade do terreno, da orografia e do valor de referência da velocidade do vento. A expressão que se segue quantifica o valor da velocidade média do vento:

$$V_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot V_b$$

O coeficiente de orografia, $c_0(z)$, foi considerado igual a 1.0.

O coeficiente de rugosidade do terreno, $c_r(z)$, depende da altura acima do nível do solo da construção e da rugosidade do terreno a barlavento da construção. O procedimento recomendado para a determinação do coeficiente de rugosidade à altura z é definido pela seguinte expressão:

$$c_r(z) = \begin{cases} k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) & \text{para } z_{min} \leq z \leq z_{max} \\ c_r(z_{min}) & \text{para } z \leq z_{min} \end{cases}$$

z_0 - comprimento de rugosidade

k_r - coeficiente de terreno. Este valor depende do comprimento de rugosidade z_0 e é calculado através de:

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07}$$

$z_{0,II} = 0.05$ m (categoria de terreno II)

z_{min} - altura mínima, dependente da categoria do terreno

z_{max} - altura máxima limite igual a 200 m

6.2.6.2 Pressão dinâmica de pico de vento

A pressão dinâmica de pico à altura z , $q_p(z)$, resulta da velocidade média do vento e respectivas flutuações de curta duração. A seguinte expressão quantifica o valor de pressão dinâmica de pico do vento:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

ρ - massa volúmica do ar. O valor recomendado é 1.25 kg/m³

$I_v(z)$ - intensidade de turbulência à altura z . O valor é obtido pela seguinte expressão:

$$I_v(z) = \begin{cases} \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} & \text{para } z_{min} \leq z \leq z_{max} \\ I_v(z_{min}) & \text{para } z \leq z_{min} \end{cases}$$

k_I - coeficiente de turbulência. O valor recomendado é 1.0.

Simplificando, o valor de pressão dinâmica de pico do vento pode ser obtido através da expressão:

$$q_p(z) = \left[1 + \frac{7}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}\right] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = \left[1 + \frac{7}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}\right] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot [c_r(z)]^2 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Para efeitos de cálculo da pressão do vento sobre qualquer elemento, considerou-se a cota $z = 0.0 \text{ m}$ correspondente ao nível do solo.

Uma vez que a estrutura tem duas fachadas distintas (no que toca a alturas livres expostas ao vento, inclinações e áreas expostas) foi necessário quantificar as pressões individualmente e considerando fatias com alturas médias de acordo com o procedimento apresentado nas figuras seguintes.

FACHADA SUL

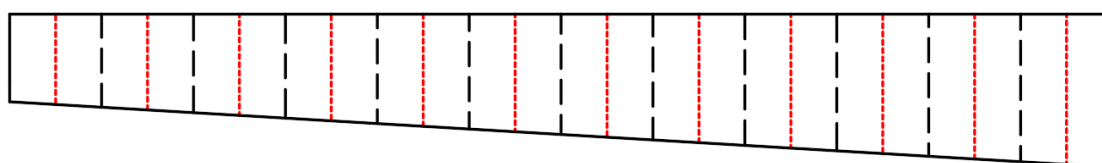


Figura 3 – Alturas médias consideradas na quantificação da pressão de pico à cota z – Fachada Sul

FACHADA NORTE

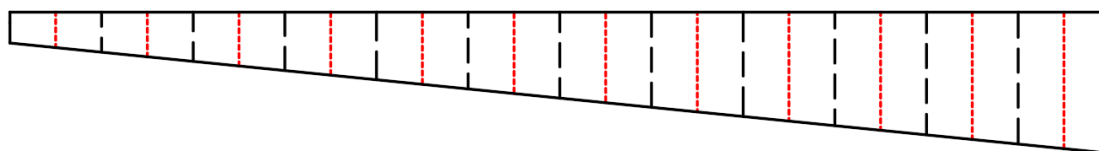


Figura 4 – Alturas médias consideradas na quantificação da pressão de pico à cota z – Fachada Norte

A acção do vento, quando quantificada para verificação dos efeitos locais (elementos de ligação metálica, elementos de cobertura e fachada, etc.), é tomada como uma pressão aplicada nas superfícies expostas. Esta pressão é obtida da multiplicação da pressão dinâmica de pico à cota z pelos coeficientes de pressão indicados pelo EC1-1-4 para cada tipo de estrutura, elemento, geometria e direcção do vento. A definição dos coeficientes de pressão para os efeitos locais e consequente obtenção das pressões aplicadas é apresentada no ponto 6.2.6.3.

A acção do vento, quando quantificada para a verificação global da estrutura (estabilidade e equilíbrio) é tomada como uma força obtida da multiplicação da força resultante do vento (pressão \times área de aplicação) por um coeficiente de força global indicado pelo EC1-1-4 para cada tipo de estrutura, elemento, geometria e direcção do vento. A definição dos coeficientes de força globais e consequente obtenção das forças resultantes aplicadas é apresentada no ponto 6.2.6.4.

6.2.6.3 Efeitos locais – coeficientes de pressão

A quantificação da acção do vento para efeitos de verificação local dos elementos é feita através da consideração de coeficientes de pressão que dependem fundamentalmente do tipo de estrutura

em causa (edifício, ponte, treliça, etc.), tipo de elemento (fachada, cobertura, coluna isolada, etc.), da geometria (dimensões gerais, inclinação, etc.) e da direcção do vento (perpendicular ao elemento, paralelo ao elemento, etc.). Face à geometria variável da estação nas suas quatro fachadas, optou-se por dividir este capítulo em quatro sub-capítulos, correspondentes não só a quatro fachadas de geometrias diferentes como também a quatro direcções dominantes do vento.

Vento Sul-Norte

Para um vento dominante com o sentido Sul-Norte é necessário quantificar os coeficientes de pressão na fachada Sul (tendo em consideração a sua geometria, índice de cheios e alturas livres expostas ao vento) e na cobertura (tendo em consideração a sua geometria, número de vertentes e ângulo de inclinação, grau de obstrução e alturas livres expostas).

Face à sua geometria e condições de apoio os coeficientes de pressão da fachada Sul foram obtidos considerando um funcionamento equivalente a paredes isoladas e platibandas. Para estes elementos é necessário obter o índice de cheios que se define como o rácio entre as áreas de abertura e as áreas totais.

- Equivalente a “parede isolada ou platibanda” – EC1-1-4, ponto 7.4.1;
- Índice de cheios $\phi \approx 0.80$ devido à área da grelha inferior.

Para estas condições, os coeficientes de pressão da fachada Sul são obtidos da consulta do quadro 7.9 do EC1-1-4 de onde resulta um $c_{p,net}$ de 1.20 independentemente da zona considerada.

A Tabela 7 explicita o cálculo das pressões dinâmicas de pico considerando as alturas médias de cada fatia ao longo dos 120.0m de desenvolvimento da estação (representadas esquematicamente a vermelho na Figura 3).

