



Dimensionamento de uma Estrutura Metálica de suporte de uma Tela Transportadora de Biomassa

FLÁVIO MIGUEL ALVES LUCAS
Licenciado em engenharia civil

Trabalho de Projeto para obtenção do grau de Mestre em Engenharia - Estruturas

Orientador:

Licenciado, José António Fontelas dos Santos Viseu (Prof. Adjunto do ISEL)

Júri:

Presidente: Mestre, Cristina Ferreira Xavier de Brito Machado (Prof. Coordenadora)

Vogais: Doutora, Paula Raquel Pires da Cunha Lamego (Prof.^a Adjunta Convidada do ISEL)

Licenciado, José António Fontelas dos Santos Viseu (Prof. Adjunto do ISEL)

Junho de 2017



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Civil

Dimensionamento de uma Estrutura Metálica de suporte de uma Tela Transportadora de Biomassa

FLÁVIO MIGUEL ALVES LUCAS

Licenciado

Trabalho de Projeto para obtenção do grau de Mestre em Engenharia - Estruturas

Orientador:

Licenciado, José António Fontelas dos Santos Viseu (Prof. Adjunto do ISEL)

Júri:

Presidente: Mestre, Cristina Ferreira Xavier de Brito Machado (Prof. Coordenadora)

Vogais: Doutora, Paula Raquel Pires da Cunha Lamego (Prof.^a Adjunta Convidada do ISEL)

Licenciado, José António Fontelas dos Santos Viseu (Prof. Adjunto do ISEL)

Junho de 2017

AGRADECIMENTOS

Este projeto é o culminar de um percurso académico de vários anos com o intuito de obter o grau de mestre, sendo esse percurso acompanhado por algumas pessoas que devo agradecer e que sem as quais seria muito difícil a sua conclusão.

Em primeiro lugar quero agradecer ao Eng. Santos Viseu a orientação, paciência, disponibilidade, estímulo, conselhos e sugestões essenciais para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Agradeço também aos meus colegas de curso e amigos Eduardo, Pedro Fernandes, Sara, Luís, Rui, Pedro Nicolau, Frederico e André, pelo companheirismo, ajuda e apoio dados no decorrer do curso e todos os outros que foram essenciais nas alturas de estudo, trabalho e também de divertimento.

À minha namorada Rita, pela ajuda, compreensão, tempo dispensado e pelas palavras de incentivo dadas ao longo destes anos.

Aos meus pais pelo apoio incondicional durante todos estes anos, pelos valores transmitidos e por todos os sacrifícios que fizeram para que este sonho se pudesse realizar.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo o dimensionamento de uma estrutura metálica de suporte de uma Tela Transportadora de Biomassa e das fundações em betão armado.

A Estrutura é constituída por um conjunto de barras metálicas que formam uma viga treliçada espacial apoiada num pilar e numa escora metálicos.

As fundações são sapatas rígidas, ligadas diretamente à estrutura metálica por intermédio de plintos em betão armado.

Em relação à regulamentação adotada respeitaram-se os Eurocódigos Estruturais, destacando-se entre eles o Eurocódigo 3 no dimensionamento dos elementos metálicos, o Eurocódigo 2 que serviu para o cálculo dos elementos de betão armado e também os Eurocódigos 0, 1, 7 e 8, na classificação, quantificação e combinação das ações, assim como no cálculo sísmico e geotécnico.

A determinação dos esforços e deformações da Estrutura foi realizada no *software* de elementos finitos "*Robot Structural Analysis Professional*".

O dimensionamento de todos os elementos foi feito comparando-se os resultados obtidos através do *software* "*Robot*", com os de uma Tabela de Cálculo realizada em "*Excel*" para este Projeto em particular.

Palavras-Chave

Dimensionamento, Estruturas Metálicas, Fundações Diretas, Eurocódigos Estruturais.

ABSTRACT

The objective of this work is the design of a steel structure that support a conveyor belt of biomass and its foundations in reinforced concrete.

The structure is composed of steel bars that form a spatial truss beam supported by a column and a strut. The foundations are spread footing connected to the metallic structure by plinths in reinforced concrete.

The regulations adopted were the Eurocodes, with accent on Eurocode 3 for the design of steel elements, Eurocode 2 for the design of reinforced concrete elements and Eurocode 0, 1, 7 and 8 for classification and combination of actions, quantification of these actions, geotechnical design and the seismic actions, respectively.

The design was achieved by comparing the results obtained from the modelling of the structure done in the software "Robot Structural Analysis Professional" and an "Excel" calculation table created based on the Eurocodes safety criteria.

Keywords

Design, Steel Structure, Shallow Foundations, Eurocodes.

ÍNDICE

1	Introdução.....	1
1.1	Considerações Gerais.....	2
1.2	Objetivos a alcançar neste Projeto.....	2
1.3	Organização do Trabalho.....	2
2	Condicionantes do Projeto.....	5
2.1	Enquadramento.....	5
2.2	Localização	7
2.3	Geologia e geotecnia	8
2.4	Geometria da Estrutura Metálica de suporte da Tela	9
3	Critérios de Dimensionamento	15
3.1	Disposições Normativas.....	16
3.2	Elementos de Betão – EN 1992 e EN 1997	17
3.2.1	Plintos	17
3.2.2	Fundações	20
3.3	Elementos Metálicos – NP EN1993-1-1	27
3.3.1	Estados Limites Últimos	28
3.3.2	Estados Limites de Serviço.....	39
3.4	Ligações Metálicas.....	41
3.4.1	Ligações Soldadas.....	42
3.4.2	Ligações Aparafusadas.....	42
4	Materiais, Ações e Combinação de Ações	45
4.1	Materiais	45
4.2	Ações e Quantificação das Ações.....	46
4.2.1	Ações Permanentes.....	46
4.2.2	Ações Variáveis	50
4.3	Combinação de Ações	80
4.3.1	Estados Limites Últimos	81
4.3.2	Estados Limites de Utilização ou de Serviço.....	81

5	Pré-dimensionamento.....	85
5.1	Estruturas de nós articulados.....	85
5.2	Estrutura de suporte da Tela.....	86
5.2.1	Viga Treliçada em Caixão.....	86
5.2.2	Quadros Rígidos.....	96
5.2.3	Pilar.....	98
5.2.4	Escora.....	102
6	Dimensionamento.....	103
6.1	Análise Global.....	113
6.2	Dimensionamento dos Elementos Metálicos.....	114
6.2.1	Plataforma Secundária.....	114
6.2.2	Viga Treliçada Espacial – Tramo Inclinado.....	114
6.2.3	Viga Treliçada Espacial – Tramo Horizontal.....	148
6.2.4	Quadros Rígidos.....	153
6.2.5	Pilar.....	154
6.2.6	Escora.....	168
6.3	Ligações.....	177
6.3.1	Ligações Soldadas.....	177
6.3.2	Ligações Aparafusadas.....	177
6.3.3	Ligações Especiais.....	180
6.4	Dimensionamento de Elementos de Betão Armado.....	183
6.4.1	Plintos.....	183
6.4.2	Sapatas.....	187
7	Conclusões e Desenvolvimentos Futuros.....	195
	Referências Bibliográficas.....	197
	ANEXOS.....	199

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 – Etapas de Produção do Cimento. [Fonte: Adaptado de IEA]	1
Figura 2-1 - Tela Transportadora - Conjunto	5
Figura 2-2 – Exemplos de Telas Transportadoras	5
Figura 2-3 – Elementos constituintes de uma Tela	6
Figura 2-4 – Exemplos de Rolos de Apoio	6
Figura 2-5 – Exemplos de Passerelles	6
Figura 2-6 –Localização	7
Figura 2-7 – Identificação dos Estratos	8
Figura 2-8 - Treliça etálica de suporte da Tela	9
Figura 2-9 – Geometria da Estrutura	10
Figura 2-10 – Troço da Viga Trelaçada em Caixão	10
Figura 2-11 - Viga Horizontal Superior	11
Figura 2-12 – Viga Horizontal Inferior	11
Figura 2-13 – Vigas Verticais	12
Figura 2-14 – “Quadros” Rígidos	12
Figura 2-15 – Plataforma Secundária	13
Figura 2-16 – Pilar	13
Figura 2-17 – Escora	14
Figura 3-1 – Modos de Encurvadura – Coluna Biarticulada	33
Figura 3-2 – Curva de Dimensionamento de uma Coluna Perfeita	34
Figura 3-3 – Encurvadura Lateral	36
Figura 3-4 – Deslocamentos Verticais - Viga Simplesmente Apoiada	40
Figura 3-5 – Deslocamento Horizontal de um Pórtico	41
Figura 3-6 – Tipos de Ligações Aparafusadas	42
Figura 4-1 – Peso dos Pavimento	48
Figura 4-2 – Peso dos Rolos e da Tela	49
Figura 4-3 - Peso dos Guarda Corpos	49
Figura 4-4 - Peso dos Equipamentos de Motorização [Fonte: RSA]	50
Figura 4-5 – Peso dos Pavimentos	51
Figura 4-6 – Peso dos Rolos e da Tela	52
Figura 4-7- Zonas Térmicas de Verão e de Inverno	53
Figura 4-8 – Troços - Alturas de Referência	56
Figura 4-9 – Estruturas Trelaçadas [adaptado EC3]	58
Figura 4-10 – Coeficiente de Força em Estruturas Trelaçadas Espaciais de Perfis de Secção Angularosa [adaptado EC3].	58
Figura 4-11 – Coeficientes de Força para Estruturas Trelaçadas Planas de Perfis de Secção Angularosa [adaptado EC3].	58

Figura 4-12 – Coeficiente de Efeito de Extremidade [adaptado EC3].....	59
Figura 4-13 – Secções Estruturais com Arestas Vivas [adaptado EC3].....	60
Figura 4-14 – Referencial Global	63
Figura 4-15 – Vento na Viga - Direção y (sentido negativo).....	66
Figura 4-16 – Vento na Viga - Direção y (sentido positivo)	66
Figura 4-17 – Vento na Viga - Direção z (Wzz).....	67
Figura 4-18 – Vento na Viga - Direção z (Wz)	67
Figura 4-19 – Vento no Pilar - Direção y	68
Figura 4-20 – Vento no Pilar – Direção x (Wx e Wxx).....	68
Figura 4-21 – Vento na Escora – Direção y (Wy e Wyy).....	69
Figura 4-22 – Vento na Escora – Direção z (Wz e Wzz).....	69
Figura 4-23 – Zonamento sísmico em Portugal	71
Figura 4-24 – Espectro de Cálculo - Sismos Tipos 1 e 2	76
Figura 4-25 – Configuração do Modo 2.....	79
Figura 4-26 – Configuração do Modo 3.....	79
Figura 4-27 – Configuração do Modo 8.....	79
Figura 4-28 – Configuração do Modo 22.....	80
Figura 4-29 – Configuração do Modo 24.....	80
Figura 5-1 –Treliças	85
Figura 5-2 – Determinação dos Esforços Máximos.....	85
Figura 5-3 – Viga - Painéis Horizontais.....	86
Figura 5-4 – Vento no Painel Horizontal Superior	87
Figura 5-5 – Diagrama de Esforços Transversos.....	87
Figura 5-6 – Diagrama dos Momentos Fletores	87
Figura 5-7 – Ábaco de Pré-dimensionamento das Diagonais	88
Figura 5-8 – Travessas – Modelo Estrutural, Ações e Diagramas de Esforços	88
Figura 5-9 – Ábaco de Pré-dimensionamento das Travessas	89
Figura 5-10 – Longarinas – Modelo Estrutural, Ações e Diagramas de Esforços.	90
Figura 5-11 – Ábaco de Pré-Dimensionamento das Longarinas.....	90
Figura 5-12 – Travessas – Modelo Estrutural, Ações e Diagramas de Esforços.	91
Figura 5-13 – Ábaco de Pré-dimensionamento das Travessas.....	91
Figura 5-14 – Vigas – Painéis Verticais	92
Figura 5-15 – Carga Atuante de Cálculo.....	93
Figura 5-16 – Diagrama de Esforços Transversos.....	93
Figura 5-17 – Diagrama de Momento Fletores	93
Figura 5-18 – Ábaco de Pré-dimensionamento das Diagonais	94
Figura 5-19 – Ábaco de Pré-dimensionamento dos Cordões (Eixo y-y)	95
Figura 5-20 – Ábaco de Pré-dimensionamento dos Cordões (Eixo z-z)	95
Figura 5-21 – Quadros Rígidos – Modelo Estrutural e Ações.....	97

Figura 5-22 – Diagramas de Esforços.....	97
Figura 5-23 – Ábaco de pré-dimensionamento dos Quadros Rígidos.....	98
Figura 5-24 – Pilar – Modelo Estrutural, Ações e Diagramas de Esforços (Eixo y-y).....	99
Figura 5-25 – Pilar – Modelo Estrutural, Ações e Diagramas de Esforços (Eixo x-x).....	99
Figura 5-26 – Ábaco de Pré-dimensionamento dos Cordões (Eixo y-y)	100
Figura 5-27 – Ábaco de Pré-dimensionamento dos Cordões (Eixo z-z)	100
Figura 5-28 – Ábaco de pré-dimensionamento das Diagonais (Eixo y-y)	101
Figura 5-29 – Ábaco de pré-dimensionamento dos Prumos (Eixo y-y)	101
Figura 5-30 - Ábaco de pré-dimensionamento dos Prumos (Eixo z-z).....	102
Figura 6-1 – Convenção de Sinais	112
Figura 6-2 – Rácios – Diagonais L 40x4	115
Figura 6-3 – Rácios das Barras	115
Figura 6-4 – Localização da Diagonal mais solicitada	115
Figura 6-5 – Verificação da Diagonal mais solicitada.....	116
Figura 6-6 – Grupos – Diagonais	118
Figura 6-7 – Rácios – Diagonais “ZV” L50x5	118
Figura 6-8 – Rácios das Barras	119
Figura 6-9 – Rácios – Diagonais “ZA” L60x6	119
Figura 6-10 – Rácio das Barras	120
Figura 6-11 – Rácios das Barras	123
Figura 6-12 – Localização da Longarina mais solicitada.....	124
Figura 6-13 – Análise de Tensões	125
Figura 6-14 – Travessa mais solicitada.....	126
Figura 6-15 – Relatório da Barra 379 – 1/3.....	128
Figura 6-16 – Relatório da Barra nº 379 – 2/3.....	129
Figura 6-17 – Relatório da barra nº 379 – 3/3.....	130
Figura 6-18 – Travessas	132
Figura 6-19 – Travessa Principal	132
Figura 6-20 – Diagrama de Momentos $M_{y,Ed}$	134
Figura 6-21 – Verificação da Secção – Barra 268 (Consola)	136
Figura 6-22 – Verificação do Elemento – Barra nº 268 (Consola).....	137
Figura 6-23 – Verificação da Secção – Barra 391 (Troço interior)	138
Figura 6-24 – Verificação do Elemento – Barra nº 391 (Troço interior).....	139
Figura 6-25 – Comprimentos de Encurvadura	141
Figura 6-26 – Rácios - Cordões	142
Figura 6-27 – Rácios das barras	142
Figura 6-28 – Relatório da Barra 658 – 1/3.....	144
Figura 6-29 – Relatório da Barra 658 – 2/3.....	145
Figura 6-30 – Relatório da Barra 658 – 3/3.....	146

Figura 6-31 – Tramo Horizontal	148
Figura 6-32 – Longarina mais solicitada	149
Figura 6-33 – Verificação da Longarina	150
Figura 6-34 – Relatório da Barra 549 – 1/2	151
Figura 6-35 – Relatório da Barra 549) – 2/2	152
Figura 6-36 – Barras Interiores	154
Figura 6-37 – Rácios – Diagonais 2L 60x6 /6 e 2L 70x7 /7	155
Figura 6-38 – Rácios – Diagonais	155
Figura 6-39 – Verificação da Diagonal mais solicitada	156
Figura 6-40 – Comprimentos de Encurvadura	158
Figura 6-41 – Comprimentos de Encurvadura	159
Figura 6-42 – Rácios – Cordões HEB 300	160
Figura 6-43 – Rácios das Barras	160
Figura 6-44 – Verificação do Cordão mais solicitado	161
Figura 6-45 – Verificação da Barra 400 – 1/2	162
Figura 6-46 – Verificação da Barra 400 – 2/2	164
Figura 6-47 – Relatório da Barra 400 – 1/3	164
Figura 6-48 – Relatório da Barra 400 – 2/3	165
Figura 6-49 – Relatório da Barra 400 – 3/3	166
Figura 6-50 – Comprimentos de Encurvadura	168
Figura 6-51 – Rácios – Cordões HEB 200	168
Figura 6-52 – Rácios das Barras	169
Figura 6-53 – Localização do Cordão mais solicitado	169
Figura 6-54 – Verificação da Barra mais solicitada	170
Figura 6-55 – Verificação da Barra 294 – 1/2	171
Figura 6-56 – Verificação da Barra 294 – 2/2	172
Figura 6-57 – Relatório da barra 294 – 1/3	173
Figura 6-58 – Relatório da barra 294 – 2/3	174
Figura 6-59 – Relatório da barra 294 – 3/3	175
Figura 6-60 – Ligações Soldadas	177
Figura 6-61 – Dimensionamento de Cordões de Ângulo	177
Figura 6-62 – Cobre-Juntas	178
Figura 6-63 – Cobre-Juntas da Escora	178
Figura 6-64 – Verificação do Cobre-Junta	179
Figura 6-65 – Verificação da Base do Pilar	179
Figura 6-66 – Verificação da Base do Pilar	180
Figura 6-67 – Ligações da Escora e do Pilar [Fonte: Advance Steel]	180
Figura 6-68 – Tensões Envolventes Máximas e Mínimas nas Chapas Superiores	181
Figura 6-69 – Tensões Envolventes Máximas e Mínimas nas Chapas Inferiores	181

Figura 6-70 – Buchas e Cavilha.....	182
Figura 6-71 – Fundações do Pilar.....	183
Figura 6-72 – Geometria dos Plintos.....	183
Figura 6-73 – Armaduras dos Plintos.....	186
Figura 6-74 – Propriedades do Solo	187
Figura 6-75 – Geometria – Sapata S1 e Plintos.....	188
Figura 6-76 – Geometria – Sapata S2	191

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2-1 - Vigas Horizontais	11
Tabela 2-2 –Vigas Verticais	12
Tabela 2-3 – Nomenclatura e Tipo de Barras	13
Tabela 2-4 – Pilar.....	14
Tabela 2-5 - Escora.....	14
Tabela 3-1 - Estados Limites e Verificações de Segurança.....	16
Tabela 3-2 - Coeficientes Parciais	17
Tabela 3-3 - Critérios de Verificação – Plintos	17
Tabela 3-4 - Coeficientes “a”	17
Tabela 3-5 – Controlo da Fendilhação	19
Tabela 3-6 – Controlo da Fendilhação	20
Tabela 3-7 - Sapatas - Critérios de Verificação Segurança	20
Tabela 3-8 – Coeficientes Parciais de Segurança	21
Tabela 3-9 – Capacidade Resistente do Terreno.....	24
Tabela 3-10 –Armaduras de Flexão.....	26
Tabela 3-11 – Coeficientes Parciais de Segurança - Resistência de Secções e Elementos.	27
Tabela 3-12 – Verificações - NP EN1993-1-1	28
Tabela 3-13 – Tração.....	29
Tabela 3-14 – Compressão.....	29
Tabela 3-15 - Flexão Simples	29
Tabela 3-16 – Esforço Transverso.....	30
Tabela 3-17 – Flexão com Esforço Transverso	30
Tabela 3-18 – Flexão Composta	31
Tabela 3-19 – Flexão Desviada com Esforço Axial.....	32
Tabela 3-20 – Valores Máximos recomendados para a Esbelteza em Colunas	34
Tabela 3-21 – Colunas.....	34
Tabela 3-22 – Curvas de Encurvadura	35
Tabela 3-23 – Fatores de Imperfeição (α).....	35
Tabela 3-24 – Vigas - Bambeamento.....	36
Tabela 3-25 – Curvas de Encurvadura	37
Tabela 3-26 – Fatores de Imperfeição	37
Tabela 3-27 – Colunas-Viga	37
Tabela 3-28 – Fatores de Interação k_{ij}	38
Tabela 3-29 – Coeficientes de Momento Uniforme Equivalente C_m	39
Tabela 3-30 – Valores Máximos - Deslocamentos Verticais	40
Tabela 3-31 – Valores Máximos - Deslocamentos Horizontais.....	41