Tabela 7 – Pressões dinâmicas de pico e pressões dinâmicas a aplicar – fachada Sul

PRESSÕES DINÂMICAS DE PICO																
According EN1991-1-4:2010																
Project Name	EXPANSÃO DA LINHA VERMELHA - ESTAÇÃO DE ALCÂNTARA										Date	07/06/2024				
Project Number											Description	PRESSÕES DO VENTO PARA TEMPO DE SERVIÇO				
Element	FACHADA SUL															
1 Reference values																
EN1991-1-4 (4.2)																
Zone	B		NA.4.2 (1)		Basic wind velocity		v_b	m/s	31,6		Categorias de Terreno e Respectivos parâmetros					
$v_{b,0}$	m/s		30		Air density		ρ	kg/m ³	1,25		0	I	II	III	IV	
C_{dir}	--		1,00		Dynamic reference pressure		q_b	kN/m ²	0,62		1 or 0	0	0	0	1	0
C_{season}	--		1,00		Reference height		z_0	m	0,3		z_0	0,003	0,005	0,050	0,300	1,000
Design working life	yrs		50		Minimum height		z_{min}	m	8		z_{min}	1	1	3	8	15
prob	%		1%		Oreography factor		c_0	--	1,00							
K	--		0,11		Turbulence factor		k_1	--	0,215							
n	--		1,00													
C_{prob}	--		1,054													
id point	x	Z_{soil}	$Z_{cobertura}$	z	$c_{r,1}$	$c_{r,2}$	c_r	V_m	$l_{v,1}$	$l_{v,2}$	l_v	q_p	$C_{p,net}$	$q_p \times C_{p,net}$		
	m	m	m	m	--	--	--	m/s	--	--	--	kN/m ²	--	kN/m ²		
1,0	5,00	0,00	9,80	9,80	0,751	0,707	0,751	23,74	0,287	0,305	0,287	1,06	1,20	1,27		
2,0	15,00	0,00	10,40	10,40	0,764	0,707	0,764	24,14	0,282	0,305	0,282	1,08	1,20	1,30		
3,0	25,00	0,00	11,00	11,00	0,776	0,707	0,776	24,52	0,278	0,305	0,278	1,11	1,20	1,33		
4,0	35,00	0,00	11,60	11,60	0,787	0,707	0,787	24,89	0,274	0,305	0,274	1,13	1,20	1,35		
5,0	45,00	0,00	12,20	12,20	0,798	0,707	0,798	25,23	0,270	0,305	0,270	1,15	1,20	1,38		
6,0	55,00	0,00	12,80	12,80	0,808	0,707	0,808	25,56	0,266	0,305	0,266	1,17	1,20	1,40		
7,0	65,00	0,00	13,40	13,40	0,818	0,707	0,818	25,87	0,263	0,305	0,263	1,19	1,20	1,43		
8,0	75,00	0,00	13,90	13,90	0,826	0,707	0,826	26,12	0,261	0,305	0,261	1,20	1,20	1,45		
9,0	85,00	0,00	14,50	14,50	0,835	0,707	0,835	26,41	0,258	0,305	0,258	1,22	1,20	1,47		
10,0	95,00	0,00	15,10	15,10	0,844	0,707	0,844	26,68	0,255	0,305	0,255	1,24	1,20	1,49		
11,0	105,00	0,00	15,70	15,70	0,852	0,707	0,852	26,95	0,253	0,305	0,253	1,26	1,20	1,51		
12,0	115,00	0,00	16,30	16,30	0,861	0,707	0,861	27,20	0,250	0,305	0,250	1,27	1,20	1,53		

Simultaneamente a estas condições de carregamento na fachada Sul, aplicam-se, na fachada de sotavento (neste caso, fachada Norte) as pressões constantes na Tabela 12 multiplicadas pelo coeficiente de protecção $\Psi_s = 0.30$ obtido através das considerações constantes no ponto 7.4.2 do EC1-1-4 considerando a geometria da fachada de sotavento e o índice de vazios da fachada de barlavento.

Face às condições de apoio da cobertura e fachadas e devido ao facto de duas das fachadas da estrutura (Este e Oeste) serem abertas, os coeficientes de pressão da cobertura foram obtidos considerando um funcionamento equivalente a coberturas isoladas.

Para estes elementos é necessário obter a obstrução que se define como o quociente entre a área dos eventuais obstáculos sob a cobertura e a área da secção transversal sob a cobertura.

- Equivalente a “cobertura isolada” – EC1-1-4, ponto 7.3;
- Obstrução $\varphi = 1.0$ devido à existência de paredes e estrutura interna da estação.
- Ângulo de inclinação da cobertura $\alpha = 18^\circ$ (coeficientes de pressão obtidos da média entre os coeficientes para $\alpha = 15^\circ$ e $\alpha = 20^\circ$)

Para estas condições, os coeficientes de pressão da cobertura são obtidos da consulta do quadro 7.7 do EC1-1-4 de onde resultam os $c_{p,net}$ apresentados na tabela seguinte.

Tabela 8 – Coeficientes de pressão resultante $c_{p,net}$ - vento sentido Sul – Norte – cobertura isolada de duas vertentes

coeficientes de pressão resultante $c_{p,net}$				
	A	B	C	D
máximo, qualquer φ	1,00	1,90	1,45	0,40
mínimo, $\varphi = 1,0$	-1,35	-2,20	-1,60	-2,10

Os coeficientes de pressão resultante $c_{p,net}$ dependem da zona interessada da cobertura uma vez que as áreas periféricas de um determinado elemento tendem a estar mais solicitadas. Para coberturas isoladas de duas vertentes a distribuição de zonas é a da Figura 5 (onde b é a dimensão perpendicular à direcção do vento) que se traduz na geometria da Figura 6 para ventos com direcção transversal à estação (Sul-Norte e Norte-Sul).

Coeficientes de pressão resultante $c_{p,net}$

Key plan

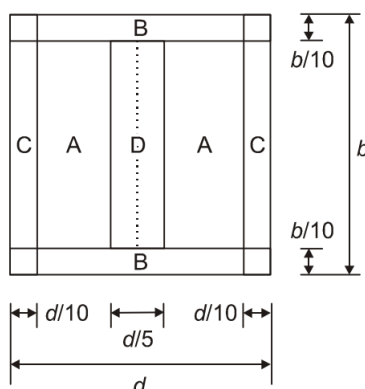


Figura 5 – Distribuição de coeficientes de pressão resultante $c_{p,net}$ – coberturas isoladas de duas vertentes

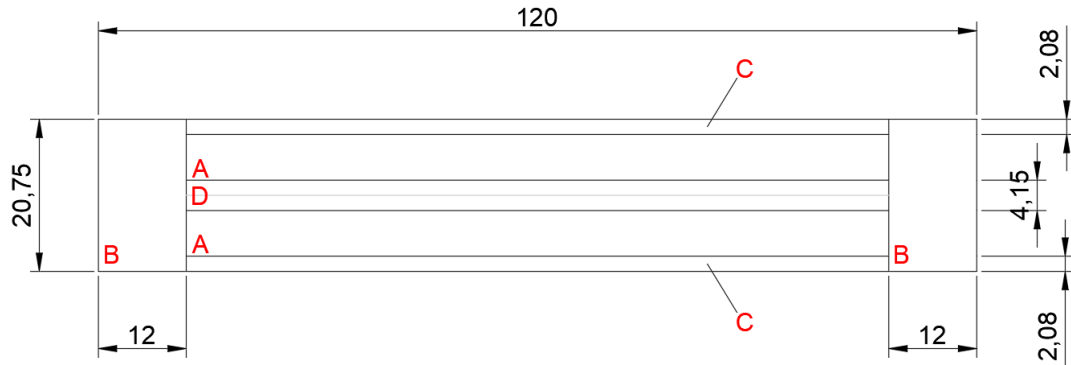


Figura 6 – Distribuição de coeficientes de pressão resultante $c_{p,net}$ – vento transversal

Em coberturas de duas vertentes, as pressões totais são obtidas para a menor cota livre da cobertura, correspondente regra geral à altura livre da fachada. Face à variação das fachadas em altura, optou-se por proceder a uma optimização das pressões dinâmicas de pico para cada zona e admitir uma variação linear dentro de uma mesma zona.

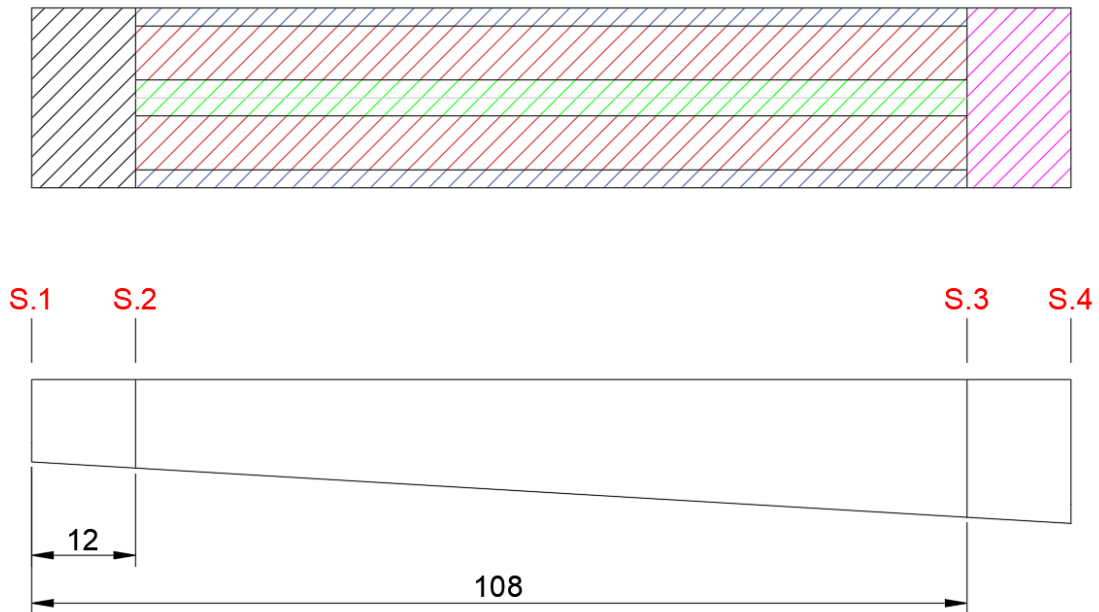


Figura 7 – Identificação das zonas da cobertura e consequente optimização das alturas livres da fachada

Tabela 9 – Pressões dinâmicas de pico – cobertura – vento Sul-Norte

PRESSÕES DINÂMICAS DE PICO																	
According EN1991-1-4:2010																	
Project Name	EXPANSÃO DA LINHA VERMELHA - ESTAÇÃO DE ALCÂNTARA										Date	11/06/2024					
Project Number											Description	PRESSÕES DO VENTO PARA TEMPO DE SERVIÇO					
Element	COBERTURA - VENTO SUL-NORTE																
1 Reference values																	
EN1991-1-4 (4.2)																	
Zone	B		NA.4.2 (1)		Basic wind velocity		v_b	m/s	31,6		Categorias de Terreno e Respetivos parâmetros						
$v_{b,0}$	m/s		30		Air density		ρ	kg/m ³	1,25		0	I	II	III	IV		
C_{dir}	--		1,00		Dynamic reference pressure		q_b	kN/m ²	0,62		1 or 0	0	0	0	1	0	
C_{season}	--		1,00		Reference height		z_0	m	0,3		z_0	0,003	0,005	0,050	0,300	1,000	
Design working life	yrs		50		EN1991-1-4 (4.3)		Minimum height	z_{min}	m	8		z_{min}	1	1	3	8	15
prob	%		1%		Oreography factor		c_o	--	1,00								
K	--		0,11		Turbulence factor		k_1	--	1,00								
n	--		1,00														
C_{prob}	--		1,054														
id point	x	Z_{soil}	$Z_{cobertura}$	z	$c_{r,1}$	$c_{r,2}$	c_r	V_m	$l_{r,1}$	$l_{r,2}$	l_r	q_p					
	m	m	m	m	--	--	--	m/s	--	--	--	kN/m ²					
S.1	0,00	0,00	9,51	9,51	0,744	0,707	0,744	23,53	0,289	0,305	0,289	1,05					
S.2	12,00	0,00	10,22	10,22	0,760	0,707	0,760	24,02	0,283	0,305	0,283	1,08					
S.3	108,00	0,00	15,90	15,90	0,855	0,707	0,855	27,03	0,252	0,305	0,252	1,26					
S.4	120,00	0,00	16,61	16,61	0,865	0,707	0,865	27,33	0,249	0,305	0,249	1,28					

A consideração das pressões dinâmicas de pico calculadas na Tabela 9 e do zonamento apresentado na Figura 6 e na Figura 7 resulta nas seguintes pressões dinâmicas a aplicar na cobertura, para um vento transversal com sentido Sul-Norte:

Tabela 10 – Pressões dinâmicas a aplicar – cobertura – vento Sul-Norte – sentido descendente do vento

cobertura - vento Sul-Norte - sentido descendente				
Área	Zona	$C_{p,net}$	q_p [kN/m ²]	$q_p \times C_{p,net}$ [kN/m ²]
1	B	1,90	1,05 a 1,08	2,0 a 2,05
2	C	1,45	1,08 a 1,26	1,57 a 1,83
3	A	1,00	1,08 a 1,26	1,08 a 1,26
4	D	0,40	1,08 a 1,26	0,43 a 0,50
5	B	1,90	1,26 a 1,28	2,39 a 2,43

Tabela 11 – Pressões dinâmicas a aplicar – cobertura – vento Sul-Norte – sentido ascendente do vento

cobertura - vento Sul-Norte - sentido ascendente				
Área	Zona	$C_{p,net}$	q_p [kN/m ²]	$q_p \times C_{p,net}$ [kN/m ²]
1	B	-2,20	1,05 a 1,08	-2,31 a -2,38
2	C	-1,60	1,08 a 1,26	-1,73 a -2,02
3	A	-1,35	1,08 a 1,26	-1,46 a -1,70
4	D	-2,10	1,08 a 1,26	-2,27 a -2,65
5	B	-2,20	1,26 a 1,28	-2,77 a -2,82

Vento Norte-Sul

Para um vento com sentido Norte-Sul a actuar na fachada Norte e na cobertura, foram tomadas as mesmas considerações já apresentadas anteriormente para a fachada Sul:

- Equivalente a “parede isolada ou platibanda” – EC1-1-4, ponto 7.4.1;
- Índice de cheios $\varphi \approx 0.80$ devido à área da grelha inferior.

Para estas condições, os coeficientes de pressão da fachada Norte são obtidos da consulta do quadro 7.9 do EC1-1-4 de onde resulta um $c_{p,net}$ de 1.20 independentemente da zona considerada.

A Tabela 12 explicita o cálculo das pressões dinâmicas de pico considerando as alturas médias de cada fatia ao longo dos 120.0m de desenvolvimento da estação (representadas esquematicamente a vermelho na Figura 4).

Tabela 12 – Pressões dinâmicas de pico e pressões dinâmicas a aplicar – fachada Norte