Tabela 3-32 – Coeficientes Parciais de Segurança	41
Tabela 3-33 – Resistência de uma Ligação Soldada	42
Tabela 3-34 – Tensão de Cedência e de Ruptura - Parafusos	42
Tabela 3-35 – Categorias de Ligações Aparafusadas	43
Tabela 3-36 – Resistência Individual de Peças de Ligação ao Corte e/ou à Tração	44
Tabela 4-1 – Tipo de Aços	45
Tabela 4-2 - Valores Nominiais das Tensões de Cedência f_y e Última f_u à Tração	45
Tabela 4-3 – Propriedades dos Aços	45
Tabela 4-4 – Betão C30/37 Tabela 4-5 – Aço A500 NR	46
Tabela 4-6 – Ações – Regulamentação	46
Tabela 4-7 – Pesos Volúmicos dos Materiais	47
Tabela 4-8 – Restantes Cargas Permanentes	47
Tabela 4-9 – Peso do Pavimento	47
Tabela 4-10 – Peso dos Rolos e da Tela	48
Tabela 4-11 - Sobrecargas	50
Tabela 4-12 – Peso dos Pavimento	50
Tabela 4-13 – Pesos dos Rolos e da Tela	51
Tabela 4-14 – Zonamento Térmico	53
Tabela 4-15 – Acréscimo de Temperatura devido à absorvidade das superfícies	53
Tabela 4-16 Variações Uniformes da Temperatura	54
Tabela 4-17 – Parâmetros necessários ao estudo da Ação do Vento.	55
Tabela 4-18 – Valor Básico da Velocidade de Referência do Vento	56
Tabela 4-19 – Categoria de Terreno	56
Tabela 4-20 – Posição das Estruturas - Esbelteza Efetiva	59
Tabela 4-21 – Vento na Viga	63
Tabela 4-22 – Vento no Pilar	63
Tabela 4-23 – Vento na Escora	64
Tabela 4-24 – Categoria do Terreno	64
Tabela 4-25 – Zona do Terreno	64
Tabela 4-26 – Alturas de Referência para os 3 Troços da Estrutura	64
Tabela 4-27 – Pressão Dinâmica para cada Troço	64
Tabela 4-28 – Coeficientes de Força na Viga - Direção y	65
Tabela 4-29 – Coeficientes de Força do Pilar - Direção y	65
Tabela 4-30 – Coeficientes de Força do Pilar - Direção x	65
Tabela 4-31 – Coeficiente de Resposta Quase-Estática	65
Tabela 4-32 – Coeficiente de Resposta em Ressonância	65
Tabela 4-33 – Coeficiente Estrutural	66
Tabela 4-34 – Força do Vento na Viga - Direção y (W_y e W_{yy})	66
Tabela 4-35 – Força do Vento na Viga - Direção z (W_z)	66

Tabela 4-36 – Força do Vento na Viga - Direção z (W_z).....	67
Tabela 4-37 – Forças do Vento no Pilar - Direção y (W_y e W_{yy}).....	68
Tabela 4-38 – Forças do Vento no Pilar - Direção x (W_x e W_{xx}).....	68
Tabela 4-39 – Força do Vento na Escora - Direção y (W_y e W_{yy}).....	69
Tabela 4-40 – Força do Vento na Escora - Direção z (W_z e W_{zz}).....	69
Tabela 4-41 - Tipo de Terreno	72
Tabela 4-42 - Classe de Importância	72
Tabela 4-43 - Aceleração Máxima de Referência	73
Tabela 4-44 – Coeficiente de Importância $[\gamma]$	73
Tabela 4-45 – Parâmetros do Espectro de Resposta Elástico - Sismo do Tipo 1.....	74
Tabela 4-46 – Parâmetros do Espectro de Resposta Elástico - Sismo do Tipo 2.....	74
Tabela 4-47 – Valor do Coeficiente de Solo.....	74
Tabela 4-48 – Espectros de Cálculo Horizontais	75
Tabela 4-49 – Determinação dos Espectros de Cálculo	75
Tabela 4-50 – Parâmetros - Espectros de Resposta Elásticos Verticais	76
Tabela 4-51 – Acelerações	76
Tabela 4-52 – Modos de Vibração Principais.....	77
Tabela 4-53 – Combinações Direcionais	78
Tabela 4-54- Valores Reduzidos.....	81
Tabela 4-55 - Combinações de Ações	83
Tabela 5-1 – Esforços Máximos e Comprimentos de Encurvadura	87
Tabela 5-2 – Esforços Máximos de Cálculo e Comprimento de Bambeamento	89
Tabela 5-3 – Esforços Máximos de Cálculo e Comprimento de Bambeamento	90
Tabela 5-4 – Momento de Cálculo e Comprimento de Bambeamento.....	91
Tabela 5-5 – Esforço Máximos nas Diagonais e Comprimentos de Encurvadura.....	94
Tabela 5-6 – Esforços Máximos nos Cordões	94
Tabela 5-7 – Secções das Barras da Viga Trelaçada Espacial.....	96
Tabela 5-8 – Ações nos Quadros.....	96
Tabela 5-9 – Esforços Máximos e Comprimentos de Encurvadura	97
Tabela 5-10 – Esforços Axiais Máximos devidos a M_z	100
Tabela 5-11 – Esforços Axiais Máximos devidos a M_y	100
Tabela 5-12 – Esforços de Compressão.....	101
Tabela 5-13 – Pilar.....	102
Tabela 6-1 – Determinação de α_{cr}	113
Tabela 6-2 – Características Elásticas.....	123
Tabela 6-3 – Esforços de Cálculo	123
Tabela 6-4 – Verificação da Flecha.....	125
Tabela 6-5 – Secção Transversal	130
Tabela 6-6 – Encurvadura por Compressão	131

Tabela 6-7 – Encurvadura Lateral.....	131
Tabela 6-8 – Encurvadura por Flexão Composta com Compressão.....	131
Tabela 6-9 – Verificação da Flecha.....	131
Tabela 6-10 – Características Elásticas - HEB 100	133
Tabela 6-11 – Esforços de Cálculo	133
Tabela 6-12 – Verificação ao Esforço Transverso.	133
Tabela 6-13 – Verificação à Flexão.....	134
Tabela 6-14 – Momentos Críticos – Cálculo Analítico.....	134
Tabela 6-15 – Bambeamento.....	135
Tabela 6-16 – Secção Transversal Barra 268 (Consola)	140
Tabela 6-17 – Encurvadura Lateral Barra 268 (Consola).....	140
Tabela 6-18 – Secção Transversal Barra 391 (Troço interior)	140
Tabela 6-19 – Encurvadura Lateral Barra 391 (Troço interior).....	140
Tabela 6-20 – Verificação das Flechas	141
Tabela 6-21 – Secção Transversal - Barra 658.....	146
Tabela 6-22 – Encurvadura por Compressão – Barra 658.....	147
Tabela 6-23 – Encurvadura Lateral Barra 658	147
Tabela 6-24 - Encurvadura por Flexão Composta com Compressão – Barra 658.....	147
Tabela 6-25 – Características Elásticas	149
Tabela 6-26 – Esforços de Cálculo	149
Tabela 6-27 – Secção Transversal – Barra 549.....	152
Tabela 6-28 – Rácios	153
Tabela 6-29 – Verificação das Travessas	153
Tabela 6-30 – Afastamentos Máximos das Presilhas	154
Tabela 6-31 – Rácios das Travessas.....	158
Tabela 6-32 – Secção Transversal – Barra 400.....	166
Tabela 6-33 – Encurvadura por Compressão – Barra 400.....	167
Tabela 6-34 – Encurvadura Lateral – Barra 400	167
Tabela 6-35 - Encurvadura por Flexão Composta com Compressão – Barra 400.....	167
Tabela 6-36 – Verificação das Flechas	167
Tabela 6-37 – Secção Transversal – Barra 294.....	175
Tabela 6-38 – Encurvadura por Compressão – Barra 294.....	176
Tabela 6-39 – Encurvadura Lateral – Barra 294	176
Tabela 6-40 - Encurvadura por Flexão Composta com Compressão – Barra 294.....	176
Tabela 6-41 – Verificação das Deslocamento Horizontal.....	176
Tabela 6-42 – Esforços de Cálculo Condicionantes.....	184
Tabela 6-43 – Plinto PL1.....	184
Tabela 6-44 – Plinto PL2.....	184
Tabela 6-45 – Plinto PL3.....	185

Tabela 6-46 – Plinto PL4.....	185
Tabela 6-47 – Armaduras Transversais	186
Tabela 6-48 – Dimensionamento à Fendilhação.....	186
Tabela 6-49 – Verificação à Rotura do Solo de Fundação.....	188
Tabela 6-50 – Verificação ao Derrubamento	189
Tabela 6-51 – Verificação ao Deslizamento.....	189
Tabela 6-52 – Verificação - Assentamento	189
Tabela 6-53 – Verificação - Assentamento Diferencial	190
Tabela 6-54 – Dimensionamento dos Plintos.....	190
Tabela 6-55 – Dimensionamento da Sapata.....	190
Tabela 6-56 – Verificação à Rotura do Solo de Fundação.....	191
Tabela 6-57 – Verificação ao Derrubamento	192
Tabela 6-58 – Verificação ao Deslizamento.....	192
Tabela 6-59 – Verificação – Assentamento	192
Tabela 6-60 – Verificação - Assentamento Diferencial	193
Tabela 6-61 –Plintos	193
Tabela 6-62 –Sapata.....	193

SIMBOLOGIA

Os símbolos utilizados neste projeto são listados de seguida sendo, no entanto, indicados outros símbolos ao longo do documento, com a devida definição, para uma melhor compreensão.

Capítulo 4

Gerais

M_{Ed}	- Valor de cálculo do Momento fletor atuante	[kN.m]
M_{Rd}	- Valor de cálculo do Momento fletor resistente	[kN.m]
N_{Ed}	- Valor de cálculo do Esforço axial atuante	[kN]
N_{Rd}	- Valor de cálculo do Esforço axial resistente	[kN]
V_{Ed}	- Valor de cálculo do Esforço transversal atuante	[kN]
V_{Rd}	- Valor de cálculo do Esforço transversal resistente	[kN]

Elementos de Betão

ϕ	- Diâmetro do varão de aço	[mm]
θ	- Ângulo formado pela escora comprimida de betão com o eixo da viga	[°]
ν_1	- Coeficiente de redução da resistência do betão fendilhado	[-]
γ_c	- Coeficiente parcial de segurança do betão	[-]
α_{cw}	- Coeficiente do estado de tensão no banzo comprimido	[-]
γ_s	- Coeficiente parcial de segurança do aço	[-]
a	- Expoente que relaciona compressões com momentos	[-]
A_c	- Área da secção de betão	[cm ²]
$A_{s,max}$	- Área de armadura longitudinal máxima	[cm ²]
$A_{s,min}$	- Área de armadura longitudinal mínima	[cm ²]
A_{sw}	- Área da secção transversal das armaduras de esforço transversal	[cm ²]
b_w	- Menor largura da secção entre os banzos traccionado e comprimido	[mm]
d	- Espaçamento entre varões longitudinais	[mm]
d_g	- Diâmetro máximo do agregado	[mm]
f_{cd}	- Valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão	[Mpa]
f_{yd}	- Valor de cálculo da tensão de cedência das armaduras	[Mpa]

k_1	- Número de varões	[]
k_2	- Diâmetro do varão	[]
s	- Espaçamento dos estribos	[mm]
$V_{Rd,max}$	- Valor de cálculo do Esforço transversal resistente máximo das bielas de betão	[kN]
$V_{Rd,s}$	- Valor de cálculo do Esforço transversal resistente da armadura de esforço transversal	[kN]
z	- Braço do binário das forças interiores, aproximado a $0,9d$	[mm]
$\rho_{w,min}$	- Taxa de armaduras de esforço transversal mínimo	[%]

Parâmetros do Solo

A'	- Área efetiva necessária ao cálculo da fundação	[m ²]
B'	- Largura efetiva da fundação	[m]
c'	- Coesão drenada	[kPa]
c_u	- Coesão não drenada	[kPa]
L'	- Comprimento efetivo da fundação	[m]
q	- Tensão vertical mínima total	[kPa]
q'	- Tensão vertical mínima efetiva	[kPa]
α	- Ângulo que a base da sapata faz com a horizontal	[rad]
δ	- Ângulo de atrito solo-base do elemento estrutural	[rad]
γ'	- Peso volúmico submerso do solo	[kN/m ³]
φ'	- Ângulo de atrito interno do solo	[°]
H	- Altura da sapata	[m]
$c; q; \gamma$	- Índices representantes da influência devido à coesão, sobrecarga e peso do terreno	[]

Elementos Metálicos

$\Delta M_{i,Ed}$	- Valor de cálculo dos Momentos devidos ao deslocamento do eixo neutro	[kN.m]
A	- Área da secção transversal	[mm ²]
a	- Relação entre a área da alma e a área de uma secção transversal	[-]
A_{eff}	- Área efetiva da secção transversal	[mm ²]
A_{net}	- Área útil de uma secção transversal;	[mm ²]

A_v	- Área resistente ao esforço transversal;	[mm ²]
C_m	- Coeficientes de Momento Uniforme equivalentes	[-]
E	- Módulo de Elasticidade do aço;	[GPa]
f_u	- Tensão última	[MPa]
f_y	- Tensão de cedência	[MPa]
G	- Módulo de distorção	[MPa]
H	- Altura do pilar ou do piso	[m]
H_0	- Altura total da estrutura	[m]
h_w	- Altura da alma	[mm]
I	- Momento de inércia da secção transversal	[mm ⁴]
i	- Raio de giração	[cm]
I_t	- Constante de Torção Uniforme ou inércia de torção;	[mm ⁴]
I_w	- Constante de empenamento	[mm ⁶]
$k_{yy}, k_{yz},$ k_{zy}, k_{zz}	- Fatores de interação	[-]
L	- Comprimento da barra	[m]
L_{cr}	- Comprimento crítico da barra	[m]
L_E	- Comprimento efetivo da barra	[m]
$M_{b,Rd}$	- Valor de cálculo do Momento Fletor resistente à encurvadura	[kN.m]
$M_{c,Rd}$	- Valor de cálculo do Momento Fletor resistente	[kN.m]
M_{cr}	- Valor crítico do Momento elástico de encurvadura lateral	[kN.m]
$M_{el,Rd}$	- Valor de cálculo do Momento Fletor resistente elástico	[kN.m]
$M_{N,Rd}$	- Valor de cálculo do Momento Fletor resistente reduzido pela interação com o esforço normal	[kN.m]
$M_{pl,Rd}$	- Valor de cálculo do Momento Fletor resistente plástico	[kN.m]
$M_{V,Rd}$	- Valor de cálculo do Momento Fletor resistente, reduzido pela interação com o esforço transversal;	[kN.m]
n	- Relação entre os valores de cálculo dos esforços normais atuantes e resistentes plásticos de uma secção transversal bruta.	[-]
$N_{b,Rd}$	- Valor de cálculo do Esforço Normal resistente à encurvadura	[kN]
$N_{c,Rd}$	- Valor de cálculo do Esforço Normal resistente de compressão	[kN]
N_{cr}	- Valor crítico do esforço normal para o modo de encurvadura elástica considerado, determinado com base nas propriedades da secção	[kN]

	transversal bruta	
$N_{net,Rd}$	- Valor de cálculo do Esforço Normal resistente plástico de tração da secção transversal útil;	[kN]
$N_{pl,Rd}$	- Valor de cálculo do Esforço Normal resistente plástico	[kN]
$N_{t,Rd}$	- Valor de cálculo do Esforço Normal resistente de tração	[kN]
$N_{u,Rd}$	- Valor de cálculo do Esforço Normal resistente último da secção útil na zona com furos de ligação	[kN]
P_{cr}	- Carga crítica	[kN]
S	- Momento Estático em relação ao eixo principal da secção (parte da secção transversal situada entre as fibras consideradas e a fronteira da secção);	[mm ³]
t_f	- Espessura do banzo da secção	[mm]
t_w	- Espessura da alma da secção	[mm]
$V_{c,Rd}$	- Valor de cálculo do Esforço Transverso resistente	[kN]
$V_{pl,Rd}$	- Valor de cálculo do Esforço Transverso resistente plástico	[kN]
W_{eff}	- Módulo de Flexão efetivo de uma secção transversal	[mm ³]
$W_{eff,min}$	- Módulo de Flexão mínimo de uma secção transversal efetiva	[mm ³]
W_{el}	- Módulo de Flexão elástico de uma secção transversal	[mm ³]
$W_{el,min}$	- Módulo de Flexão elástico mínimo de uma secção transversal;	[mm ³]
W_{pl}	- Módulo de Flexão plástico de uma secção transversal	[mm ³]
α	- Fator de imperfeição para as curvas de encurvadura	[-]
α_{LT}	- Fator de imperfeição para as curvas de encurvadura lateral	[-]
χ	- Coeficiente de redução para o modo de encurvadura relevante	[-]
χ_{LT}	- Coeficiente de redução para a resistência à encurvadura lateral	[-]
δ_0	- Contra – flecha da viga no estado não carregado	[mm]
δ_1	- Variação da flecha da viga devida às ações permanentes	[mm]
δ_2	- Variação da flecha da viga devida à ação variável base	[mm]
δ_{max}	- Flecha máxima	[mm]
λ	- Esbelteza	[-]
$\bar{\lambda}$	- Esbelteza normalizada	[-]
$\bar{\lambda}_{LT}$	- Esbelteza normalizada para a encurvadura lateral	[-]
λ_1	- Esbelteza de referência	[-]

ρ	- Coeficiente de redução empregue na determinação dos valores de cálculo dos momentos fletores resistentes tendo em conta a interação com os esforços transversos.	[-]
σ_{cr}	- Tensão crítica	[MPa]
τ_{Ed}	- Tensão tangencial atuante.	[MPa]