PRESSÕES DINÂMICAS DE PICO																																
According EN1991-1-4:2010																																
Project Name										Date																						
EXPANSÃO DA LINHA VERMELHA - ESTAÇÃO DE ALCÂNTARA										11/06/2024																						
Project Number										Description																						
FACHADA NORTE										PRESSÕES DO VENTO PARA TEMPO DE SERVIÇO																						
Element																																
FACHADA NORTE																																
1 Reference values																																
EN1991-1-4 (4.2)																																
Zone	B		NA 4.2 (1)		Basic wind velocity		v_b	m/s		31,6																						
$v_{b,0}$	m/s		30		Air density		ρ	kg/m ³		1,25																						
c_{dir}	--		1,00		Dynamic reference pressure		q_b	kN/m ²		0,62																						
c_{season}	--		1,00		Categorias de Terreno e Respectivos parâmetros																											
Design working life	yrs		50												EN1991-1-4 (4.3)		Reference height	z_0	m		0,3											
prob	%		1%		Minimum height		z_{min}	m		8																						
K	--		0,11		Oreography factor		c_o	--		1,00																						
n	--		1,00		Turbulence factor		k_t	--		1,00																						
c_{prob}	--		1,054																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>1 or 0</th> <th>0</th> <th>I</th> <th>II</th> <th>III</th> <th>IV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>z_0</td> <td>0,003</td> <td>0,005</td> <td>0,050</td> <td>0,300</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td>z_{min}</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>8</td> <td>15</td> </tr> </tbody> </table>															1 or 0	0	I	II	III	IV	z_0	0,003	0,005	0,050	0,300	1,000	z_{min}	1	1	3	8	15
1 or 0	0	I	II	III	IV																											
z_0	0,003	0,005	0,050	0,300	1,000																											
z_{min}	1	1	3	8	15																											
id point	x	Z_{soil}	$Z_{cobertura}$	z	$c_{1,1}$	$c_{1,2}$	c_r	V_m	$l_{x,1}$	$l_{x,2}$	l_v	q_p	$c_{p,net}$	$q_p \times c_{p,net}$																		
	m	m	m	m	--	--	--	m/s	--	--	--	kN/m ²	--	kN/m ²																		
1,0	5,00	0,00	3,90	3,90	0,552	0,707	0,707	22,36	0,390	0,305	0,305	0,98	1,20	1,17																		
2,0	15,00	0,00	4,90	4,90	0,602	0,707	0,707	22,36	0,358	0,305	0,305	0,98	1,20	1,17																		
3,0	25,00	0,00	5,90	5,90	0,642	0,707	0,707	22,36	0,336	0,305	0,305	0,98	1,20	1,17																		
4,0	35,00	0,00	6,90	6,90	0,675	0,707	0,707	22,36	0,319	0,305	0,305	0,98	1,20	1,17																		
5,0	45,00	0,00	7,90	7,90	0,705	0,707	0,707	22,36	0,306	0,305	0,305	0,98	1,20	1,17																		
6,0	55,00	0,00	8,90	8,90	0,730	0,707	0,730	23,08	0,295	0,305	0,295	1,02	1,20	1,22																		
7,0	65,00	0,00	9,90	9,90	0,753	0,707	0,753	23,81	0,286	0,305	0,286	1,06	1,20	1,28																		
8,0	75,00	0,00	10,90	10,90	0,774	0,707	0,774	24,46	0,278	0,305	0,278	1,10	1,20	1,32																		
9,0	85,00	0,00	11,90	11,90	0,793	0,707	0,793	25,06	0,272	0,305	0,272	1,14	1,20	1,37																		
10,0	95,00	0,00	12,90	12,90	0,810	0,707	0,810	25,61	0,266	0,305	0,266	1,17	1,20	1,41																		
11,0	105,00	0,00	13,90	13,90	0,826	0,707	0,826	26,12	0,261	0,305	0,261	1,20	1,20	1,45																		
12,0	115,00	0,00	14,90	14,90	0,841	0,707	0,841	26,59	0,256	0,305	0,256	1,23	1,20	1,48																		

Simultaneamente a estas condições de carregamento na fachada Norte, aplicam-se, na fachada de sotavento (neste caso, fachada Sul) as pressões constantes na Tabela 7/Tabela 12 multiplicadas pelo coeficiente de protecção $\Psi_s = 0.30$ obtido através das considerações constantes no ponto 7.4.2 do EC1-1-4 considerando a geometria da fachada de sotavento e o índice de vazios da fachada de barlavento.

Em relação à cobertura, as considerações tecidas para o vento sentido Sul-Norte permanecem válidas uma vez que em termos geométricos, a cobertura é igual:

- Equivalente a “cobertura isolada” – EC1-1-4, ponto 7.3;
- Obstrução $\phi = 1.0$ devido à existência de paredes e estrutura interna da estação.
- Ângulo de inclinação da cobertura $\alpha = 18^\circ$ (coeficientes de pressão obtidos da média entre os coeficientes para $\alpha = 15^\circ$ e $\alpha = 20^\circ$)

Para estas condições, os coeficientes de pressão da cobertura são obtidos da consulta do quadro 7.7 do EC1-1-4 de onde resultam os $c_{p,net}$ já apresentados na Tabela 8.

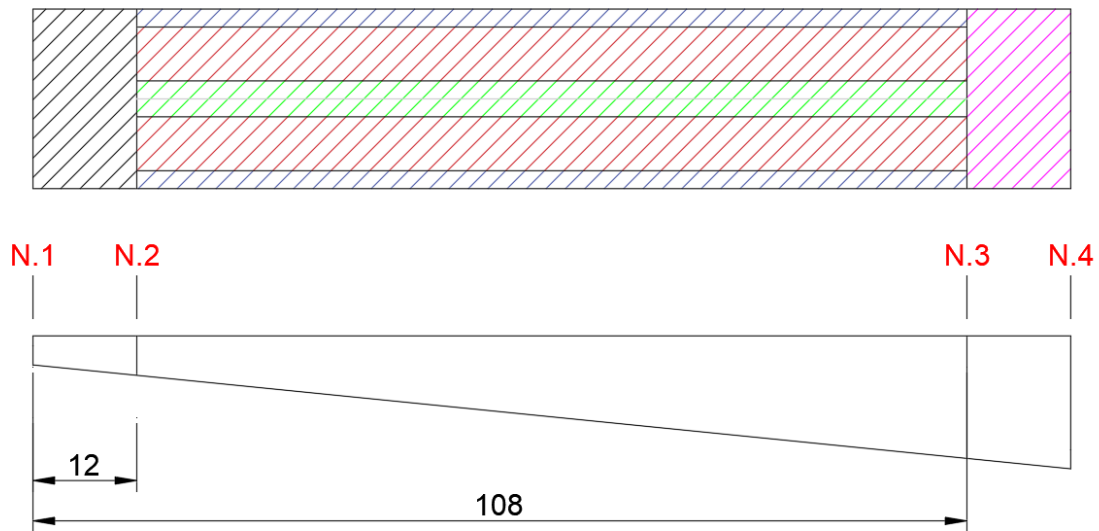


Figura 8 – Identificação das zonas da cobertura e conseqüente otimização das alturas livres da fachada

Tabela 13 – Pressões dinâmicas de pico – cobertura – vento Norte-Sul

PRESSÕES DINÂMICAS DE PICO
According EN1991-1-4:2010

Project Name	EXPANSÃO DA LINHA VERMELHA - ESTAÇÃO DE ALCÂNTARA											Date	11/06/2024	
Project Number												Description	PRESSÕES DO VENTO PARA TEMPO DE SERVIÇO	
Element	COBERTURA - VENTO NORTE-SUL													

1 Reference values																																				
EN1991-1-4 (4.2)																																				
Zone	B		NA.4.2 (1)		Basic wind velocity		v_b	m/s		31,6		Categorias de Terreno e Respetivos parâmetros <table border="1"> <tr> <td></td> <td>0</td> <td>I</td> <td>II</td> <td>III</td> <td>IV</td> </tr> <tr> <td>1 or 0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>z_0</td> <td>0,003</td> <td>0,005</td> <td>0,050</td> <td>0,300</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td>z_{min}</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>8</td> <td>15</td> </tr> </table>		0	I	II	III	IV	1 or 0	0	0	0	1	0	z_0	0,003	0,005	0,050	0,300	1,000	z_{min}	1	1	3	8	15
	0	I	II	III	IV																															
1 or 0	0	0	0	1	0																															
z_0	0,003	0,005	0,050	0,300	1,000																															
z_{min}	1	1	3	8	15																															
$v_{b,0}$	m/s		30		Air density		ρ	kg/m ³		1,25																										
c_{dir}	--		1,00		Dynamic reference pressure		q_b	kN/m ²		0,62																										
c_{season}	--		1,00		Reference height		z_0	m		0,3																										
Design working life	yrs		50		EN1991-1-4 (4.3)		Minimum height	z_{min}	m		8																									
prob	%		1%		Oreography factor		c_0	--		1,00																										
K	--		0,11		Turbulence factor		k_t	--		0,215																										
n	--		1,00																																	
c_{prob}	--		1,054																																	
id point	x	z_{soil}	$z_{cobertura}$	z	$c_{r,1}$	$c_{r,2}$	c_r	V_m	$l_{r,1}$	$l_{r,2}$	l_r	q_p																								
	m	m	m	m	--	--	--	m/s	--	--	--	kN/m ²																								
N.1	0,00	0,00	3,36	3,36	0,520	0,707	0,707	22,36	0,414	0,305	0,305	0,98																								
N.2	12,00	0,00	4,56	4,56	0,586	0,707	0,707	22,36	0,367	0,305	0,305	0,98																								
N.3	108,00	0,00	14,16	14,16	0,830	0,707	0,830	26,24	0,259	0,305	0,259	1,21																								
N.4	120,00	0,00	15,36	15,36	0,848	0,707	0,848	26,80	0,254	0,305	0,254	1,25																								