Ligações Metálicas

a	- Espessura nominal da soldadura	[mm]
A	- Área da secção lisa do parafuso	[mm ²]
A_s	- Área da secção resistente do parafuso ou do chumbadouro	[mm ²]
$B_{p,Rd}$	- Valor de cálculo da resistência ao punçoamento da cabeça do parafuso e da porca	[kN]
d	- Diâmetro nominal do parafuso, diâmetro da cavilha ou diâmetro da peça de ligação	[mm]
d_0	- Diâmetro do furo para um parafuso, para um rebite ou para uma cavilha	[mm]
d_m	- Menor diâmetro médio da cabeça do parafuso ou da porca	[mm]
e_1	- Distância, para qualquer das peças da ligação, entre o centro do furo (de um parafuso ou rebite) e a extremidade adjacente, medida na direção da transmissão do esforço	[mm]
$F_{b,Rd}$	- Valor de cálculo da resistência ao esmagamento por parafuso	[kN]
$F_{p,C}$	- Valor de cálculo da força de pré-esforço	[kN]
$F_{s,Rd}$	- Valor de cálculo da resistência ao escorregamento por parafuso no estado limite último	[kN]
$F_{s,Rd,ser}$	- Valor de cálculo da resistência ao escorregamento por parafuso no estado limite de utilização	[kN]
$F_{t,Ed}$	- Valor de cálculo do esforço de tração por parafuso no estado limite último	[kN]
$F_{t,Rd}$	- Valor de cálculo da resistência à tração por parafuso	[kN]
f_u	- Valor nominal da tensão de rotura à tração	[MPa]
f_{ub}	- Valor nominal da tensão de rotura à tração para parafusos	[MPa]
$F_{v,Ed}$	- Valor de cálculo do esforço transversal por parafuso no estado limite último	[kN]
$F_{v,Ed,ser}$	- Valor de cálculo do esforço transversal por parafuso no estado limite de utilização	[kN]
$F_{v,Rd}$	- Valor de cálculo da resistência ao esforço transversal por parafuso	[kN]
$f_{vw,d}$	- Resistência ao corte da soldadura;	[kN/m]
$F_{w,Ed}$	- Esforço atuante na soldadura por unidade de comprimento	[kN/m]

$F_{w,Rd}$	- Resistência de cálculo de um cordão de ângulo por unidade de comprimento	[kN/m]
f_{yb}	- Valor nominal da tensão de cedência à tração para parafusos	[MPa]
n	- Número dos planos de atrito	[-]
$N_{net,Rd}$	- Valor de cálculo do esforço normal resistente plástico de tração da secção transversal útil	[kN]
p_1	- Distância entre os eixos dos parafusos ou rebites de uma fiada	[mm]
t	- Espessura da chapa de ligação	[mm]
t_p	- Espessura da chapa sob a cabeça do parafuso ou sob a porca	[mm]
α_v	- Parâmetro que relaciona o plano de corte com o parafuso	[-]
β_w	- Fator de correlação	[-]
μ	- Coeficiente de atrito da superfície da chapa	[-]

Capítulo 4

Ação da Variação da Temperatura

ΔT_u	- Variação uniforme de temperatura	[C]
T	- Temperatura máxima ou mínima (Verão/ Inverno);	[C]
T_0	- Temperatura inicial ou no instante da introdução de constrangimentos na estrutura	[C]
H	- Cota de implantação	[cm]

Ação do Vento

$C_s C_d$	- Coeficiente estrutural	[]
C_f	- Coeficiente de força relativo ao elemento de construção	[]
$q_p(z_e)$	- Pressão dinâmica de pico à altura de referência	[]
A_{ref}	- Área de referência do elemento de construção	[m ²]
$V_{b,0}$	- Valor básico da velocidade de referência do vento	[ms ⁻¹]
C_{season}	- Coeficiente de sazão	[]
C_{dir}	- Coeficiente de direção	[]
$C_r(z)$	- Coeficiente de rugosidade	[]
$C_0(z)$	- Coeficiente de orografia	[]
$C_{f,0}$	- Coeficiente de força para estruturas treliçadas sem efeitos de extremidade	[]

ψ_z	- Coeficiente de efeitos de extremidade	[]
A	- Soma das áreas das projeções no plano da face perpendicularmente a esse plano de todos os elementos e chapas de gousset da face: $A = \sum_i b_i \cdot l_i + \sum_k A_{gk}$	[m ²]
A_c	- Área limitada pelo contorno da face em projeção normal à mesma = $d l$;	[m ²]
l	- Comprimento da treliça	[m]
d	- Largura da treliça	[m]
b_i, l_i	- Largura e comprimento do elemento i , projetado perpendicularmente à face	[m]
A_{gk}	- Área de gousset	[m ²]
Z_s	- Altura de referência para a determinação do coeficiente estrutural	[m]
I_v	- Intensidade de turbulência	
B^2	- Coeficiente de resposta quase-estática	
R^2	- Coeficiente de resposta em ressonância	
K_p	- Fator de pico	
b	- Largura da construção	
h	- Altura da construção	
$L(Z_s)$	- Escala de turbulência à altura de referência Z_s	
Z_s	- Altura de referência da estrutura	
Z_t	- Altura de referência igual a 200m	
L_t	- Escala de referência igual a 300m	
α	- Parâmetro que depende do comprimento de rugosidade: $\alpha = 0,67 + 0,05 \ln(z_0)$;	
Z_0	- Comprimento de rugosidade	
δ	- Decremento logarítmico total de amortecimento fornecido em F.5 da Norma	
S_L	- Função de densidade espectral de potência adimensional fornecida em B.1 da Norma	
R_h, R_b	- Funções de admitância aerodinâmica	
δ_s	- Decremento logarítmico de amortecimento estrutural	
δ_a	- Decremento logarítmico de amortecimento aerodinâmico para o modo fundamental	
δ_d	- Decremento logarítmico de amortecimento devido a dispositivos especiais	

- f_L - Frequência adimensional
 z_s - Altura de referência
 $n_{1,x}$ - Frequência própria da estrutura
 $V_m(z_s)$ - Velocidade média do vento à altura de referência z_s
 ν - Frequência de passagens ascendentes
 T - Duração da integração da velocidade média do vento ($T=600s$)

Capítulo 6

- H_{Ed} - Valor de cálculo da carga horizontal total [kN]
 V_{Ed} - Valor de cálculo da carga vertical [kN]
 $\delta_{H,Ed}$ - Deslocamento horizontal relativo entre o topo e a base devido aos valores de cálculo das ações horizontais [cm]
 H - Altura do elemento [cm]
- Valor de cálculo do Esforço transverso atuante [kN]
 V_{Rd} - Valor de cálculo do Esforço transverso resistente [kN]

1 Introdução

O presente trabalho refere-se ao trabalho Final de Mestrado em Engenharia Civil e consiste no Projeto de um Estrutura Metálica de suporte de uma Tela Transportadora de Biomassa que está integrada numa fábrica de produção de cimento.

A produção de cimento é realizada em grandes unidades fabris, onde se efetua a transformação de calcário em cimento, através de uma sequência de etapas, que se inicia na extração e termina na expedição do cimento, como se indica na Figura 1-1.

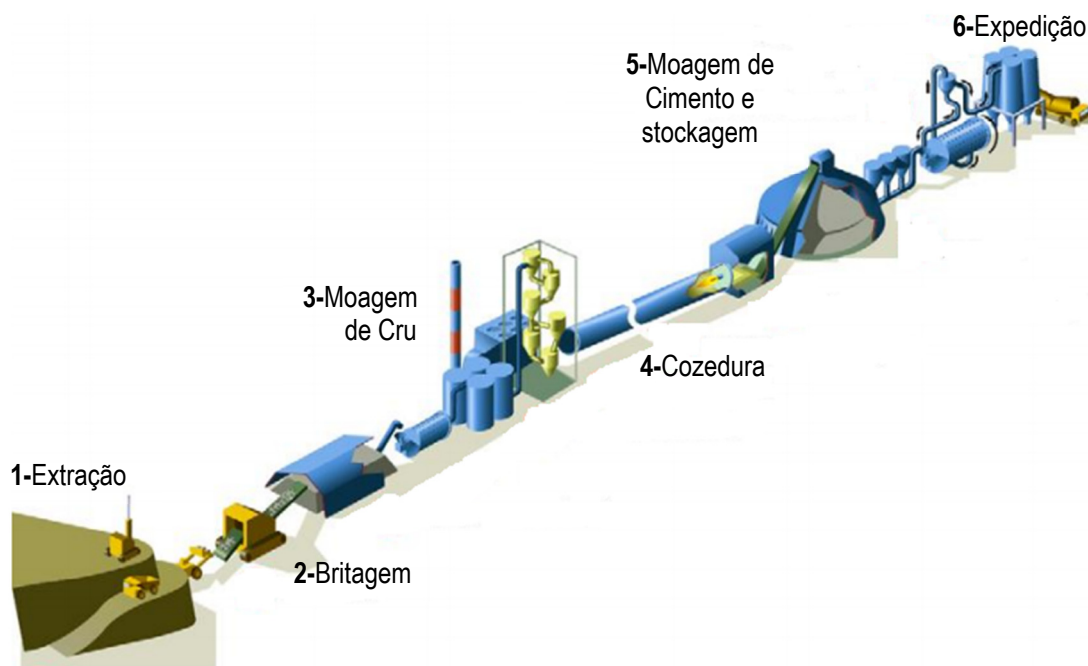


Figura 1-1 – Etapas de Produção do Cimento. [Fonte: Adaptado de IEA]

Na maior parte destas fábricas o transporte é assegurado com recurso a telas transportadoras, que podem ser de vários tipos, dependendo do material a transportar da distância a vencer e a altura a alcançar, sendo assim uma peça fundamental no bom funcionamento destas fábricas.

As estruturas de suporte das Telas Transportadoras são de um modo geral constituídas por estruturas metálicas, devido não só ao seu baixo peso, mas também à versatilidade, facilidade de execução e montagem, tendo-se optado, neste projeto, por uma ponte metálica para servir de suporte a uma tela e aos equipamentos mecânicos de movimentação.

1.1 Considerações Gerais

Este trabalho tem como fundamento essencial a aplicação de grande parte dos conceitos adquiridos no curso de Engenharia Civil na área de especialização de Estruturas. No decorrer do percurso académico de um aluno de Engenharia Civil são apresentadas as normativas europeias relativas às disposições construtivas que devem ser tidas em consideração na execução de um Projeto de Estruturas, sendo pois indispensável o estudo e a aplicabilidade dessas Normas.

As estruturas metálicas são de uma importância acrescida devido ao rápido fabrico e também à grande versatilidade do aço. Uma vez que o tempo de execução de uma obra é um dos fatores mais importantes no seu custo global, torna-se claro, que a regulação do mercado na área da construção relativamente aos tipos de materiais a utilizar passará pelo aumento deste tipo de estruturas. Perspetiva-se assim que as estruturas metálicas venham a ter um aumento de procura no mercado nacional.

Desta forma, é fundamental e indispensável dominar o Eurocódigo 3, a norma europeia que estabelece os princípios e os requisitos de segurança, de utilização e de durabilidade a aplicar nos projetos de estruturas metálicas, no dimensionamento destas estruturas. É necessário ainda ter em consideração outros Eurocódigos, nomeadamente o Eurocódigo 0 – Bases de Projeto – e o Eurocódigo 1 – Ações em Estruturas.

1.2 Objetivos a alcançar neste Projeto

Pretende-se neste projeto aplicar as metodologias de análise e de dimensionamento para as estruturas metálicas e de betão armado, utilizando os princípios, as disposições e as especificações atualmente em vigor nos países europeus, nomeadamente através das indicações dos Eurocódigos.

É necessário também compreender a aplicabilidade das ações, a modelação das estruturas e as verificações de segurança a realizar, utilizando o programa de elementos finitos “*Robot Structure Analysis Professional*” como principal ferramenta e ainda outros softwares auxiliares..

1.3 Organização do Trabalho

Este projeto é composto por uma Parte Escrita e um conjunto de Peças Desenhadas, sendo que a Parte Escrita compreende os seguintes capítulos:

Capítulo 1 – Introdução:

Faz-se uma breve introdução ao projeto a realizar.

Capítulo 2 – Condicionantes do projeto.

Incluem-se todas as condicionantes referentes ao projeto, a localização da estrutura e as características geotécnicas dos terrenos de fundação.

Capítulo 3 – Critérios de Dimensionamento.

São apresentadas todas as normas que serviram para a realização deste projeto e apresenta-se uma análise mais aprofundada aos Eurocódigos Estruturais, nomeadamente:

- EC2 - Projeto de Estrutura de Betão;
- EC3 - Projeto de Estruturas Metálicas;
- EC8 - Projeto de Estruturas para Resistência aos Sismos.

Capítulo 4 – Materiais, Ações e Combinações de Ações.

Neste capítulo faz-se uma referência aos materiais, às ações e às combinações de ações, bem como os cuidados a ter em consideração na modelação da Estrutura.

Capítulo 5 – Pré-Dimensionamento da Estrutura.

É feito o pré dimensionamento das estruturas principais, tendo em consideração algumas condicionantes próprias neste tipo de estruturas.

Capítulo 6 – Dimensionamento.

São apresentadas as etapas utilizadas na modelação das estruturas e dimensionamento com base no *software* de elementos finitos escolhido "*Robot Structural Analysis Professional*".

Capítulo 7 – Conclusão.

Apresentam-se as conclusões principais e algumas indicações a respeitar no dimensionamento deste tipo de estruturas.

2 Condicionantes do Projeto

2.1 Enquadramento

As estruturas metálicas que servem de suporte às telas transportadoras são de um modo geral facilmente reforçadas e desmontadas uma vez que são de fácil adaptação a cada caso particular.

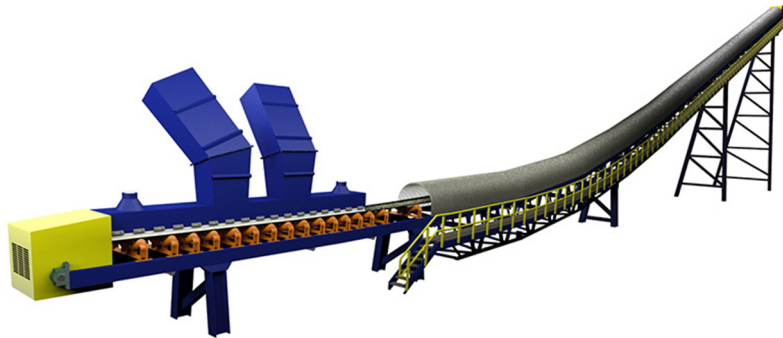


Figura 2-1 - Tela Transportadora - Conjunto

As telas transportadoras são de diferentes tipos consoante o material a transportar, os comprimentos a assegurar e os desníveis a vencer.

Em todas as estruturas de suporte das telas é necessário também garantir as operações de manutenção, que podem ser asseguradas por meio de plataformas e escadas ligadas à estrutura principal.

Nas Figuras 2-2 e 2-3 apresentam-se diversos tipos de telas e também os seus elementos constituintes.



Figura 2-2 – Exemplos de Telas Transportadoras

Para o dimensionamento mecânico das telas é necessário conhecer alguns parâmetros, tais como: tipo, quantidade de material a transportar, velocidade, distância a percorrer, etc.

Depois de definidos estes parâmetros é possível dimensionar a tela, os órgãos mecânicos de suporte e de movimentação e definir todas as restantes estruturas metálicas principais e secundárias.

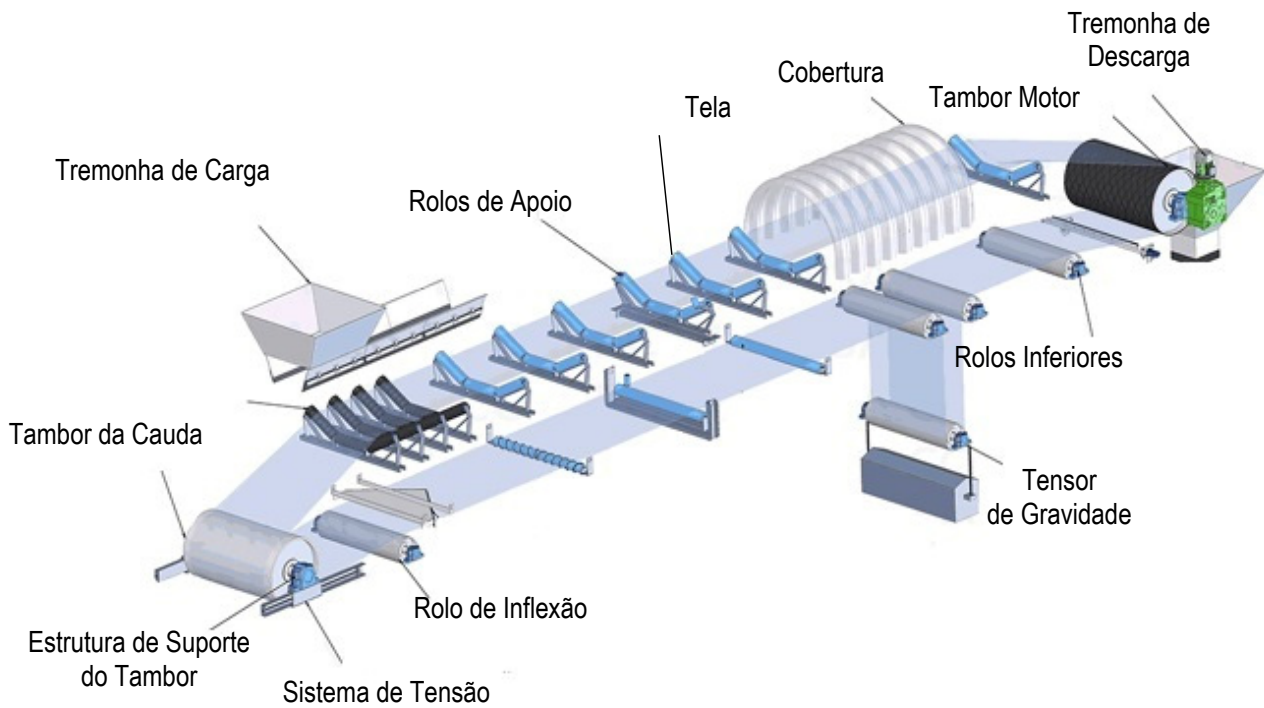


Figura 2-3 – Elementos constituintes de uma Tela

Nas Figuras 2-4 e 2-5 mostram-se alguns dos componentes das telas.



Figura 2-4 – Exemplos de Rolos de Apoio

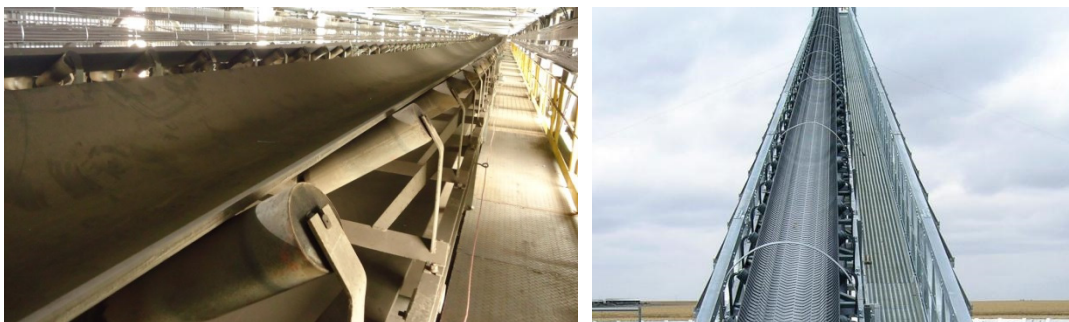


Figura 2-5 – Exemplos de Passerelles

2.2 Localização

A estrutura está localizada numa unidade cimenteira no concelho de Loulé, conforme se indica na Figura 2-6.