A consideração das pressões dinâmicas de pico calculadas na Tabela 13 e do zonamento apresentado na Figura 6 e na Figura 8 resulta nas seguintes pressões dinâmicas a aplicar na cobertura, para um vento transversal com sentido Norte-Sul:

Tabela 14 – Pressões dinâmicas a aplicar – cobertura – vento Norte-Sul – sentido descendente do vento

cobertura - vento Norte-Sul - sentido descendente				
Área	Zona	$c_{p,net}$	q_p [kN/m ²]	$q_p \times c_{p,net}$ [kN/m ²]
1	B	1,90	0,98	1,86
2	C	1,45	0,98 a 1,21	1,42 a 1,75
3	A	1,00	0,98 a 1,21	0,98 a 1,21
4	D	0,40	0,98 a 1,21	0,39 a 0,48
5	B	1,90	1,21 a 1,25	2,30 a 2,38

Tabela 15 – Pressões dinâmicas a aplicar – cobertura – vento Norte-Sul – sentido ascendente do vento

cobertura - vento Norte-Sul - sentido ascendente				
Área	Zona	$c_{p,net}$	q_p [kN/m ²]	$q_p \times c_{p,net}$ [kN/m ²]
1	B	-2,20	0,98	-2,16
2	C	-1,60	0,98 a 1,21	-1,57 a -1,94
3	A	-1,35	0,98 a 1,21	-1,32 a -1,63
4	D	-2,10	0,98 a 1,21	-2,06 a -2,54
5	B	-2,20	1,21 a 1,25	-2,66 a -2,75

Vento Este-Oeste

Para os ventos com orientação longitudinal em relação à estação (direção Este-Oeste, nos dois sentidos) os efeitos fazem-se sentir exclusivamente nas coberturas uma vez que as fachadas estão planeadas como abertas. Nesta direção, como na anterior, foi tomado um funcionamento equivalente a coberturas isoladas:

- Equivalente a “cobertura isolada” – EC1-1-4, ponto 7.3;
- Obstrução $\varphi = 1.0$ devido à existência da estrutura interna da estação e do viaduto.
- Ângulo de inclinação da cobertura $\alpha = 0^\circ$

Para estas condições, os coeficientes de pressão da cobertura são obtidos da consulta do quadro 7.6 do EC1-1-4 de onde resultam os $c_{p,net}$ apresentados na tabela seguinte.

Tabela 16 – Coeficientes de pressão resultante $c_{p,net}$ - vento sentido Este – Oeste – cobertura isolada de uma vertente

coeficientes de pressão resultante $c_{p,net}$			
	A	B	C
máximo, qualquer φ	0,50	1,80	1,10
mínimo, $\varphi = 1,0$	-1,50	-1,80	-2,20

Os coeficientes de pressão resultante $c_{p,net}$ dependem da zona interessada da cobertura uma vez que as áreas periféricas de um determinado elemento tendem a estar mais solicitadas. Para coberturas isoladas de uma vertente a distribuição de zonas é a da Figura 9 (onde b é a dimensão perpendicular à direcção do vento) que se traduz na geometria da Figura 10 para ventos com direcção longitudinal em relação à estação (Este-Oeste e Oeste-Este).

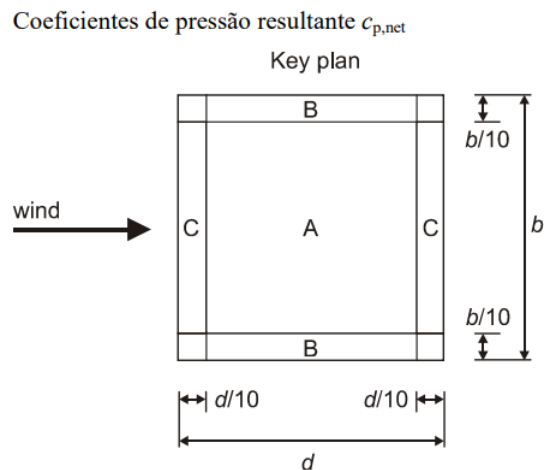


Figura 9 – Distribuição de coeficientes de pressão resultante $c_{p,net}$ – coberturas isoladas de uma vertente

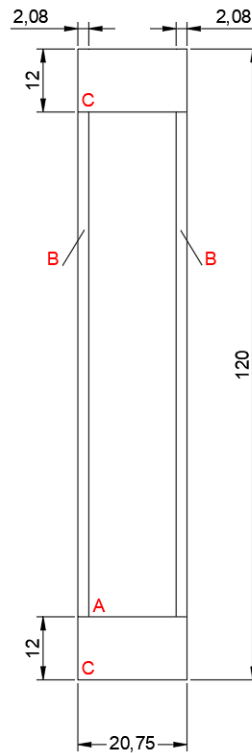


Figura 10 – Distribuição de coeficientes de pressão resultante $c_{p,net}$ – vento longitudinal

Face à variação das fachadas em altura, optou-se por proceder a uma optimização das pressões dinâmicas de pico para cada zona e admitir uma variação linear dentro de uma mesma zona.

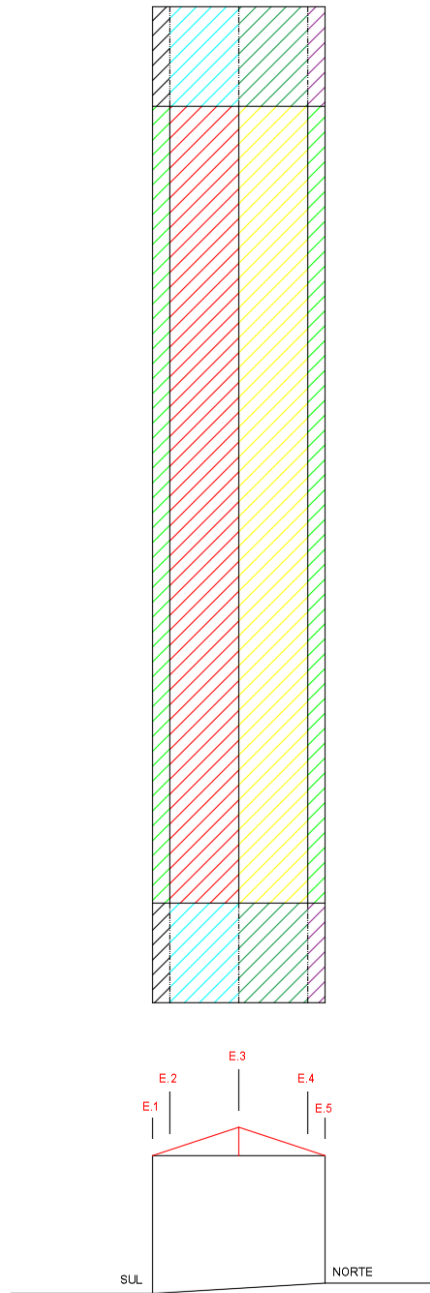


Figura 11 – Identificação das zonas da cobertura e consequente otimização das alturas livres da fachada