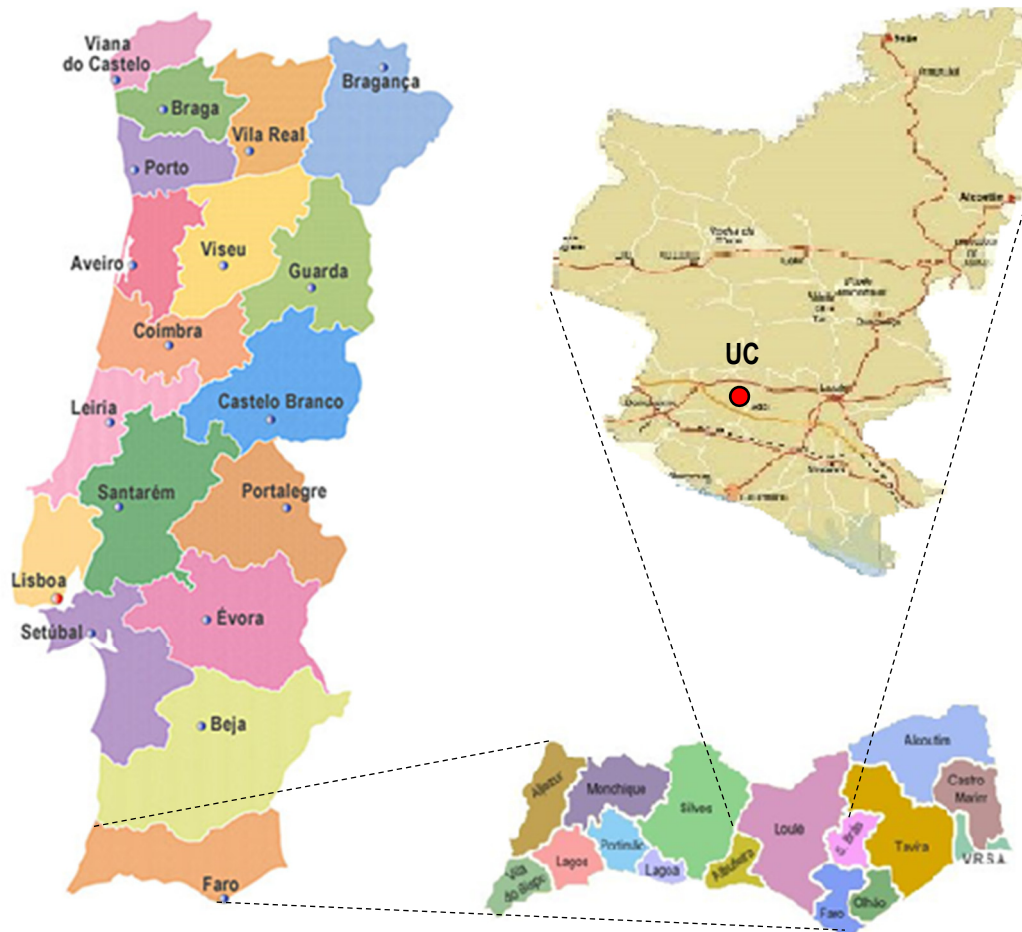


Figura 2-6 –Localização

2.3 Geologia e geotecnia

Realizou-se apenas uma sondagem, que inclui um conjunto de ensaios de penetração dinâmica SPT, espaçados de 1,5 m, uma vez que existiam já outras sondagens próximas da atual.

Durante a execução desta sondagem foram efetuadas também colheitas de amostras para análise em laboratório, de modo a preceder-se à determinação da capacidade do terreno e da possível existência de nível freático.

Através desta prospeção foi possível recolher diversos tipos de materiais heterogêneos, tendo sido possível identificar três tipos de estratos de diferentes características, como se indica na Figura 2-7.

O primeiro estrato é caracterizado por lodos argilosos, cinzentos e restos de conchas. Este estrato tem uma espessura de 1,5 m tendo-se obtido 16 pancadas nos ensaios SPT realizados.

O segundo estrato é formado por argilas arenosas de grão fino a médio, de tons amarelados, com fragmentos de dimensão e natureza variada mais abundantes no topo e junto à base.

Este estrato foi reconhecido até à profundidade de 3,5 m tendo-se obtido 39 pancadas nos ensaios SPT.

Por fim o último estrato que foi identificado é composto por areias argilosas de grão grosseiro a médio e de grão médio a fino de cor cinzento claro.

A profundidade da sondagem foi até 15 m tendo-se obtido SPT entre 49 e 60 pancadas.

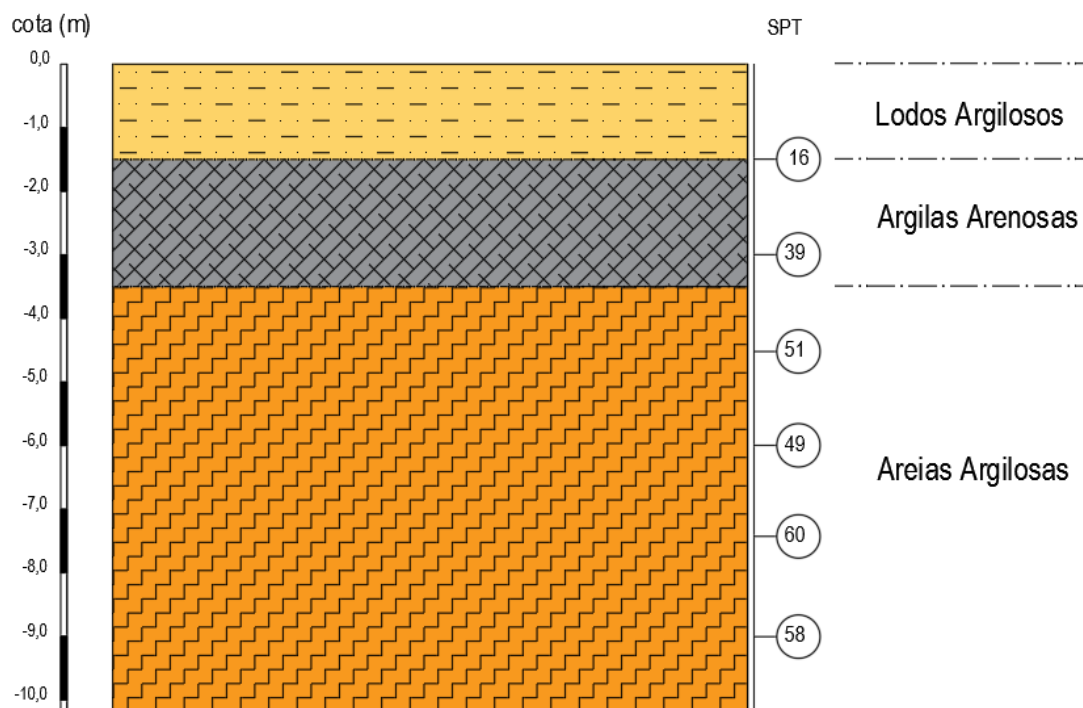


Figura 2-7 – Identificação dos Estratos

2.4 Geometria da Estrutura Metálica de suporte da Tela

A estrutura deste projeto serve de suporte a uma tela de transporte de biomassa que futuramente será misturado com o carvão de modo a servir de combustível ao forno de cimento. Esta estrutura metálica é constituída por uma treliça espacial com uma inclinação de 40° que funciona como viga contínua com três tramos que apoiam num pilar, numa escora triangulada e numa plataforma de uma torre de betão existente, tem um comprimento total aproximado de 57 metros e compreende um troço inclinado e um outro horizontal.

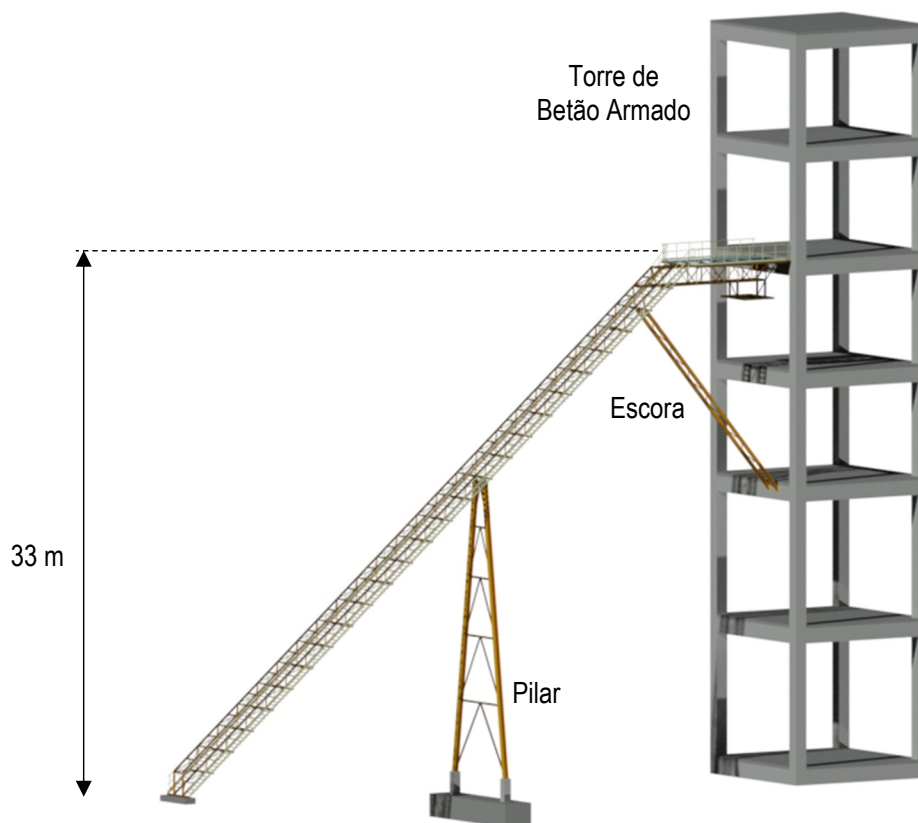


Figura 2-8 - Treliça etálica de suporte da Tela

Os apoios na torre de betão funcionam como apoios móveis permitindo os movimentos no sentido longitudinal e transversal da viga treliçada espacial.

O pilar e a escora funcionam como estruturas treliçadas planas com apoios fixos nas ligações ao exterior.

As fundações dos pilares são diretas realizadas a partir de sapatas.

De referir que o pilar principal tem 20 metros de altura e a escora um comprimento de 16 metros tal como se indica na Figura 2-9.

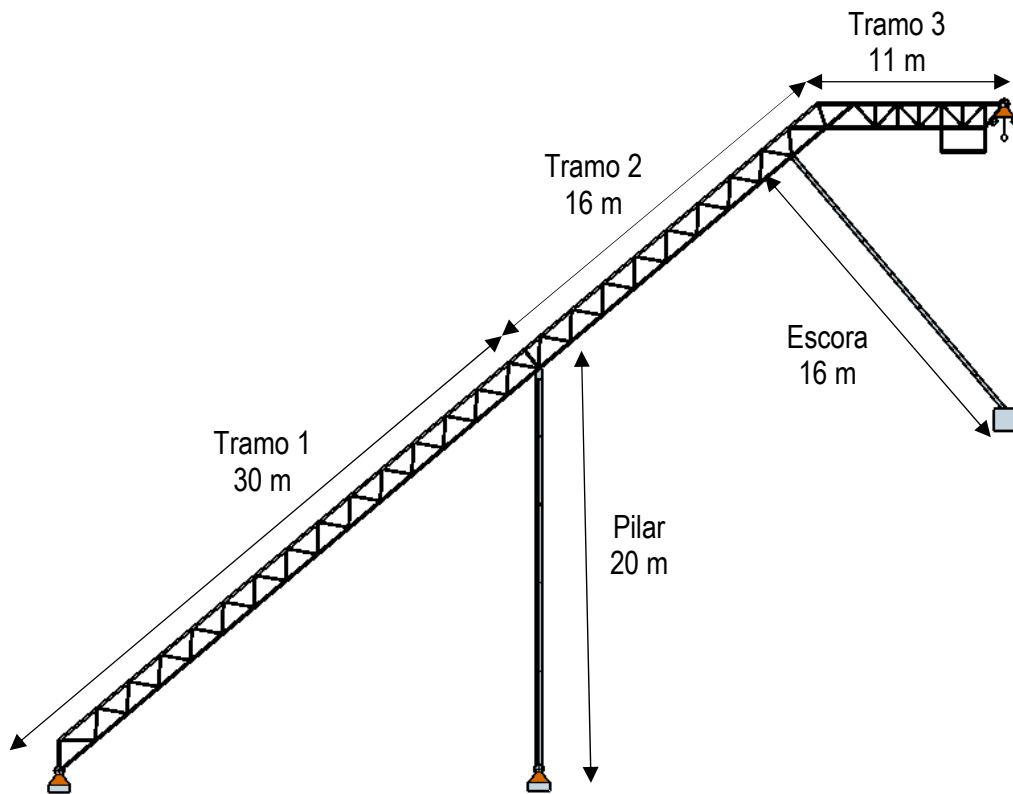


Figura 2-9 – Geometria da Estrutura

O dimensionamento foi realizado para uma Viga treliçada em caixão composta por um conjunto de vigas planas trianguladas denominadas de painel horizontal superior, painel horizontal inferior, dois painéis verticais e quadros de ligação aos pilares e à escora, para o Pilar Principal e para a Escora.

A viga em caixão é composta por quatro vigas planas treliçadas, duas verticais (painéis verticais) que recebem as ações gravíticas e duas horizontais (painéis superior e inferior) que suportam as cargas horizontais.

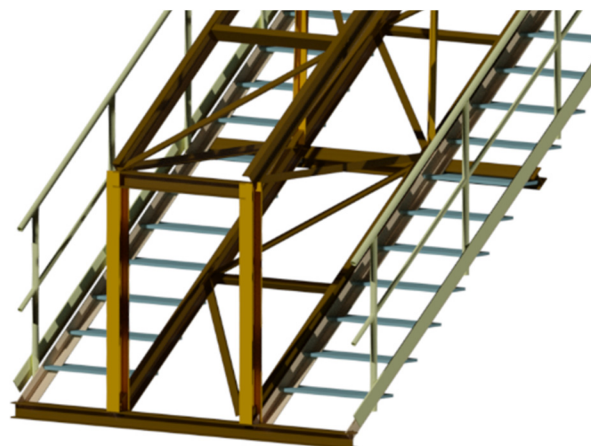


Figura 2-10 – Troço da Viga Treliçada em Caixão

◆ Viga Treliçada em Caixão

Nas Figuras 2-11 e 2-12 está representado um troço das vigas horizontais superior e inferior da viga treliçada espacial, bem como a identificação e nomenclatura das barras que a constituem.

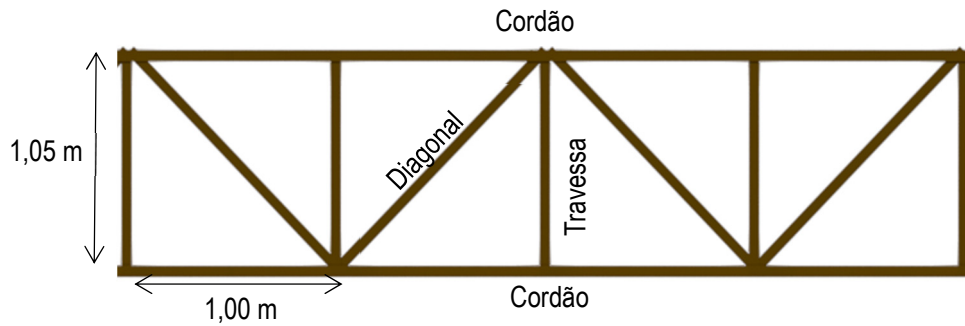


Figura 2-11 - Viga Horizontal Superior

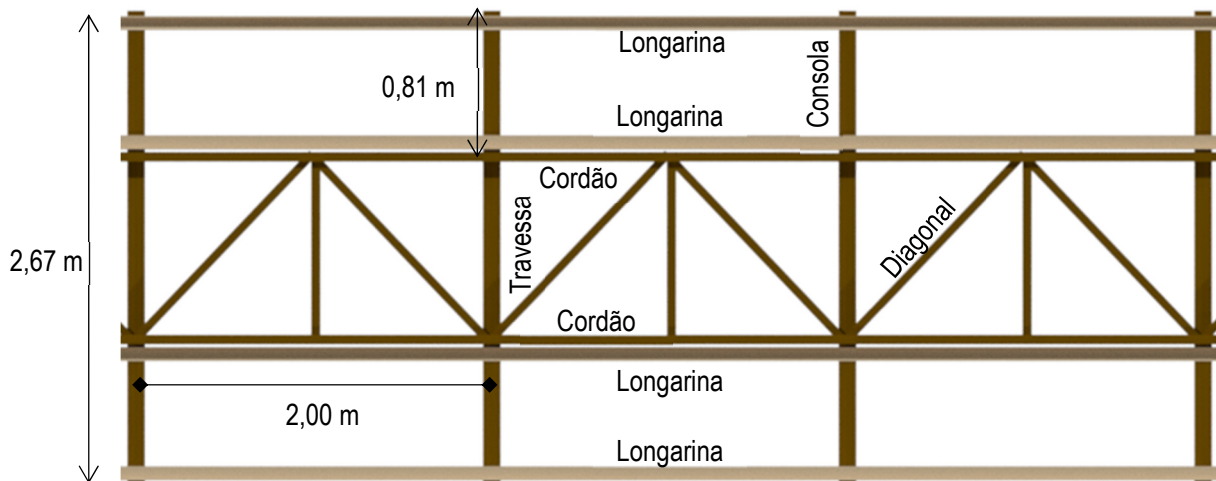


Figura 2-12 – Viga Horizontal Inferior

Os perfis metálicos que formam as barras das vigas horizontais estão identificados na Tabela 2-1.

Tabela 2-1 - Vigas Horizontais

Vigas	Nomenclatura	Seções
Viga Horizontal Superior	Cordões	UNP's
	Diagonais	Cantoneiras
	Travessas	Tubos retangulares
Viga Horizontal Inferior	Cordões	UNP's
	Diagonais	Cantoneiras
	Travessas	Cantoneiras
	Longarinas	Cantoneiras
	Consolas	HEB's

As duas vigas verticais que formam os painéis verticais, têm a mesma geometria, conforme se indica na Figura 2-13 e os perfis metálicos que constituem as barras destas vigas indicados na Tabela 2-2.

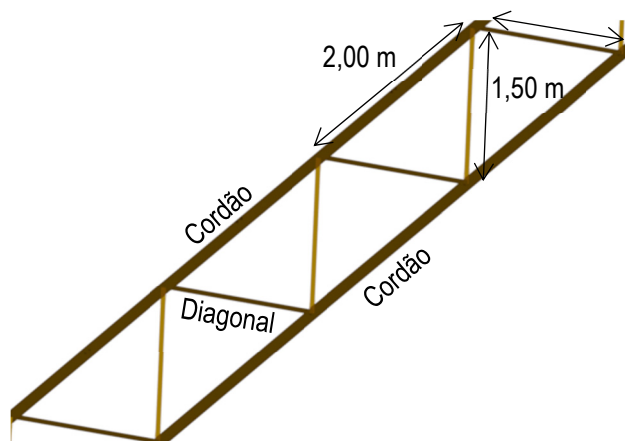


Figura 2-13 – Vigas Verticais

Tabela 2-2 – Vigas Verticais

Vigas	Nomenclatura	Secções
Vigas Verticais	Cordões	UNP's
	Diagonais	Cantoneiras

De modo a proceder-se à transferência dos esforços e limitar também as deformações horizontais da treliça composta, foi necessário conceber “quadros” constituídos por barras de grande rigidez que ficam diretamente ligados aos pilares e à escora. Na Figura 2-14 indica-se a posição destes “quadros” que são constituídos por perfis HEB.