Tabela 17 – Pressões dinâmicas de pico – cobertura – vento Este-Oeste

PRESSÕES DINÂMICAS DE PICO
According EN1991-1-4:2010

Project Name	EXPANSÃO DA LINHA VERMELHA - ESTAÇÃO DE ALCÂNTARA				Date	11/06/2024			
Project Number					Description	PRESSÕES DO VENTO PARA TEMPO DE SERVIÇO			
Element	COBERTURA - VENTO ESTE-OESTE								

1 Reference values										
EN1991-1-4 (4.2)										
Zone	B		NA 4.2 (1)		Basic wind velocity	v_b	m/s	31,6		
$v_{b,0}$	m/s		30		Air density	ρ	kg/m ³	1,25		
c_{dir}	--		1,00		Dynamic reference pressure	q_b	kN/m ²	0,62		
c_{season}	--		1,00		Categorias de Terreno e Respectivos parâmetros					
Design working life	yrs		50		Reference height	z_0	m	0,3		
prob	%		1%		Minimum height	z_{min}	m	8		
K	--		0,11		k_t	--		0,215		
n	--		1,00		Orography factor	c_o	--		1,00	
c_{prob}	--		1,054		Turbulence factor	k_t	--		1,00	
1 or 0										
	0	I	II	III	IV					
z_0	0,003	0,005	0,050	0,300	1,000					
z_{min}	1	1	3	8	15					

id point	x	Z_{soil}	$Z_{cobertura}$	z	$c_{r,1}$	$c_{r,2}$	c_r	V_m	$l_{r,1}$	$l_{r,2}$	l_r	q_p
	m	m	m	m	--	--	--	m/s	--	--	--	kN/m ²
E.1	0,00	0,00	16,61	16,61	0,865	0,707	0,865	27,33	0,249	0,305	0,249	1,28
E.2	2,08	0,00	17,17	17,17	0,872	0,707	0,872	27,56	0,247	0,305	0,247	1,30
E.3	10,38	0,00	19,40	19,40	0,898	0,707	0,898	28,39	0,240	0,305	0,240	1,35
E.4	18,68	0,00	16,17	16,17	0,859	0,707	0,859	27,15	0,251	0,305	0,251	1,27
E.5	20,75	0,00	15,40	15,40	0,848	0,707	0,848	26,82	0,254	0,305	0,254	1,25

A consideração das pressões dinâmicas de pico calculadas na Tabela 17 e do zonamento apresentado na Figura 10 e na Figura 11 resulta nas seguintes pressões dinâmicas a aplicar na cobertura, para um vento longitudinal com sentido Este-Oeste:

Tabela 18 – Pressões dinâmicas a aplicar – cobertura – vento Este-Oeste – sentido descendente do vento

cobertura - vento Este-Oeste - sentido descendente				
Área	Zona	$c_{p,net}$	q_p [kN/m ²]	$q_p \times c_{p,net}$ [kN/m ²]
1	C	1,10	1,28 a 1,30	1,41 a 1,43
2	B	1,80	1,28 a 1,30	2,30 a 2,34
3	C	1,10	1,28 a 1,30	1,41 a 1,43
4	C	1,10	1,30 a 1,35	1,43 a 1,49
5	A	0,50	1,30 a 1,35	0,65 a 0,68
6	C	1,10	1,30 a 1,35	1,43 a 1,49
7	C	1,10	1,35 a 1,27	1,49 a 1,40
8	A	0,5	1,35 a 1,27	0,68 a 0,64
9	C	1,10	1,35 a 1,27	1,49 a 1,40
10	C	1,10	1,27 a 1,25	1,40 a 1,38
11	B	1,80	1,27 a 1,25	2,29 a 2,25
12	C	1,10	1,27 a 1,25	1,40 a 1,38

Tabela 19 – Pressões dinâmicas a aplicar – cobertura – vento Este-Oeste – sentido ascendente do vento

cobertura - vento Este-Oeste - sentido ascendente				
Área	Zona	$c_{p,net}$	q_p [kN/m ²]	$q_p \times c_{p,net}$ [kN/m ²]
1	C	-2,20	1,28 a 1,30	-2,82 a -2,86
2	B	-1,80	1,28 a 1,30	-2,30 a -2,34
3	C	-2,20	1,28 a 1,30	-2,82 a -2,86
4	C	-2,20	1,30 a 1,35	-2,86 a -2,97
5	A	-1,50	1,30 a 1,35	-1,95 a -2,03
6	C	-2,20	1,30 a 1,35	-2,86 a -2,97
7	C	-2,20	1,35 a 1,27	-2,97 a -2,79
8	A	-1,50	1,35 a 1,27	-2,03 a -1,91
9	C	-2,20	1,35 a 1,27	-2,97 a -2,79
10	C	-2,20	1,27 a 1,25	-2,79 a -2,75
11	B	-1,80	1,27 a 1,25	-2,29 a -2,25
12	C	-2,20	1,27 a 1,25	-2,79 a -2,75

Vento Oeste-Este

À semelhança do procedimento seguido para a direcção longitudinal, sentido Este-Oeste, optou-se por proceder a uma optimização das pressões dinâmicas de pico para cada zona e admitir uma variação linear dentro de uma mesma zona. O zonamento apresentado na Figura 10 permanece válido visto que as premissas geométricas não se alteram.

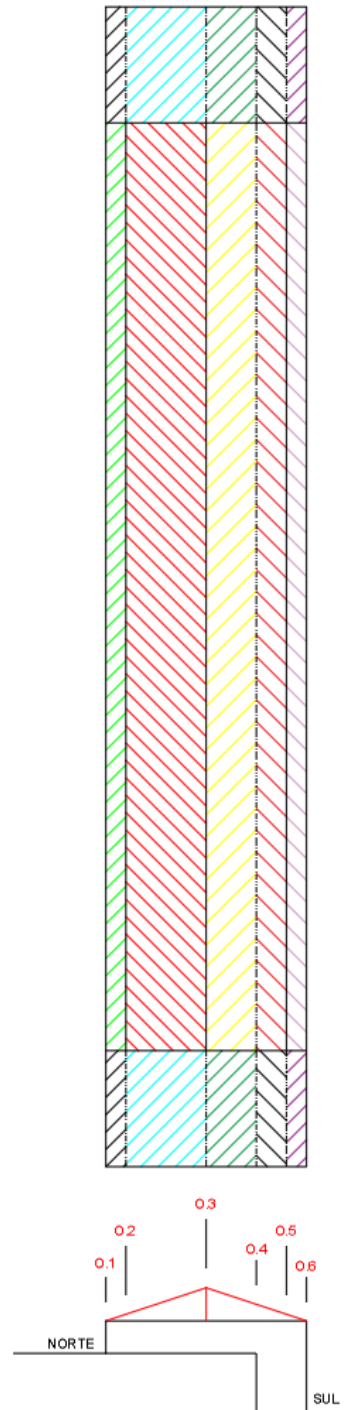


Figura 12 – Identificação das zonas da cobertura e consequente optimização das alturas livres da fachada

Tabela 20 – Pressões dinâmicas de pico – cobertura – vento Oeste-Este

PRESSÕES DINÂMICAS DE PICO
According EN1991-1-4:2010

Project Name	EXPANSÃO DA LINHA VERMELHA - ESTAÇÃO DE ALCÂNTARA				Date	11/06/2024
Project Number					Description	PRESSÕES DO VENTO PARA TEMPO DE SERVIÇO
Element	COBERTURA - VENTO OESTE-ESTE					

1 Reference values		EN1991-1-4 (4.2)		EN1991-1-4 (4.3)		Categorias de Terreno e Respectivos parâmetros						
Zone	B	NA 4.2 (1)	Basic wind velocity v_b	m/s	31,6							
$v_{b,0}$	m/s	30	Air density ρ	kg/m ³	1,25							
C_{dir}	--	1,00	Dynamic reference pressure q_b	kN/m ²	0,62							
C_{season}	--	1,00				1 or 0	0	I	II	III	IV	
Design working life	yrs	50	Reference height z_0	m	0,3		0	0	0	1	0	
prob	%	1%	Minimum height z_{min}	m	8		z_0	0,003	0,005	0,050	0,300	1,000
K	--	0,11	k_z	--	0,215		z_{min}	1	1	3	8	15
n	--	1,00	Orography factor c_o	--	1,00							
C_{prob}	--	1,054	Turbulence factor k_t	--	1,00							

id point	x	Z _{soil}	Z _{cobertura}	z	$c_{r,1}$	$c_{r,2}$	c_r	V_m	$l_{r,1}$	$l_{r,2}$	l_r	q_p
	m	m	m	m	--	--	--	m/s	--	--	--	kN/m ²
0.1	0,00	0,00	3,36	3,36	0,520	0,707	0,707	22,36	0,414	0,305	0,305	0,98
0.2	2,08	0,00	4,04	4,04	0,560	0,707	0,707	22,36	0,385	0,305	0,305	0,98
0.3	10,38	0,00	6,78	6,78	0,672	0,707	0,707	22,36	0,321	0,305	0,305	0,98
0.4	15,60	0,00	5,07	5,07	0,609	0,707	0,707	22,36	0,354	0,305	0,305	0,98
0.5	18,68	0,00	10,19	10,19	0,759	0,707	0,759	24,00	0,284	0,305	0,284	1,08
0.6	20,75	0,00	9,51	9,51	0,744	0,707	0,744	23,53	0,29	0,305	0,289	1,05

A consideração das pressões dinâmicas de pico calculadas na Tabela 20 e do zonamento apresentado na Figura 10 e na Figura 12 resulta nas seguintes pressões dinâmicas a aplicar na cobertura, para um vento longitudinal com sentido Oeste-Este:

Tabela 21 – Pressões dinâmicas a aplicar – cobertura – vento Oeste-Este – sentido descendente do vento

cobertura - vento Oeste-Este - sentido descendente					
Área	Zona	$c_{p,net}$	q_p [kN/m ²]	$q_p \times c_{p,net}$ [kN/m ²]	
1	C	1,10	0,98	1,08	
2	B	1,80	0,98	1,76	
3	C	1,10	0,98	1,08	
4	C	1,10	0,98	1,08	
5	A	0,50	0,98	0,49	
6	C	1,10	0,98	1,08	
7	C	1,10	0,98	1,08	
8	A	0,5	0,98	0,49	
9	C	1,10	0,98	1,08	
10	C	1,10	0,98 a 1,08	1,08 a 1,19	
11	A	0,50	0,98 a 1,08	0,49 a 0,54	
12	C	1,10	0,98 a 1,08	1,08 a 1,19	
13	C	1,10	1,08 a 1,05	1,19 a 1,16	
14	B	1,80	1,08 a 1,05	1,94 a 1,89	
15	C	1,10	1,08 a 1,05	1,19 a 1,16	

Tabela 22 – Pressões dinâmicas a aplicar – cobertura – vento Oeste-Este – sentido ascendente do vento

cobertura - vento Oeste-Este - sentido ascendente				
Área	Zona	$c_{p,net}$	q_p [kN/m ²]	$q_p \times c_{p,net}$ [kN/m ²]
1	C	-2,20	0,98	-2,16
2	B	-1,80	0,98	-1,76
3	C	-2,20	0,98	-2,16
4	C	-2,20	0,98	-2,16
5	A	-1,50	0,98	-1,47
6	C	-2,20	0,98	-2,16
7	C	-2,20	0,98	-2,16
8	A	-1,50	0,98	-1,47
9	C	-2,20	0,98	-2,16
10	C	-2,20	0,98 a 1,08	-2,16 a -2,38
11	A	-1,50	0,98 a 1,08	-1,47 a -1,62
12	C	-2,20	0,98 a 1,08	-2,16 a -2,38
13	C	-2,20	1,08 a 1,05	-2,38 a -2,31
14	B	-1,80	1,08 a 1,05	-1,94 a -1,89
15	C	-2,20	1,08 a 1,05	-2,38 a -2,31

6.2.6.4 Efeitos globais – coeficientes de força

Os coeficientes de força global c_f traduzem a força resultante a actuar num determinado elementos e destinam-se às verificações globais como a estabilidade e o equilíbrio.

No caso de coberturas isoladas de duas vertentes (caso do vento a actuar na direcção Norte-Sul nos dois sentidos) deverão ser considerados 6 casos de carga (ver Figura 13):

- centro de pressão posicionado no centro de cada vertente, em simultâneo (ascendente e descendente);
- carregamento máximo ou mínimo em qualquer uma das vertentes e nulo na outra;

No caso de coberturas isoladas de uma vertente o centro de pressão deverá ser posicionado a uma distância $d/4$ do bordo de barlavento (com d = dimensão na direcção do vento) o que se traduz em 4 casos de carga (vento nos dois sentidos, ascendente e descendente, ver Figura 14).

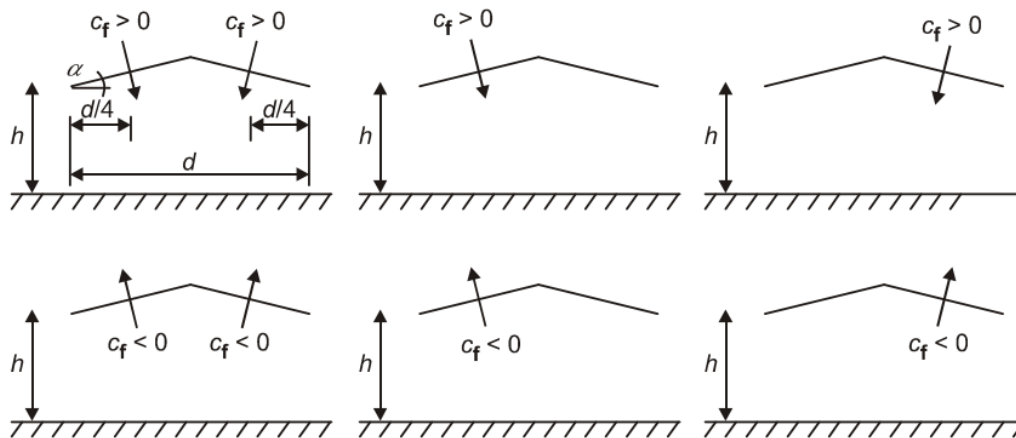


Figura 13 – Casos de carga para coberturas isoladas de duas vertentes – efeitos globais

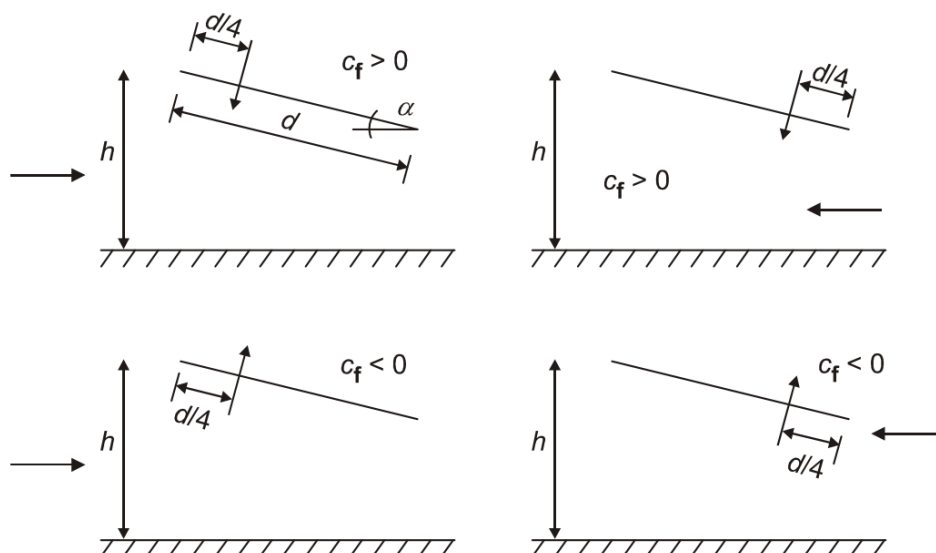


Figura 14 – Casos de carga para coberturas isoladas de uma vertente – efeitos globais

Os coeficientes de força para coberturas isoladas de uma vertente são obtidos do Quadro 7.6 do EC1991-1-4 enquanto os coeficientes de força de coberturas isoladas de duas vertentes são obtidos do Quadro 7.7 da mesma norma.