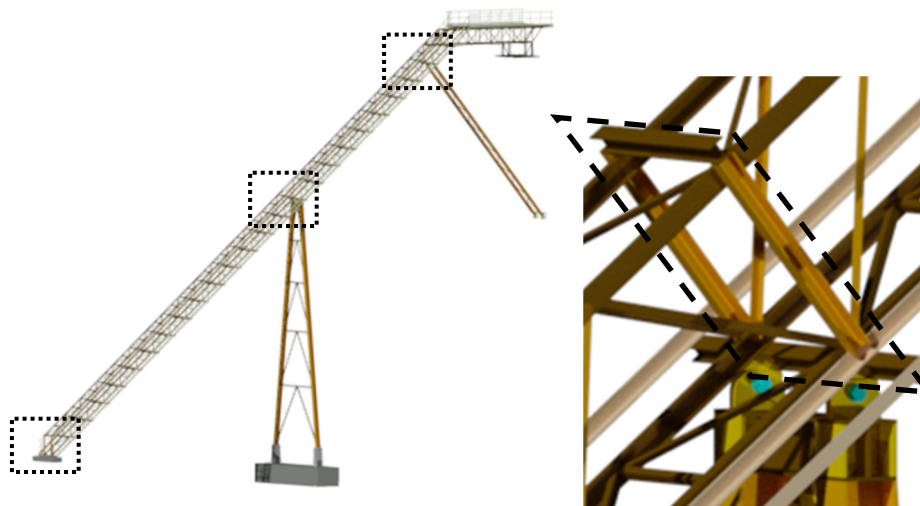


Figura 2-14 – “Quadros” Rígidos

◆ **Plataforma Secundária**

Esta plataforma situa-se no troço superior da Viga principal e serve de para a manutenção dos equipamentos mecânicos localizados nesta zona.

Conforme se mostra na Figura 2-15, esta plataforma é composta por diversas identificadas como: prumos, travessas, diagonais e longarinas.

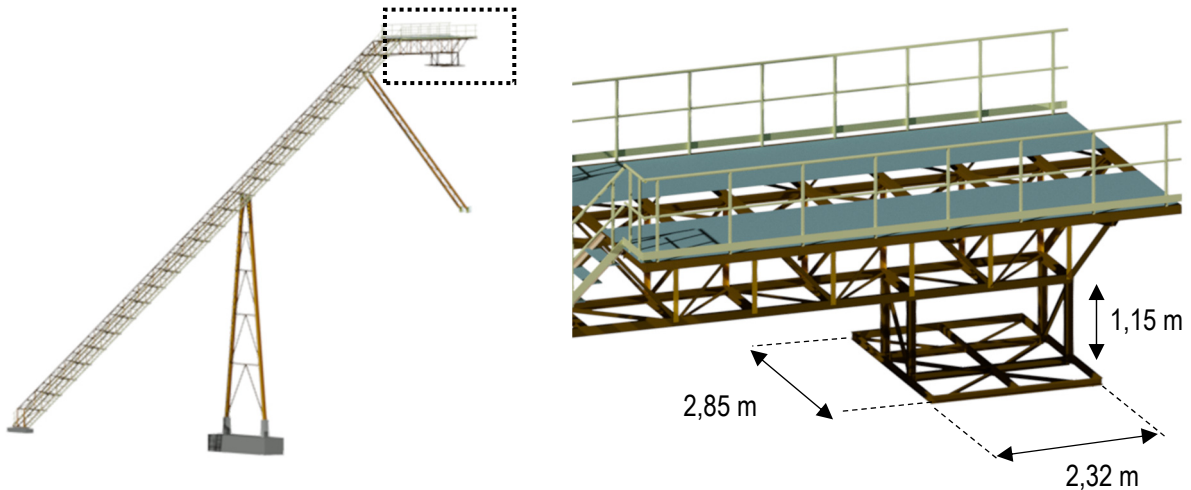


Figura 2-15 – Plataforma Secundária

Na Tabela 2-3 estão indicadas as barras que constituem esta plataforma.

Tabela 2-3 – Nomenclatura e Tipo de Barras

Estrutura	Nomenclatura	Seções
Plataforma Secundária	Cordões	HEB's e UNP's
	Diagonais	Cantoneiras
	Prumos	HEB's
	Travessas	UNP's

◆ **Pilar**

O pilar principal é composto por uma treliça plana com uma altura de 19 metros, sendo indicadas na Tabela 2-4 as barras e os perfis que o constituem.

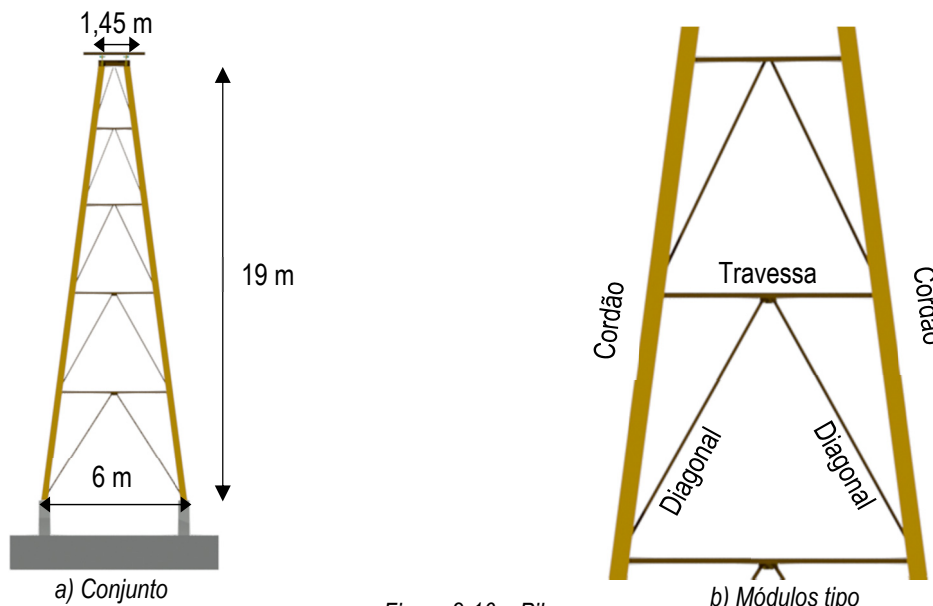


Figura 2-16 – Pilar

Tabela 2-4 – Pilar

Estrutura	Nomenclatura	Secções
Treliza Plana	Cordões	HEB's
	Diagonais	Duplas Cantoneiras
	Travessas	UNP's

◆ Escora

A escora é constituída por uma treliza plana do tipo Warren com um comprimento total de 16 metros.

Na Figura 2-17 indica-se uma parte desta estrutura e na Tabela 2-5 as secções das barras.

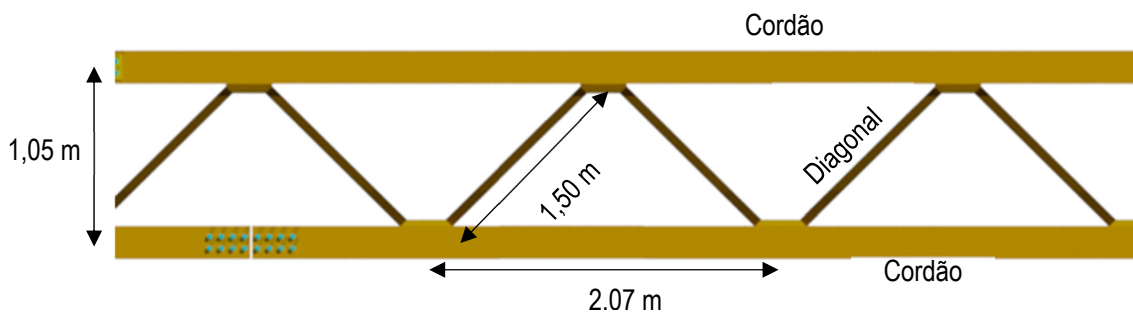


Figura 2-17 – Escora

Tabela 2-5 - Escora

Estrutura	Tipo de Barra	Secções
Treliza Plana	Cordões	HEB's
	Diagonais	Cantoneiras

3 Critérios de Dimensionamento

Este Projeto incide apenas sobre os requisitos de segurança e de utilização tendo-se utilizado no seu dimensionamento os conceitos de estados limites últimos e de utilização.

Neste capítulo são abordadas de um modo mais detalhado as seguintes Normas:

EN 1990 – Bases de Projeto;

EN 1992 – Projeto de Estruturas de Betão, Parte 1.1 - Regras Gerais e regras para edifícios;

EN 1993 – Projeto de Estruturas de Aço, Parte 1.1 - Regras Gerais e regras para edifícios, incluindo a Parte 1.8 - Projeto de Ligações.

De referir que a NP EN1990 estabelece as bases, os princípios e os requisitos de segurança para o dimensionamento de estruturas na generalidade.

Faz referência, também, que as estruturas devem ser projetadas e construídas de modo a apresentarem bom desempenho, durante o período de vida útil, desde que sejam cumpridos entre outros, os seguintes requisitos fundamentais:

- Segurança - Devem resistir a todas as combinações de ações, mesmo as de probabilidade de ocorrência reduzida;
- Utilização - Sob influência das ações de serviço devem apresentar um “comportamento” adequado;
- Durabilidade - Devem manter-se em boas condições de segurança durante todo o período de vida útil;
- Robustez - Quando sujeitas a ações acidentais não devem sofrer danos que possam por em causa a sua segurança.

A NP EN1990 define como estados limites, os estados para além dos quais a estrutura deixa de satisfazer os critérios de projeto relevantes, classificando-os em:

- ◆ Estados Limites Últimos – Estados associados a danos graves que possam comprometer a segurança das pessoas e bens;
- ◆ Estados Limites de Utilização ou de Serviço – Estados associados a danos de menor gravidade, que não comprometam a segurança, mas apenas o funcionamento da estrutura, o seu aspeto ou o conforto das pessoas.

Na Tabela 3-1 indicam-se os estados limites definidos nesta norma, assim como as verificações de segurança a realizar.

3. Critérios de Dimensionamento

Tabela 3-1 - Estados Limites e Verificações de Segurança

Estados Limites	Tipo	Verificação de Segurança
Últimos - ELU	EQU: Perda de equilíbrio estático do conjunto ou de parte da estrutura considerada como corpo rígido.	Derrubamento Deslizamento
	STR: Rotura ou deformação excessiva da estrutura ou dos elementos estruturais, incluindo sapatas, estacas, muros de caves, etc., em que a resistência dos materiais da estrutura é condicionante;	Flexão Esforço Transverso Punçoamento
	GEO: Rotura ou deformação excessiva do terreno em que as características resistentes do solo ou da rocha são significativas para a resistência da estrutura;	Rotura por Corte Punçoamento do solo
	FAT: Rotura por fadiga da estrutura ou dos elementos estruturais.	Material
Serviço - ELS	A verificação dos estados limites de utilização deverá basear-se em critérios relacionados com os seguintes aspetos:	Deformações Vibrações Fendilhação

3.1 Disposições Normativas

Na realização deste Projeto foram aplicados os seguintes Eurocódigos Estruturais:

- EN 1990 – Eurocódigo 0: Bases para o Projeto de Estruturas;
- EN 1991 – Eurocódigo 1: Ações em Estruturas;
 - Parte 1-1: Ações Gerais – Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios;
 - Parte 1-4: Ações Gerais – Ações do vento;
 - Parte 1-5: Ações Gerais – Ações térmicas;
- EN 1992 – Eurocódigo 2: Projeto de Estruturas de Betão;
 - Parte 1-1: Regras Gerais e regras para edifícios;
- EN 1993 – Eurocódigo 3: Projeto de Estruturas de Aço;
 - Parte 1-1: Regras Gerais e regras para Edifícios;
 - Parte 1-8: Projeto de Ligações;
- EN 1997 – Eurocódigo 7: Projeto Geotécnico;
 - Parte 1: Regras Gerais;
- EN 1998 – Eurocódigo 8: Projeto de Estruturas para Resistência aos Sismos;
 - Parte 1: Regras Gerais, ações sísmicas e regras para edifícios.

Foi necessário também consultar outras Normas, tais como:

- A norma francesa N.V. 65 et Annexes - “Règles définissant les effets de la Neige et du Vent – Règles”.
- A norma portuguesa NP EN 10025 - 2 referente aos produtos laminados a quente de aços de construção não ligados.

3.2 Elementos de Betão – EN 1992 e EN 1997

Os elementos de betão armado que constituem este Projeto incluem os plintos e as fundações dos pilares metálicos da estrutura de suporte da tela.

Os plintos são os elementos que fazem a transferência dos esforços da superestrutura para a infraestrutura em que foram cumpridas as verificações da NP EN1992, enquanto que as fundações asseguram a ligação ao solo de fundação e cumprem as disposições da NP EN1997.

3.2.1 Plintos

Nas estruturas de betão armado foram considerados os coeficientes parciais de segurança para os estados limites últimos e de utilização indicados na Tabela 3-2, e realizado o dimensionamento de acordo com os critérios da

Estados Limites	γ_c - Betão	γ_s - Aço
ELU – Últimos	1,5	1,15
Estados Limites	γ_c - Betão	γ_s - Aço
ELU – Últimos	1,5	1,15
ELS – Serviço	1,0	1,0

Tabela 3-2

Coeficientes

Tabela 3-3 - Critérios de Verificação – Plintos

Estado Limites	Verificação
Últimos	Flexão
	Esforço transversal
Serviço	Fendilhação

Parciais

3.2.1.1 Estados Limites Últimos

o Verificação à Flexão

O dimensionamento dos plintos à flexão desviada foi realizado a partir da expressão:

$$\left(\frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}} \right)^a + \left(\frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}} \right)^a \leq 1,0 \quad (3-1)$$

O expoente “a” toma os seguintes valores:

Tabela 3-4 - Coeficientes “a”

N_{Ed}/N_{Rd}	0,1	0,7	1,0
a	1,0	1,5	2,0

Em relação às armaduras longitudinais respeitaram-se os valores mínimos e máximos estipulados no EC2:

$$A_{s,\min} = \frac{0,10 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} \geq 0,002 A_c \quad (3-2)$$

$$A_{s,\max} = 0,04 \cdot A_c \text{ ou } 0,08 \cdot A_c - \text{secções dos empalmes} \quad (3-3)$$

De referir, também, que os varões longitudinais não podem ter diâmetros inferiores a 10 mm.

Em relação aos espaçamentos entre os varões longitudinais respeitaram-se as seguintes expressões:

$$d \geq \max \begin{cases} k_1 \cdot \phi \\ d_g + k_2 \\ 20 \end{cases} \text{ em mm} \quad (3-4)$$

Nota: Foi garantido também os recobrimentos, com base nas classes de exposição e estrutural.

○ **Verificação ao Esforço Transverso**

O colapso por esforço transverso em qualquer elemento de betão pode ser atingido pela cedência das armaduras transversais $V_{Rd,s}$, ou pelo esmagamento das bielas de betão $V_{Rd,\max}$.

A verificação de segurança em relação a este estado efetua-se com base nas expressões:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} \quad (3-5)$$

$$V_{Rd} = \min \begin{cases} V_{Rd,s} \\ V_{Rd,\max} \end{cases}$$

$$V_{Rd,s} = f_{yd} \frac{A_{sw}}{s} z \cdot \cot \theta \quad (3-6)$$

$$V_{Rd,\max} = \frac{\alpha_{cw} v_1 f_{cd} b_w z}{\tan \theta + \cot \theta} \quad (3-7)$$

As armaduras de esforço transverso são calculadas a partir de:

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{f_{yd} \cdot z \cdot \cot \theta} \quad (3-8)$$

Foi também necessário assegurar as armaduras mínimas e máximas regulamentares respeitando as expressões 3-9 e 3-10.

$$\frac{A_{sw,min}}{s} \leq \rho_{w,min} b_w \text{sen}(\alpha) \quad (3-9)$$

$$\frac{A_{sw,max}}{s} \leq 0,5 \frac{\alpha_{cw} v_1 f_{cd} b_w}{f_{ywd}} \quad (3-10)$$

Nota: Uma vez que a relação entre as alturas dos plintos e as dimensões das secções é pouco significativa, os efeitos de segunda ordem são irrelevantes.

3.2.1.2 Estados Limites de Serviço

o Fendilhação

Existem diversos métodos de controlo que podem ser aplicados na verificação da fendilhação.

Um dos processos designado por “Método Indireto”, referenciado na NP EN1992-1-1, tem em consideração os diâmetros e os afastamentos máximos dos varões.

Nas Tabelas 3-5 e 3-6 definem-se os diâmetros e afastamentos máximos em função da tensão de cedência do aço e das dimensões das aberturas das fendas de modo a cumprir os valores regulamentares.

Tabela 3-5 – Controlo da Fendilhação

Tensão no aço (MPa)	Diâmetros Máximos dos Varões (mm)		
	W _k =0,4 mm	W _k =0,3 mm	W _k =0,2 mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

Em que W_k representa a largura das fendas.

Tabela 3-6 – Controlo da Fendilhação

Tensão no Aço (MPa)	Espaçamento Máximo dos Varões (mm)		
	$W_k=0,4$ mm	$W_k=0,3$ mm	$W_k=0,2$ mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

3.2.2 Fundações

A escolha do tipo de fundação depende das características resistentes do terreno.

As fundações podem ser diretas e incluem as sapatas isoladas, as sapatas ligadas por vigas de fundação e os ensoleiramentos gerais.

Nas fundações indiretas há a distinguir entre outras, os pegões, as micro-estacas, as estacas, etc.

No projeto da Estrutura Metálica de suporte da tela consideraram-se fundações diretas realizadas com recurso a sapatas isoladas.

Estas fundações foram calculadas considerando também a capacidade resistente do solo de fundação.

As verificações realizadas estão resumidas na Tabela 3-7.

Tabela 3-7 - Sapatas - Critérios de Verificação Segurança

Estado Limites	Sapatas	Terreno
Últimos	Flexão	Rotura por Corte ou Punçãoamento
	Punçãoamento	Deslizamento
Serviço	Fendilhação	Assentamento
	Deformação	

A verificação das sapatas neste projeto foi realizada em duas etapas.

1. Resistência de suporte do terreno;
2. Resistência do elemento.

1ª Etapa – A verificação de segurança em relação à resistência do terreno foi feita segundo os critérios da NP EN1997-1.

Consideraram-se para os coeficientes parciais de segurança os indicados na Tabela 3-8 na abordagem de Cálculo do Tipo 1.

A Abordagem de Cálculo Tipo 1 define duas combinações:

- Combinação 1: A1 “+” M1 “+” R1
- Combinação 2: A2 “+” M2 “+” R1

Tabela 3-8 – Coeficientes Parciais de Segurança

Ação	Simbologia	Tipo de Cálculo	
		A1	A2
Permanentes			
- Desfavorável	γ_G	1,35	1,00
- Favorável		1,00	1,00
Variável			
- Desfavorável	γ_Q	1,50	1,3
- Favorável		0	0
Propriedade do Terreno		M1	M2
Angulo de Resistência ao Corte	$\gamma_{\phi'}$	1,00	1,25
Coesão Efetiva	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistência não Drenada	γ_{cu}	1,00	1,4
Resistência à Compressão Simples	γ_{qu}	1,00	1,4
Peso Volúmico	γ_{γ}	1,00	1,0
Resistência		R1	
Vertical	$\gamma_{R,v}$	1,00	
Ao deslizamento	$\gamma_{R,h}$	1,00	

A verificação da segurança ao estado limite último por rotura do terreno de fundação foi verificada com base em 2 combinações.

A combinação 1 normalmente conduz a resultados mais desfavoráveis, dado que é feita a majoração das cargas; no entanto é muitas vezes a combinação 2 que é condicionante uma vez que os coeficientes aplicados reduzem os parâmetros resistentes.

2ª Etapa – Nesta etapa foi feita a verificação da segurança da resistência do elemento em betão.

Os requisitos de segurança são definidos no EC2 e seguem a mesma orientação da realizada para os plintos, conforme se indica na

Estados Limites	γ_c - Betão	γ_s - Aço	O dimensionamento geométrico das sapatas foi realizado com base na verificação da tensão admissível do solo, e no critério de rigidez das sapatas através das expressões.
ELU – Últimos	1,5	1,15	
ELS – Serviço	1,0	1,0	

$$H \geq a / 2 - \text{ Sapata Rígida} \quad (3-11)$$

$$H < a / 2 - \text{ Sapata Flexível} \quad (3-12)$$

H – Altura da sapata;

a – Maior das distâncias entre a face do pilar e a face exterior da sapata

3.2.2.1 Resistência do Solo de Fundação

A verificação da segurança do solo de fundação é realizada em relação aos estados limites últimos:

- **Rotura por Corte**

Nesta verificação é necessário calcular a capacidade resistente do solo de fundação com base nos seguintes critérios:

$$V_d \leq R_d \quad (3-13)$$

Em que:

V_d – Valor de cálculo da força vertical;

R_d – Valor de cálculo da força vertical resistente.

O cálculo da capacidade resistente de uma fundação depende também das condições não drenadas e/ou drenadas do terreno.

Para as condições não drenadas, ou seja, em solos pouco permeáveis a resistência depende sempre da coesão do terreno, que corresponde à resposta imediata do solo, dado não existirem condições favoráveis à dissipação das pressões intersticiais.

No segundo caso, para solos com condições drenadas, consegue-se uma dissipação de pressões de um modo imediato para solos permeáveis.

De acordo com o EC7 em condições não drenadas o valor de cálculo da capacidade resistente do terreno pode ser determinado pela expressão:

$$R/A' = (\pi + 2) c_u b_c s_c i_c + q \quad (3-14)$$

Em que:

- Inclinação da base de Fundação: $b_c = 1 - \frac{2\alpha}{\pi + 2}$

- Geometria da Fundação:

- Retangular $s_c = 1 + 0,2 \frac{B'}{L'}$

- Quadrada ou Circular: $s_c = 1,2$

- Inclinação da carga devido à componente horizontal: $i_c = \frac{1}{2} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{H}{A'c_u}} \right]$

com $H \leq A'c_u$

Para condições drenadas o valor de cálculo da capacidade resistente do terreno é calculado a partir de:

$$R/A' = c' N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma \quad (3-15)$$

Em que:

- Capacidade resistente do Terreno:

$$N_q = e^{\pi \operatorname{tg} \varphi'} \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi'}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi'$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \operatorname{tg} \varphi'$$

- Inclinação da base da Fundação:

$$b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_c \operatorname{tg} \varphi'}$$

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \operatorname{tg} \varphi')^2$$

- Geometria da Fundação:

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \operatorname{sen} \varphi' \quad \text{Retangular;}$$

$$s_q = 1 + \operatorname{sen} \varphi' \quad \text{Quadrada ou circular;}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \frac{B'}{L'} \quad \text{Retangular;}$$

$$s_\gamma = 0,7 \quad \text{Quadrada ou circular;}$$

$$s_c = \frac{s_q N_q - 1}{N_q - 1} \quad \text{Quadrada ou circular;}$$

– Inclinação da carga devido à componente da força horizontal H:

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \operatorname{tg} \varphi'}$$

$$i_q = \left[1 - \frac{H}{V + A' c' \cot \varphi'} \right]^m$$

$$i_q = \left[1 - \frac{H}{V + A' c' \cot \varphi'} \right]^{m+1}$$

Em que:

$$m = m_B = \frac{2 + \frac{B'}{L'}}{1 + \frac{L'}{B'}} \quad \text{quando } H \text{ atua segundo a direção } B'$$

$$m = m_L = \frac{2 + \frac{L'}{B'}}{1 + \frac{L'}{B'}} \quad \text{quando } H \text{ atua segundo a direção } L'$$

Nota: Nos casos em que a componente horizontal atua numa direção que forma um ângulo θ com a direção de L' , m é determinado por:

$$m = m_\theta = m_L \cos^2 \theta + m_B \operatorname{sen}^2 \theta$$

Na Tabela 3-9 indicam-se alguns dos parâmetros em função do ângulo de atrito interno do solo respeitantes à capacidade resistente do terreno necessário a verificação das fundações.

Tabela 3-9 – Capacidade Resistente do Terreno

φ'	0°	10°	20°	25°	30°	32°	34°	36°	38°	40°	45°
N_q	1,00	2,47	6,40	10,66	18,40	23,18	29,44	37,75	48,93	64,20	134,87
N_c	5,14	8,34	14,83	20,72	30,14	35,49	42,16	50,59	61,35	75,31	133,87
N_γ	0,00	0,52	3,93	9,01	20,09	27,72	38,37	53,40	74,90	106,05	267,75

- **Deslizamento**

Para verificação da segurança ao deslizamento deve ser satisfeita a expressão 3-16:

$$H_d \leq R_{hd} + R_{p,d} \quad (3-16)$$

Em que:

H_d Valor de cálculo da força horizontal;

R_{hd} Valor de cálculo da força horizontal resistente mobilizada no contacto da fundação com o terreno;

$R_{p,d}$ Valor de cálculo da resistência lateral mobilizada com o movimento da sapata.

Nesta verificação considera-se que as sapatas estão impedidas de se movimentarem lateralmente, não se considerando a resistência lateral devido a esse movimento.

Tal como na verificação ao corte, também é necessário sempre considerar as condições não drenadas e drenadas dos solos de fundação.

Para condições não drenadas o valor de cálculo da força horizontal resistente mobilizada no contacto da fundação com o terreno, deve ser calculado considerando coeficientes parciais adequados às propriedades do terreno, ou em alternativa, aplicando um coeficiente parcial à capacidade resistente, com base nas seguintes expressões:

$$R_d = A' c_{u,d} \quad (3-17)$$

ou

$$R_d = \frac{A' c_{u,k}}{\gamma_{R,h}} \quad (3-18)$$

Para condições drenadas o valor de cálculo da força horizontal resistente mobilizada no contacto da fundação com o terreno, deve ser calculado aplicando coeficientes parciais às propriedades do terreno, ou em alternativa um coeficiente parcial à capacidade resistente a partir das expressões:

$$R_d = V'_d \operatorname{tg} \delta_d \quad (3-19)$$

ou

$$R_d = \frac{V'_d \operatorname{tg} \delta_k}{\gamma_{R,h}} \quad (3-20)$$

Na determinação do valor de V'_d devem-se considerar se os valores de H_d e V'_d são ações dependentes ou independentes.

→ Estados Limites de Serviço

○ Assentamentos

As fundações de uma estrutura podem sofrer diversos tipos de movimentos, como por exemplo, globais, diferenciais, rotações, distorções, etc. No caso de estruturas com fundações superficiais consideram-se admissíveis assentamentos globais da ordem dos 50 mm, sendo assentamentos

superiores admissíveis, desde que não existam rotações excessivas e o assentamento global da estrutura seja compatível com o seu normal funcionamento.

O cálculo de assentamentos é normalmente realizado recorrendo à teoria da elasticidade, sendo utilizados *softwares* apropriados para casos mais complexos, com os quais é possível considerar a interação entre as estruturas e os solos.

Na fundação da sapata do pilar metálico de suporte da estrutura da tela transportadora deste Projeto foi realizada a verificação dos assentamentos globais e diferenciais apresentado no Capítulo 6.

3.2.2.2 Resistência das Sapatas

Para efetuar o cálculo das armaduras das sapatas utilizam-se normalmente dois métodos, o método das bielas, que assenta num modelo treliça sendo a sua aplicação corrente na maior parte dos casos, no entanto em casos mais complexos torna-se mais exigente obrigando a um conhecimento mais correto do modelo a adotar, e o método das consolas que resume o cálculo das mesmas recorrendo a modelos de flexão, sendo este o método utilizado para este projeto.

◆ Estados Limites Últimos

○ Flexão

O dimensionamento das armaduras longitudinais da sapata teve em consideração as seguintes expressões:

Tabela 3-10 – Armaduras de Flexão

Armaduras	Expressões
Mínima	$A_{sw,min} = 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} d$ mas não inferior a $0,0013d$
Cálculo	$A_{sw} = \frac{M_{Ed}}{0,9 d f_{yd}}$
Máxima	$A_{sw,max} = 0,04 A_c$
Considerou-se $z = 0,9 d$	

○ Punçoamento

A verificação das fundações ao Punçoamento foi dispensado uma vez que estas são constituídas por sapatas rígidas.

◆ Estados Limites de Serviço

○ Fendilhação e Deformação

A verificação da fendilhação e da deformação foi realizada neste Projeto recorrendo ao Método Indireto indicado no EC2 e já apresentada neste Capítulo.

3.3 Elementos Metálicos – NP EN1993-1-1

Como já foi referido é a NP EN1993-1-1 que estabelece os critérios de dimensionamento das estruturas metálicas, incluindo o tipo de materiais, a durabilidade, a análise estrutural e os estados limites últimos e de utilização a considerar.

De entre os diversos capítulos do EC3 parte 1-1 convirá referir o capítulo 5, que além de indicar os requisitos relativos à análise estrutural, inclui também os critérios para a classificação das secções transversais.

Segundo o EC3 as secções transversais podem classificar-se em 4 classes tendo em conta a sua resistência e capacidade de rotação:

- Classe 1 - Secções transversais em que se pode formar uma rótula plástica, com a capacidade de rotação necessária para uma análise plástica, sem redução da sua resistência;
- Classe 2 - Secções transversais que podem atingir o momento resistente plástico, mas cuja capacidade de rotação é limitada pela encurvadura local;
- Classe 3 - Secções transversais em que a tensão na fibra extrema comprimida, calculada com base numa distribuição elástica de tensões, pode atingir o valor da tensão de cedência, mas em que a encurvadura local pode impedir que o momento resistente plástico seja atingido;
- Classe 4 - são as secções transversais em que ocorre a encurvadura local antes de se atingir a tensão de cedência numa ou mais partes da secção transversal.

De referir que a classe a atribuir a uma secção transversal é a classe mais elevada dos seus elementos.

As bases de projeto para o dimensionamento das estruturas de aço devem obedecer também às regras gerais indicadas na NP EN1990, sendo também necessário consultar outras normas, nomeadamente as respeitantes ao fabrico e montagem das estruturas.

A NP EN1993-1-1 define igualmente os coeficientes parciais de segurança de resistência dos elementos metálicos indicados na Tabela 3-11.

Tabela 3-11 – Coeficientes Parciais de Segurança - Resistência de Secções e Elementos.

Coeficiente parcial de segurança	Descrição	Valor
γ_{M0}	Resistência das secções transversais de qualquer classe.	1,0

3. Critérios de Dimensionamento

γ_{M1}	Resistência dos elementos em relação a fenómenos de encurvadura, avaliada através de verificações individuais de cada elemento.	1,0
γ_{M2}	Resistência à rotura de secções transversais tracionadas em zonas com furos de ligação.	1,25

3.3.1 Estados Limites Últimos

A verificação de resistência aos estados limites últimos de secções ou elementos é efetuada respeitando os coeficientes parciais de segurança atrás indicados e as expressões de dimensionamento incluídas nos pontos seguintes.

Na Tabela 3-12 resumem-se as várias verificações a realizar para secções e elementos metálicos.

Tabela 3-12 – Verificações - NP EN1993-1-1

Tipo de Elemento	Verificações de Resistência	Tipo de Esforço
Colunas/Tirantes	Secções Transversais	Tração
		Compressão
	Elemento - Coluna	Elementos Comprimidos
Vigas	Secções Transversais	Esforço Transverso
		Momento Fletor
		Flexão com Esforço Transverso
	Flexão Desviada	
Elemento	Elementos em Flexão	
Colunas-Viga	Secções Transversais	Compressão
		Esforço Transverso
		Momento Fletor
		Flexão com Esforço Transverso
		Flexão Composta
		Flexão composta com Esforço Transverso
	Flexão Desviada com Esforço Axial	
Elemento	Elementos em Flexão Composta com Compressão	

3.3.1.1 Resistência das Secções Transversais

O EC3 estabelece as expressões de dimensionamento consoante os diversos tipos de esforços de cálculo.

◇ Tração

A verificação de segurança à tração das secções transversais está indicada na Tabela 3-13.

Tabela 3-13 – Tração

$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$	Tipo de Secção	Bruta	$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{Mo}}$	
		Útil	Zona c/ furos	$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$
		Zona c/ furos (Ligações Categoria C)	$N_{t,Rd} = N_{net,Rd} = \frac{A_{net} f_y}{\gamma_{Mo}}$	

◇ Compressão

A verificação de segurança das secções transversais sujeitadas a esforços de compressão deve satisfazer as condições indicadas na Tabela 3-14.

Tabela 3-14 – Compressão

$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$	Classe de Secção	Classes 1,2 ou 3	$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{Mo}}$
		Classe 4	$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M0}}$

◇ Flexão

A verificação da resistência das secções transversais devido à flexão depende do tipo de classe da secção transversal. Assim, para as secções das classes 1 e 2, a resistência é calculada considerando o módulo de flexão plástico, enquanto nas secções das classes 3 e 4 se considera os módulos de flexão elástico e efetivo mínimos respetivamente.

Tabela 3-15 - Flexão Simples

$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$	da Secção	Classe 1 ou 2	$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{Mo}}$
------------------------------------	-----------	---------------	---

Classe 3	$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}}$
Classe 4	$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} f_y}{\gamma_{M0}}$

◇ **Esforço Transverso**

Junta-se na tabela a informação necessária para o dimensionamento das secções transversais.

Tabela 3-16 – Esforço Transverso

Classe da Secção	Classe 1 ou 2	$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$	$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / 3)}{\gamma_{Mo}}$
	Classe 3 ou 4	$\frac{\tau_{Ed}}{f_y (\sqrt{3} \gamma_{Mo})} \leq 1,0$	$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} S}{I t}$

◇ **Flexão com Esforço Transverso**

Quando as secções transversais estão sujeitas simultaneamente a flexão e a esforço transverso, os seus efeitos devem ser considerados na verificação da resistência das secções.

Nestes casos, o momento fletor resistente plástico deve ser reduzido sempre que o esforço transverso de cálculo seja superior a 50% do esforço transverso resistente.

Tabela 3-17 – Flexão com Esforço Transverso

$\frac{M_{Ed}}{M_{V,Rd}} \leq 1,0$		
$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,50$	V_{Ed} Sem significativo	$M_{V,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{Mo}}$
$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \geq 0,50$	V_{Ed} Significativo	$M_{V,Rd} = \frac{W_{pl} (1 - \rho) f_y}{\gamma_{Mo}}$ com $\rho = \left(\frac{2 V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$

◇ **Flexão Composta**

Na Tabela 3-18 estão indicadas as condições para a verificação de secções transversais sujeitas à flexão composta.

Tabela 3-18 – Flexão Composta

		$\frac{M_{Ed}}{M_{N,Rd}} \leq 1,0$	
Eixo y-y	Condições a verificar:	Verifica:	$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}}$
	$N_{Ed} \leq 0,25 N_{pl,Rd}$ e $N_{Ed} \leq \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}}$	Não Verifica:	$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \frac{1-n}{1-0,5 a}$
Eixo z-z	Condição a verificar:	Verifica:	$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}}$
	$N_{Ed} \leq \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}}$	$n \leq a$;	$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd}$
		Não Verifica:	$n > a$; $M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right]$
Em que:	$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$	$a = \frac{A - 2 b t_f}{A}$, $a \leq 0,5$	

Observação: As condições anteriores são apenas válidas para secções das classes 1 e 2. Para secções da classe 3 efetua-se uma análise de tensões, respeitando os critérios de “Von-Mises” ou de “Tresca”, de modo a garantir que as tensões de comparação nas fibras mais solicitadas sejam inferiores à tensão de cedência.

◇ **Flexão Composta com Esforço Transverso**

No caso de secções transversais sujeitas simultaneamente a esforço normal, esforço transverso e momento fletor, devem considerar-se simultaneamente todos estes esforços.

A verificação da flexão composta com esforço transverso é realizada de acordo com as formulações anteriores referentes à flexão composta, mas reduzindo a tensão resistente, e respeitando as condições utilizadas na flexão simples com esforço transverso através da expressão:

$$(1-\rho) f_y \quad \text{Em que } \rho = \left(\frac{2 V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

◇ **Flexão Desviada com Esforço Axial**

Nestes casos a verificação das secções transversais é realizada segundo:

Tabela 3-19 – Flexão Desviada com Esforço Axial

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1,0$$

Em que, para:

Secções em I ou H: $\alpha = 2$; $\beta = 5n$ mas $\beta \geq 1$

Secções circulares tubulares: $\alpha = \beta = 2$; $M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = M_{pl,Rd} (1 - n^{1,7})$

Secções retangulares tubulares: $\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13 n^2}$ mas $\alpha = \beta \leq 6$

$$\text{Sendo } n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

3.3.1.2 Resistência de Elementos à Encurvadura

Os fenómenos de encurvadura provenientes da compressão ou flexão provocam muitas vezes fenómenos de instabilidade que se caracterizam por deformações transversais e longitudinais.

Estas encurvaduras designam-se por varejamento nas colunas e bambeamento nas vigas.

◆ **Colunas**

Um elemento à compressão pode apresentar deformações com algum significado que podem por em causa a segurança destes elementos.

Nestes elementos, define-se como carga crítica, a carga a partir da qual ocorrem fenómenos de encurvadura.

Em estruturas metálicas o fenômeno de encurvadura toma uma importância acrescida, uma vez que a elevada resistência dos aços possibilita obter elementos com esbeltezas muito elevadas, sem que a resistência destes elementos fique comprometida.

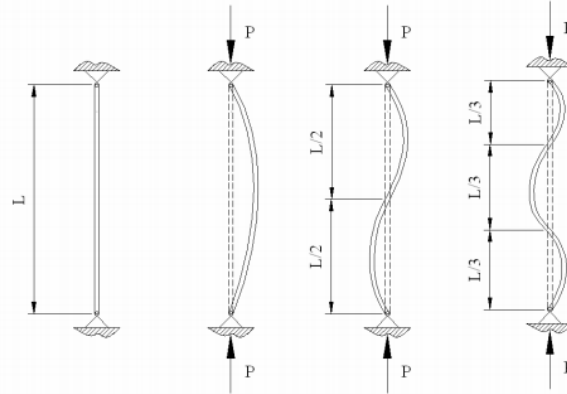


Figura 3-1 – Modos de Encurvadura – Coluna Biarticulada.

A verificação da resistência das colunas é realizada com base nas expressões de dimensionamento do EC3.

Embora a NP EN1993-1-1 não limite a esbelteza (λ) das colunas, aconselha-se que a mesma não ultrapasse valores superiores a 180, sendo que em elementos secundários de travamento este limite poderá atingir os 250.

Para estudar a encurvadura por compressão convirá ter presente alguns conceitos relacionados com a carga crítica de “Euler” de uma coluna perfeita que é calculada por:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

Com base no comprimento de encurvadura que corresponde à distância entre os pontos de inflexão da deformada é possível obter a tensão crítica a partir das expressões:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{AL_E^2} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}, \text{ com } \lambda = \frac{L_E}{i} \text{ e } i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

A determinação da esbelteza normalizada, $\bar{\lambda}$, que relaciona as esbeltezas λ e λ_1 , é obtida pela expressão:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1}, \text{ em que } \lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

A partir da esbelteza normalizada é possível verificar se o elemento é condicionado pela plastificação da secção ou pela encurvadura, ou seja para valores da esbelteza normalizada inferiores à unidade o dimensionamento do elemento depende da plastificação da secção, caso contrário pela encurvadura. A partir da Figura 3-2 é possível verificar estas considerações.