Vento Sul-Norte e vento Norte-Sul

As considerações tecidas anteriormente permanecem válidas, ou seja:

- Equivalente a “cobertura isolada” – EC1-1-4, ponto 7.3;
- Obstrução $\varphi = 1.0$ devido à existência de paredes e estrutura interna da estação.
- Ângulo de inclinação da cobertura $\alpha = 18^\circ$ (coeficientes de pressão obtidos da média entre os coeficientes para $\alpha = 15^\circ$ e $\alpha = 20^\circ$)

- Duas vertentes

Para estas condições, os coeficiente de força da cobertura são obtidos da consulta do quadro 7.7 do EC1-1-4 de onde resultam os seguintes c_f :

- ✓ Máximo, para qualquer φ : +0.50
- ✓ Mínimo para $\varphi = 1.0$: -1.30

Estes coeficientes são multiplicados pela força total do vento em cada vertente dados pela pressão máxima (obtida para a cota livre mais elevada de cada fachada frontal) aplicada na totalidade da área.

Vento Este-Oeste e vento Oeste-Este

As considerações tecidas anteriormente permanecem válidas, ou seja:

- Equivalente a “cobertura isolada” – EC1-1-4, ponto 7.3;
- Obstrução $\varphi = 1.0$ devido à existência da estrutura interna da estação, viadutos e túneis.
- Ângulo de inclinação da cobertura $\alpha = 0^\circ$
- Uma vertente

Para estas condições, os coeficiente de força da cobertura são obtidos da consulta do quadro 7.6 do EC1-1-4 de onde resultam os seguintes c_f :

- ✓ Máximo, para qualquer φ : +0.20
- ✓ Mínimo para $\varphi = 1.0$: -1.30

Estes coeficientes são multiplicados pela força total do vento na cobertura dados pela pressão máxima (obtida para a cota livre mais elevada de cada fachada frontal) aplicada na totalidade da área.

6.3 Acção Sísmica (E)

A acção sísmica foi definida de acordo com a NP EN 1998-1 + Anexo Nacional tendo sido tomados os seguintes parâmetros:

- Classe de Importância: Classe III – estrutura cuja resistência sísmica é importante tendo em vista as consequências associadas ao colapso, perda de vidas humanas em elevado número.

- ✓ Sismo tipo I [-] $\gamma_{i,475 \text{ anos}} = 1.45$
- ✓ Sismo tipo II [-] $\gamma_{i,475 \text{ anos}} = 1.25$

Os coeficientes de importância sugeridos no Anexo Nacional do EC1998-1, quadro NA.II, foram obtidos considerando um período de retorno de referência de 475 anos. Considerando o período de vida útil da estrutura de 100 anos e assumindo uma probabilidade de excedência de 10% nesses 100 anos, obtém-se um período de retorno de 950 anos pelo que os coeficientes de importância têm de ser actualizados através do disposto na nota de 2.1(4) e na nota de NA-4.2.5(5)P.

$$\gamma_I = \left(\frac{T_{LR}}{T_L} \right)^{-\left(\frac{1}{k}\right)}$$

onde T_{LR} é o período de retorno de referência de 475 anos, T_L é o período de retorno correspondente à probabilidade de excedência definida como requisito de projecto e k é um coeficiente que decorre dos estudos de perigosidade sísmica e que toma o valor de 1.50 para sismos do tipo 1 e 2.50 para sismos do tipo 2. Os coeficientes de importância actualizados resultam:

- ✓ Sismo tipo I [-] $\gamma_{i,950 \text{ anos}} \approx 1.59$
 - ✓ Sismo tipo II [-] $\gamma_{i,950 \text{ anos}} \approx 1.32$
- Zoneamento sísmico: Alcântara - Lisboa
 - ✓ Sismo tipo I [-] Zona 1.3
 - ✓ Sismo tipo II [-] Zona 2.3

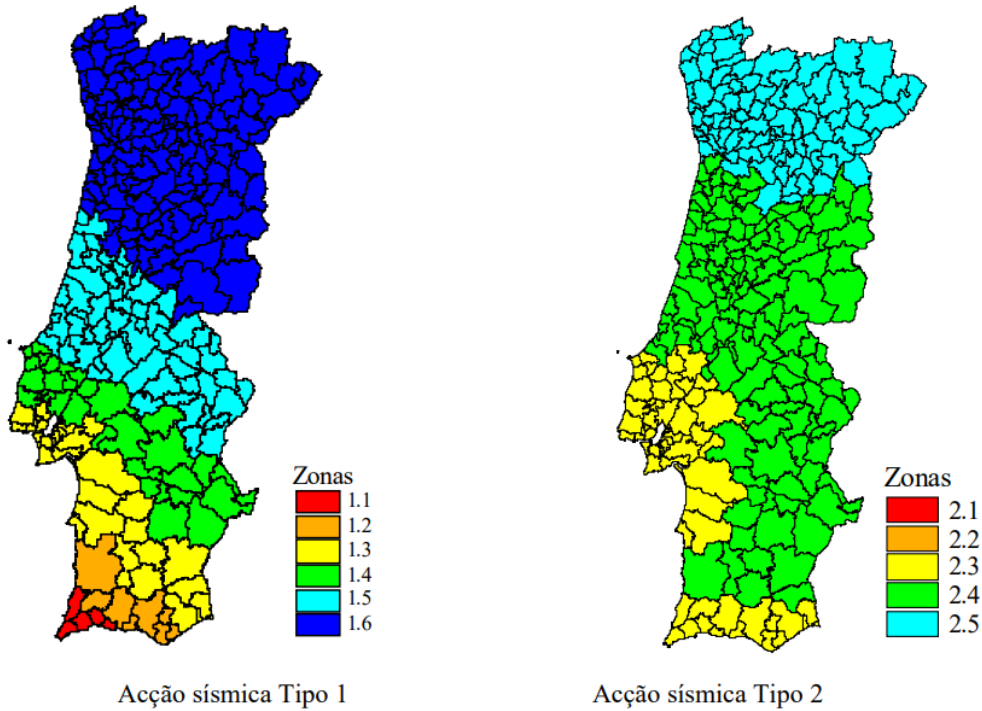


Figura 15 – Zoneamento sísmico de Portugal Continental

- Aceleração máxima de referência
 - ✓ Sismo tipo 1 [m/s²] a_{gr}=1.50
 - ✓ Sismo tipo 2 [m/s²] a_{gr}=1.70

O factor de solo (S) é definido em função do S_{max} de acordo com o indicado no ponto NA-3.2.2.2(2)P do Anexo Nacional da NP EN 1998-1:

$$a_g = \gamma_I \times a_{gr}$$

- ✓ Sismo tipo 1 [m/s²] a_g≈ 2.38
- ✓ Sismo tipo 2 [m/s²] a_g≈ 2.24

De acordo com os Quadros NA-3.2 e NA-3.3, para um tipo de solo E, S_{max} toma o valor de 1.80 (sismo tipo 1 e sismo tipo 2).

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

- ✓ Sismo tipo 1 [-] S ≈ 1.43