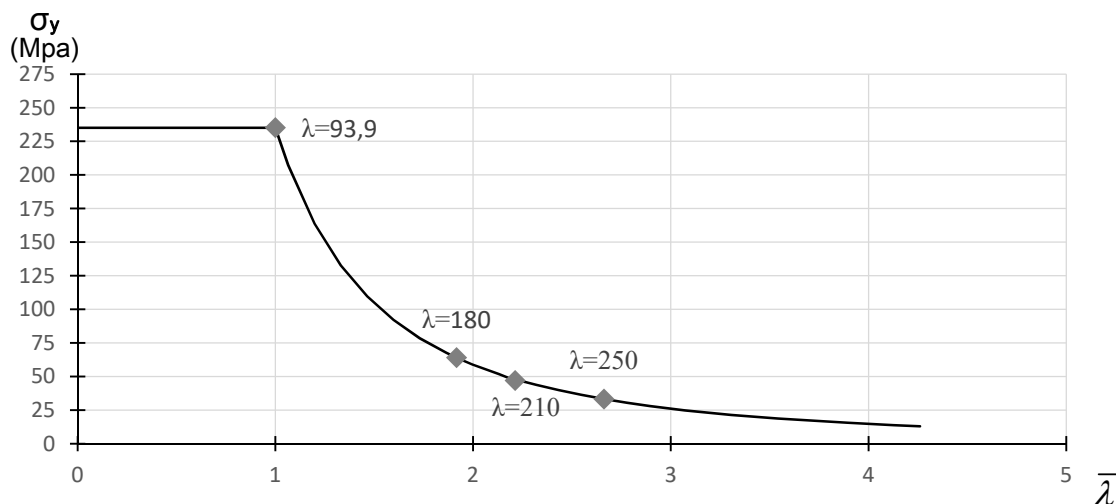


Figura 3-2 – Curva de Dimensionamento de uma Coluna Perfeita

Tabela 3-20 – Valores Máximos recomendados para a Esbelteza em Colunas

Tipo de Elemento	λ	$\bar{\lambda}$		
		S235	S275	S355
Elementos Principais	180	1,90	2,10	2,30
Elementos Secundários	250	2,60	2,90	3,20

As expressões seguintes mostram os critérios de verificação a aplicar em colunas definidos pelo EC3.

Tabela 3-21 – Colunas

$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$		
Condição a verificar:	Verifica:	Efeitos de encurvadura ignorados
$\bar{\lambda} \leq 0,2$ ou $\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq 0,04$	Não Verifica:	$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$
	Classe 1,2 e 3	
	Classe 4	$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$
Com:	$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1,0, \quad \Phi = 0,5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] \text{ e } \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}}$	

O valor do coeficiente “ α ” corresponde ao fator de imperfeição e é determinado com base no tipo de secção e do aço utilizado (ver Tabelas 3-22 e 4-23).

Tabela 3-22 – Curvas de Encurvadura

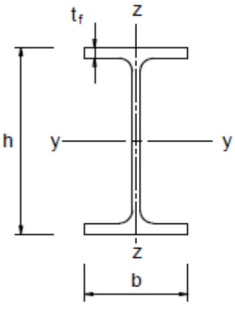
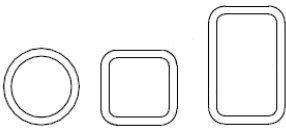
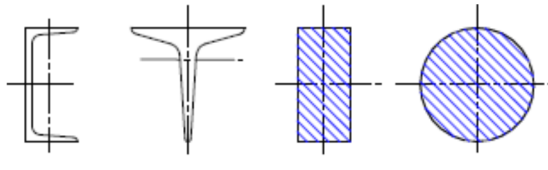
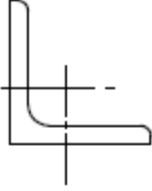
Secções Transversais	Relações Geométricas	Eixo de Encurvadura	Curva de Encurvadura		
			S235 S275 S355 S420	S460	
Perfis Laminados em I 	$h/b > 1,2$	y - y z - z	$t_f \leq 40$ mm	a a ₀	
			$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$ mm	b c	
	$h/b \leq 1,2$	y - y z - z	$t_f \leq 100$ mm	b c	
			$t_f > 100$ mm	d c	
	Secções Tubulares 	Acabadas a quente	Qualquer	a	a ₀
		Enformadas a frio	Qualquer	c	c
Perfis U, T e secções cheias 		Qualquer	c	c	
Cantoneiras 		Qualquer	b	b	

Tabela 3-23 – Fatores de Imperfeição (α)

Curva de Encurvadura	a ₀	a	b	c	d
Fator de Imperfeição	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

◆ Vigas

Em elementos sujeitos à flexão é necessário efetuar também a verificação da estabilidade lateral por flexão-torção que é designada por bambeamento.

Este tipo de instabilidade ocorre sobretudo em secções abertas com fraca rigidez de torção, mostrando-se na Figura 3-3 um exemplo da deformada de uma viga sujeita à encurvadura lateral.

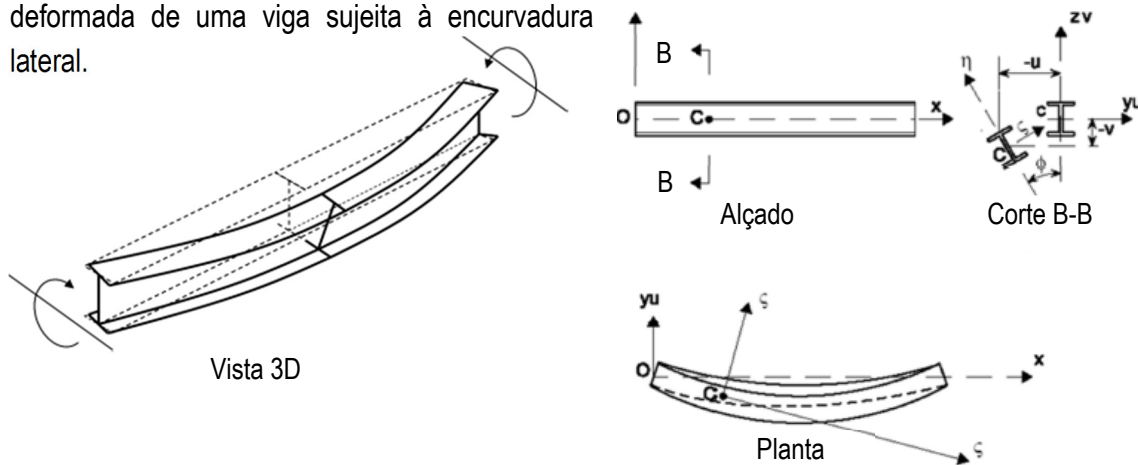


Figura 3-3 – Encurvadura Lateral

A encurvadura lateral por flexão-torção caracteriza-se pelas secções transversais das vigas sofrerem deslocamentos laterais (flexão em z) acompanhados por rotações em torno do eixo x (torção).

A verificação de segurança destes elementos é efetuada de acordo com as disposições indicadas na Tabela 3-24.

Tabela 3-24 – Vigas - Bambeamento

		$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$	
Condição a verificar:	Verifica:	Os efeitos de encurvadura lateral são ignorados	
$\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$ ou $\frac{M_{Ed}}{M_{cr}} \leq 0,16$	Não Verifica:	Classes 1 e 2	$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}}$
		Classe 3	$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{el,y} f_y}{\gamma_{M1}}$
		Classe 4	$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_{eff,y} f_y}{\gamma_{M1}}$
Em que:	$\chi = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1,0$; $\Phi_{LT} = 0,5[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$; $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$		

Os fatores de imperfeição correspondem aos indicados na Tabela 3-25.

Tabela 3-25 – Curvas de Encurvadura

Secção Transversal	Limites	Curva de Encurvadura
Secções em I laminadas	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b
Secções em I soldadas	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
Outras Secções	-	d

Tabela 3-26 – Fatores de Imperfeição

Curva de Encurvadura	a	b	c	d
Fator de Imperfeição	0,21	0,34	0,49	0,76

◆ Colunas-Viga

Os elementos sujeitos a flexão composta com compressão podem colapsar por encurvadura devido a esforços de compressão, e ou por encurvadura por flexão.

A NP EN1993-1-1 impõe que a verificação da segurança destes elementos deve ser feita a partir das expressões:

Tabela 3-27 – Colunas-Viga

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + K_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + K_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + K_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + K_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

Para determinar os fatores de interação k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} e k_{zz} a NP EN1993-1-1 dispõe de 2 Métodos:

- Método 1 – Franco-Belga
- Método 2 – Austro-Alemão

O EC3 não define as condições para a escolha do método, no entanto, o Método 1 é normalmente utilizado em elementos de secção bi-simétrica e o que fornece valores mais precisos requerendo no entanto um esforço de cálculo adicional devido aos muitos coeficientes auxiliares necessários, enquanto o Método 2 pode ser utilizado em qualquer secção, mais direto e compreensível e menos suscetível ao erro e por isso na pratica é o Método mais utilizado.

Na Tabela 3-28 indicam-se as expressões que permitem calcular os fatores de interação em elementos não suscetíveis à deformação por torção.


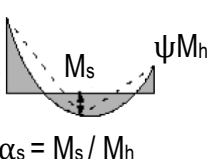
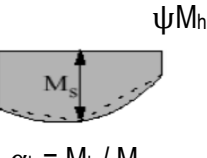
Tabela 3-28 – Fatores de Interação k_{ij}

Fatores de interação	Tipo de Secções	Expressões Gerais	
		Secções das Classes 1 e 2	Secções das Classes 3 e 4
K_{yy}	Secções em I e Secções tubulares retangulares	$C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
		$\leq C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$\leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
K_{yz}		K_{zz}	$0,6 K_{zz}$
K_{zy}		$0,8 K_{yy}$	$0,6 K_{yy}$
K_{zz}	Secções em I	$C_{mz} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	Secções tubulares retangulares	$\leq C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$\leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
			$C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
			$\leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$

Notas:

- 1 - Em secções I, H e tubulares retangulares submetidas a compressão axial e a flexão $M_{y,Ed}$ o fator K_{zy} poderá ser considerado igual a zero.
- 2 - Os coeficientes de momento uniforme equivalente C_m são calculados pelas expressões indicadas na Tabela 3-29.

Tabela 3-29 – Coeficientes de Momento Uniforme Equivalente C_m .

Diagrama de momentos	Domínio de aplicação		C_{my} , C_{mz} e C_{mLT}	
			Carga uniforme	Carga concentrada
 ψM	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
 $\alpha_s = M_s / M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$-1 \leq \psi \leq 0$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
		$0 \leq \psi < 1$	$0,1(1 - \psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
 $\alpha_h = M_h / M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$-1 \leq \psi \leq 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$0 \leq \psi < 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h (1 + 2\psi)$	$0,90 + 0,10\alpha_h (1 + 2\psi)$

Em elementos com modos de encurvadura associados a deslocamentos laterais o coeficiente de momento uniforme equivalente é igual a $C_{my} = 0,9$ ou $C_{mz} = 0,9$, respetivamente.

Os coeficientes C_{my} , C_{mz} e C_{mLT} são obtidos a partir dos diagramas de momentos fletores entre as secções travadas, tendo em atenção:

Coeficiente de Momento	Eixo de Flexão	Travamento na direção
C_{my}	y-y	z-z
C_{mz}	z-z	y-y
C_{mLT}	y-y	y-y

3.3.2 Estados Limites de Serviço

A verificação de segurança em relação aos estados limites de serviço está relacionada com o controle as deformações (flechas, verticais e horizontais) e também com as vibrações.

Os limites máximos das deformações e vibrações dependem do tipo de estrutura e da sua finalidade e são impostos muitas vezes pelo dono de obra.

◆ Deslocamentos Verticais

A NP EN1993-1-1 define os valores máximos recomendados para os deslocamentos verticais.

Na Figura 3-4 e na equação 3-21 são apresentados os critérios utilizados no cálculo das flechas.

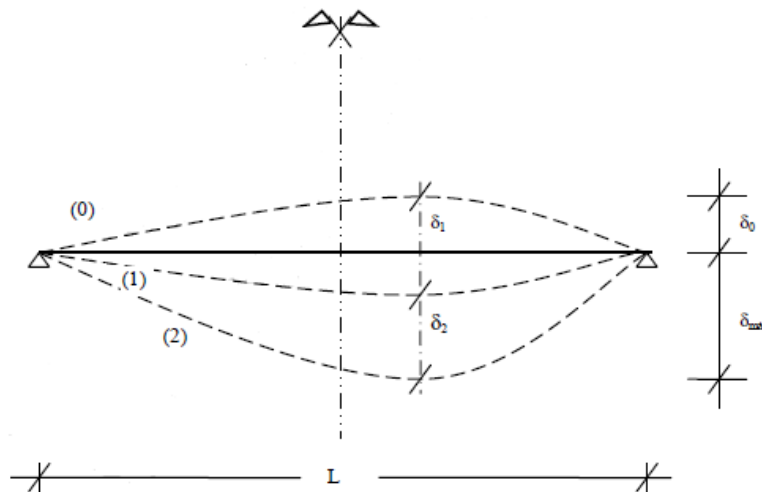


Figura 3-4 – Deslocamentos Verticais - Viga Simplesmente Apoiada

$$\delta_{\max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0 \quad (3-21)$$

Os limites máximos recomendados pela NP EN1993-1-1 são os seguintes.

Tabela 3-30 – Valores Máximos - Deslocamentos Verticais

Condições	Limites	
	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 afetar o aspeto do edifício	L/250	-

NOTA: No caso geral L representa o vão da viga. No caso em vigas em consola L representa duas vezes o vão da consola.

◆ **Deslocamentos Horizontais**

O EC3 define também os valores para os deslocamentos horizontais que devem ser considerados segundo a Figura 3-5 e os seus limites máximos constam na Tabela 3-31.

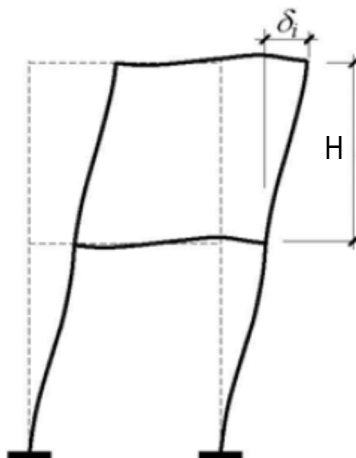


Figura 3-5 – Deslocamento Horizontal de um Pórtico

Tabela 3-31 – Valores Máximos - Deslocamentos Horizontais

Condições	δ_{\max}
Pórticos sem aparelhos de elevação	H/150
Outros edifícios de um só piso	H/300
Em edifícios de vários pisos:	
- Em cada piso	H/300
- Na estrutura globalmente	H ₀ /500

3.4 Ligações Metálicas

As ligações dos elementos metálicos podem ser asseguradas na maior parte dos casos recorrendo a ligações soldadas ou aparafusadas

Os coeficientes parciais de segurança a utilizar nas verificações de segurança das ligações são segundo a NP EN 1993-1-8 os indicados na Tabela 3-32.

Tabela 3-32 – Coeficientes Parciais de Segurança

Coeficiente Parciais de Segurança	Tipo	Valor
γ_{M2}	Resistência dos parafusos, rebites, cavilhas, soldaduras e chapas ao esmagamento.	1,25
γ_{M3}	Resistência ao esmagamento em estado limite último.	1,25
$\gamma_{M3,ser}$	Resistência ao esmagamento em estado limite de serviço.	1,10

3.4.1 Ligações Soldadas

No caso das ligações soldadas é necessário assegurar que o comprimento e a espessura dos cordões das soldaduras sejam suficientes para resistir aos esforços de cálculo, sendo o dimensionamento destas ligações realizado através do Método Simplificado indicado no EC3 parte 8 cujas expressões estão resumidas na Tabela 3-33.

Tabela 3-33 – Resistência de uma Ligação Soldada

$$\frac{F_{w,Ed}}{F_{w,Rd}} \leq 1,0$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} = \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} a$$

3.4.2 Ligações Aparafusadas

Nas ligações aparafusadas é necessário garantir não só a resistência dos parafusos mas também a dos restantes elementos que compõem as ligações.

As classes dos parafusos, tensões resistentes e de rotura utilizadas no Projeto estão indicadas na Tabela 3-34.

Tabela 3-34 – Tensão de Cedência e de Rotura - Parafusos

Classes	4.6	5.6	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm ²)	240	300	640	900
f_{ub} (N/mm ²)	400	500	800	1000

De referir que o EC3 considera para as ligações aparafusadas 5 categorias classificadas de A a E.

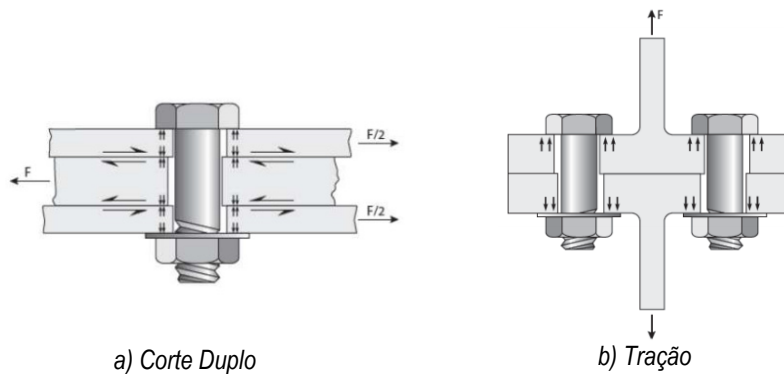


Figura 3-6 – Tipos de Ligações Aparafusadas

Nas Tabelas 3-35 e 3-36 são apresentados os critérios de dimensionamento para as diferentes categorias de ligações.

As ligações deste Projeto foram calculadas de acordo com o EC3 parte 1-8 a partir do *software* “*Robot Structural Analysis*”.

Tabela 3-35 – Categorias de Ligações Aparafusadas

Categoria	Crítérios	Observações
Ligações ao Corte		
A Corte e Esmagamento	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Parafusos de Classes 4.6 a 10.9
B Escorregamento Estado Limite de Utilização	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Parafusos pré-esforçados das Classes 8.8 ou 10.9
C Escorregamento Estado Limite Último	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\sum F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Parafusos pré-esforçados das Classes 8.8 ou 10.9
Ligações à Tração		
D Não Pré-Esforçada	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Parafusos de Classes 4.6 a 10.9
E Pré-Esforçada	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Parafusos pré-esforçados das Classes 8.8 ou 10.9

3. Critérios de Dimensionamento

Tabela 3-36 – Resistência Individual de Peças de Ligação ao Corte e/ou à Tração

Categoria	Resistência	Verificações
A – Ligações Correntes	Corte por plano de corte	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} \geq F_{v,Ed}$
	Esmagamento	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} \geq F_{v,Ed} \quad \alpha_b = \min \left\{ \frac{e_1}{3 d_0}; \frac{p_1}{3 d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\}$
B – Escorregamento em Estado Limite de Utilização	Escorregamento E.L.Utilização	$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3,ser}} F_{p,C} \geq F_{s,Ed}$ com $F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s$
	Esmagamento E.L.Último	$F_{v,Rd} \geq F_{v,Ed}$ $F_{b,Rd} \geq F_{v,Ed}$
C – Escorregamento em Estado Limite Último	Escorregamento E.L.Último	$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C} \geq F_{s,Ed}$ com $F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s$
	Esmagamento E.L.Último	$F_{v,Rd} \geq F_{v,Ed}$ $F_{b,Rd} \geq F_{v,Ed}$
D e E – Ligações à Tração	Tração	$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \geq F_{t,Ed}$
	Punçoamento	$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}} \geq F_{t,Ed}$
Combinação de Corte com Tração	Corte e tração	$F_{v,Rd} \geq F_{v,Ed}$ $F_{t,Rd} \geq F_{t,Ed}$
	Combinação	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$
	Ligação Categoria B	$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu (F_{p,C} - 0,8 F_{t,Ed,ser})}{\gamma_{M3,ser}} \geq F_{s,Ed}$
	Ligação Categoria C	$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu (F_{p,C} - 0,8 F_{t,Ed})}{\gamma_{M3}} \geq F_{s,Ed}$

4 Materiais, Ações e Combinação de Ações

4.1 Materiais

Neste Projeto foram utilizados nas estruturas metálicas os aços indicados na Tabela 4-1.

Tabela 4-1 – Tipo de Aços

Elementos Estruturais	Classe de Resistência
Perfis e chapas de ligação	S235 S275
Parafusos	10.9
Porcas	10
Anilhas	10

Tabela 4-2 - Valores Nominais das Tensões de Cedência f_y e Última f_u à Tração

Norma e Classe de Aço	Espessura Nominal t do componente da secção [mm]			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
	f_y [MPa]	f_u [MPa]	f_y [MPa]	f_u [MPa]
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	490	335	470

Tabela 4-3 – Propriedades dos Aços

Propriedades do aço	
E [GPa]	210
G [GPa]	81
ν	0,3
α [°C ⁻¹]	12×10^{-6}
γ [KN/m ³]	77

Relativamente às estruturas de betão armado para os plintos e fundações utilizou-se o betão da classe C30/37 e o aço A500NR cujas características constam das Tabelas 4-4 e 4-5.

Tabela 4-4 – Betão C30/37

f_{ck} [MPa]	30,0
f_{cd} [MPa]	20,0
f_{ctm} [MPa]	2,9
E_{cm} [GPa]	33,0
ν	0,2
γ [KN/m ³]	25,0

Tabela 4-5 – Aço A500 NR

f_{yk} [MPa]	500
f_{yd} [MPa]	435
f_u [MPa]	550
E_s [GPa]	200
γ_s [KN/m ³]	78,5

A classe de exposição considerada foi a XC4 válida para ambientes húmidos e raramente secos de acordo com os requisitos que constam da Norma EN 206-1.

4.2 Ações e Quantificação das Ações

As ações consideradas neste Projeto são classificadas segundo a NP EN1990 em duas categorias:

- Permanentes;
- Variáveis.

As ações permanentes compreendem o peso próprio da estrutura, dos guarda-corpos e o peso dos pavimentos.

Na categoria das ações variáveis inclui-se o vento, a variação de temperatura e o sismo.

A quantificação das diferentes ações foi feita com base nas indicações da Tabela 4-6.

Tabela 4-6 – Ações – Regulamentação

Tipo de Ação	Norma
Peso Próprio	
Restante Carga Permanente	NP EN 1991-1-1
Sobrecarga	
Vento	NP EN 1991-1-4
Variação de Temperatura	NP EN 1991-1-5
Sismo	NP EN 1998-1

4.2.1 Ações Permanentes

As ações permanentes compreendem:

- PP – Peso próprio;
- RCP – Restante Carga Permanente.

4.2.1.1 Peso Próprio

A ação peso próprio teve em conta o peso volúmico dos materiais utilizados nos elementos estruturais e foi obtido de modo direto pelo *software* de cálculo automático utilizado.

Tabela 4-7 – Pesos Volúmicos dos Materiais

Betão armado	25,0 KN/m ³
Aço dos perfis metálicos	77,0 KN/m ³

O peso total da estrutura metálica obtido do pré-dimensionamento (capítulo 5) foi de 171 kN.

4.2.1.2 Restantes Carga Permanentes

Nas restantes cargas permanentes incluíram-se os pesos de todos os elementos não estruturais da estrutura, tais como Escadas e Pavimentos, Rolos e Tela, Guarga Corpos e Equipamentos de Motorização, cujos valores constam da Tabela 4-8.

Tabela 4-8 – Restantes Cargas Permanentes

Pavimentos	0,4 KN/m ²
Rolos e Tela	1,15 KN/m
Guarda Corpos	0,2 KN/m
Equipamentos de Motorização	30 KN

Todas estas ações foram introduzidas no ficheiro de dados do *software* que foi utilizado na determinação dos esforços, das flechas e no dimensionamento.

◆ Pavimentos

O peso do pavimento considerado foi obtido através do catálogo do fornecedor e aplicado nas longarinas conforme se indica na Tabela 4-9 e nas figuras seguintes.

Tabela 4-9 – Peso do Pavimento

Elemento	Carga (kN/m ²)	Largura de Influência (m)	Carga (kN/m)
Longarinas Tramo Inclinado	0,4	0,81	0,16
Longarinas Tramo Horizontal	0,4	1,58	0,32

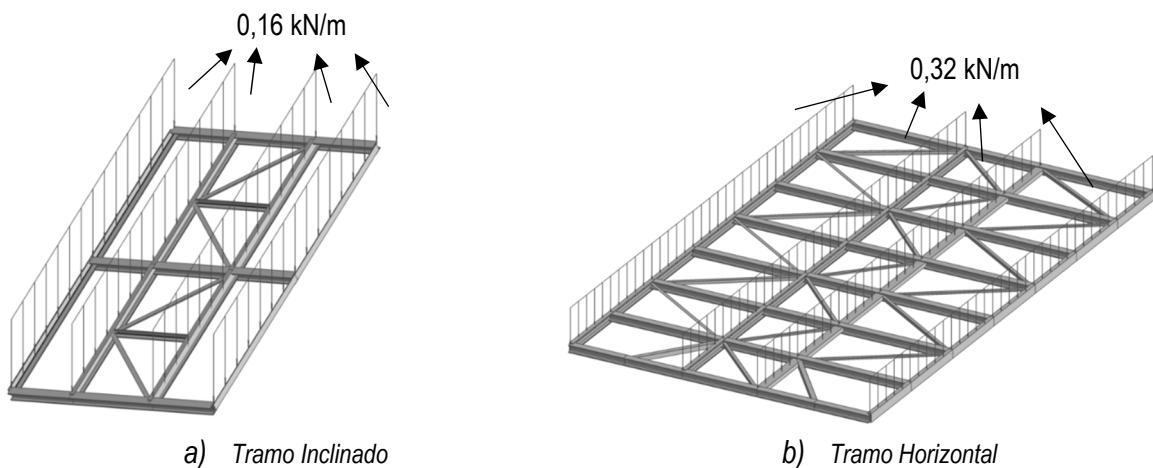


Figura 4-1 – Peso dos Pavimento

◆ **Rolos e Tela**

Os rolos e a tela transportadora apoiam nas travessas do painel superior do caixão treliçado e a sua carga é igual a 1,15 kN/m. De referir, que as cargas nas travessas não apresentam todas os mesmos valores, uma vez que variam em função da largura de influência.

Na Tabela 4-10 e na Figura 4-2 estão indicadas todas estas ações.

Tabela 4-10 – Peso dos Rolos e da Tela

Elemento	Carga (kN/m)	Largura de Influência (m)	Vão da travessa (m)	Carga (kN/m)
Travessas do Tramo Inclinado	1,15 x	0,60	/ 1,05 =	0,66
		1,20		1,31
		1,10		1,20
		1,00		1,10
		0,93		1,02
		0,86		0,94
		0,89		0,97
		0,91		1,00
Travessas do Tramo Horizontal	1,15 x	1,35	/ 1,05 =	1,47
		1,40		1,53
		1,04		1,14
		1,06		1,16
		0,99		1,09
		0,47		0,51

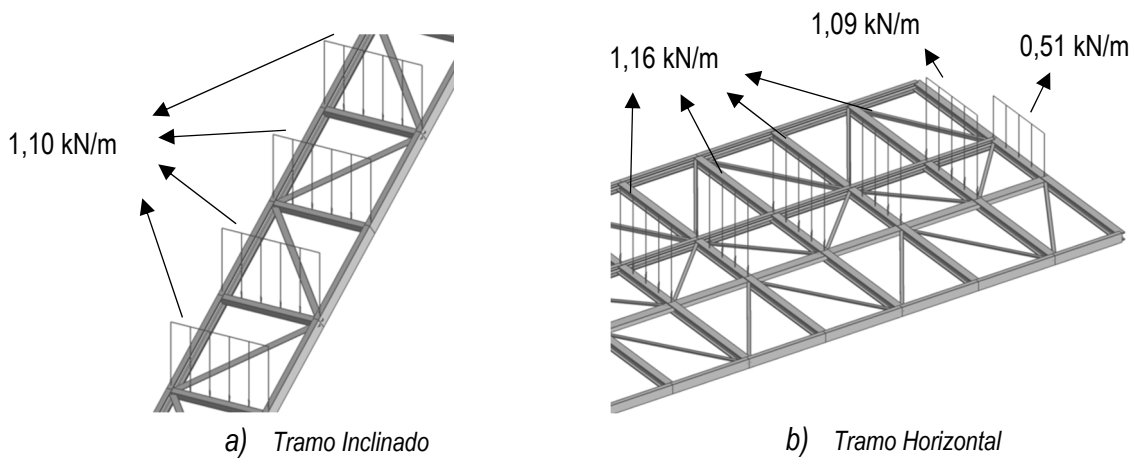


Figura 4-2 – Peso dos Rolos e da Tela

◆ Guarda-corpos

Os guarda-corpos pesam 0,2 kN/m e estão ligados às longarinas exteriores das passerelles.

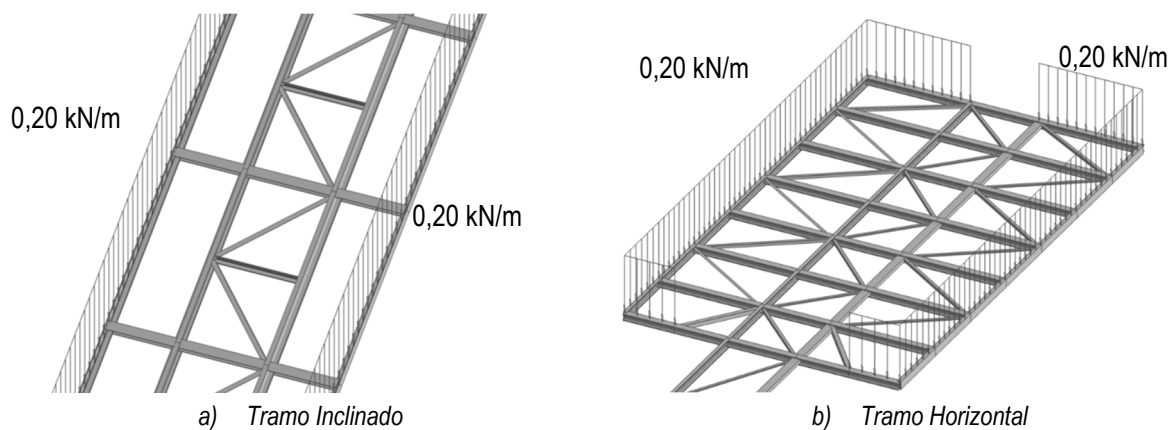


Figura 4-3 - Peso dos Guarda Corpos

◆ Equipamentos de Motorização

Os pesos destes equipamentos foram fornecidos pelo dono de obra.

Estas ações foram aplicadas no tramo horizontal da viga treliçada conforme se mostra na Figura 4-4, sendo consideradas como cargas pontuais aplicadas nos nós..

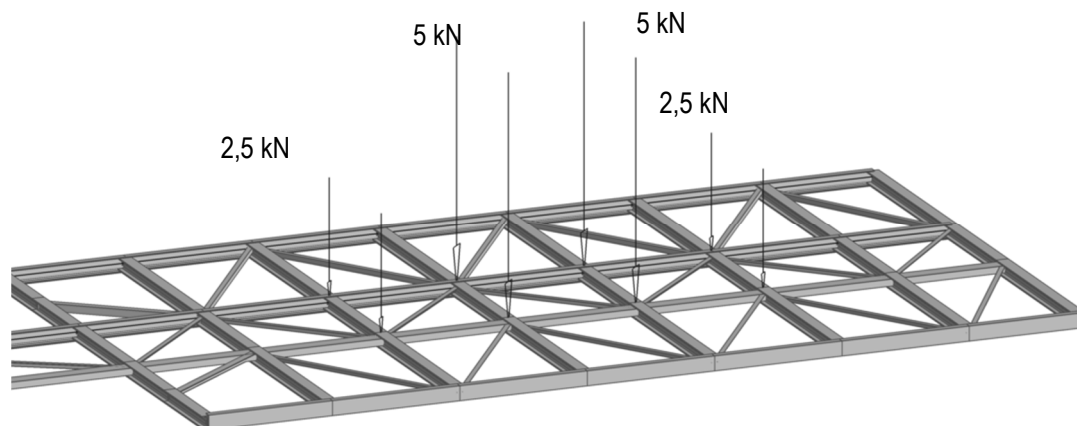


Figura 4-4 - Peso dos Equipamentos de Motorização [Fonte: RSA]

4.2.2 Ações Variáveis

As ações variáveis consideradas foram:

- SOB – Sobrecargas;
- T – Variação da Temperatura;
- W – Vento;
- E – Sismo.

4.2.2.1 Sobrecargas

As sobrecargas consideradas incluem as ações nos pavimentos e na tela e os seus valores estão indicados na tabela seguinte.

Tabela 4-11 - Sobrecargas

Pavimentos	2 KN/m ²
Material a transportar	1 KN/m

Estas ações foram também consideradas nos ficheiros de dados do *software* de dimensionamento.

◆ Pavimentos

Os valores da sobrecarga para os pavimentos foram:

Tabela 4-12 – Peso dos Pavimento

Elemento	Carga (kN/m ²)	Largura de Influência (m)	Carga (kN/m)
Longarinas do Tramo Inclinado	2,00	0,81	0,81
Longarinas do Tramo Horizontal	2,00	1,58	1,58

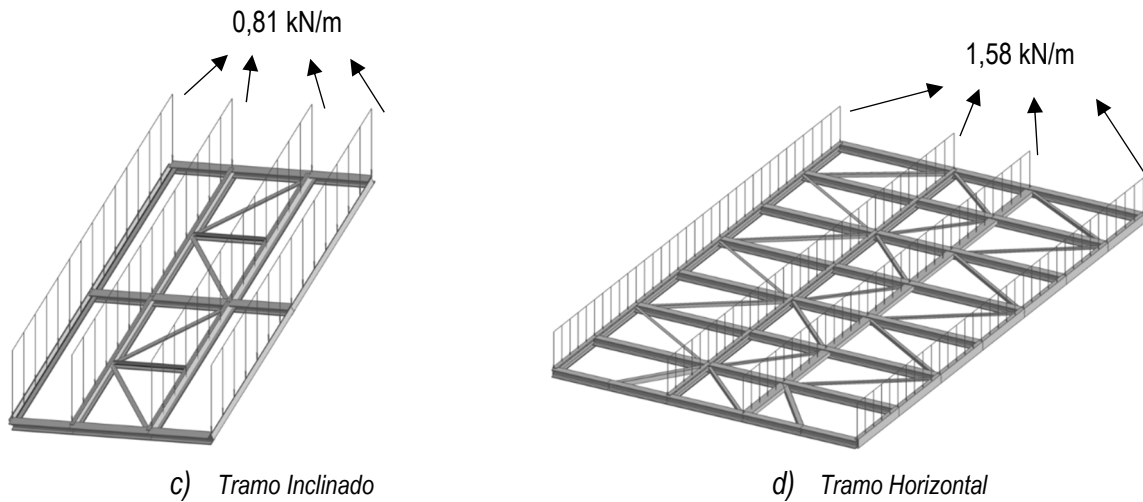


Figura 4-5 – Peso dos Pavimentos

◆ **Material Transportado**

A sobrecarga correspondente ao material que circula sobre a tela aplicou-se da mesma forma que as ações anteriores.

Tabela 4-13 – Pesos dos Rolos e da Tela

Elemento	Carga (kN/m)	Largura de Influência (m)	Vão da travessa (m)	Carga (kN/m)
Travessas do Tramo Inclinado	1,00 x	0,60	/ 1,05 =	0,57
		1,20		1,14
		1,10		1,05
		1,00		0,95
		0,93		0,89
		0,86		0,82
		0,89		0,84
		0,91		0,87
Travessas do Tramo Horizontal	1,00 x	1,35	/ 1,05 =	1,28
		1,40		1,33
		1,04		1,00
		1,06		1,01
		0,99		0,95
		0,47		0,44

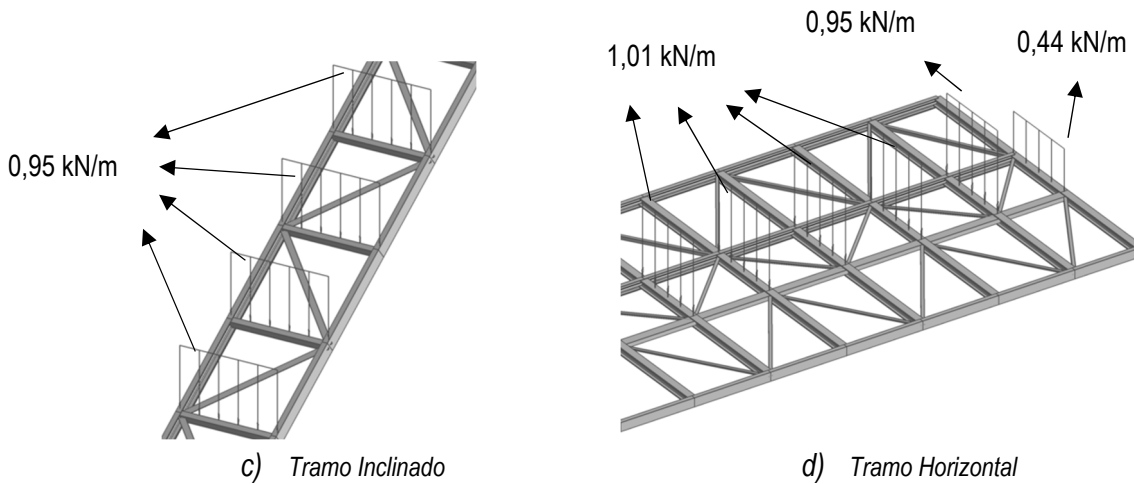


Figura 4-6 – Peso dos Rolos e da Tela

4.2.2.2 Variação da Temperatura

A norma NP EN1991-1-5 define para a temperatura os seguintes casos:

- a) Variação Uniforme de temperatura, ΔT_u ;
- b) Variação Diferencial de temperatura, ΔT_M ;

Neste Projeto em virtude de se tratar de uma estrutura sem revestimentos foi considerada apenas a variação uniforme de temperatura, ΔT_u , que segundo o EC1 é calculada por:

$$\Delta T_u = T - T_0 \quad (4-1)$$

As temperaturas mínimas e máximas são estabelecidas através de zonas térmicas de inverno e verão definidas no território nacional, conforme se mostra na Figura 4-7, sendo ainda corrigidas consoante a cota do terreno onde a estrutura é construída.

Essa correção é obtida pelas expressões 4-2 e 4-3 para a temperatura mínima de inverno e para a temperatura máxima de verão respetivamente.

$$T_{\min} = T - \frac{5}{1000} H \quad (4-2)$$

$$T_{\max} = T - \frac{1}{100} H \quad (4-3)$$

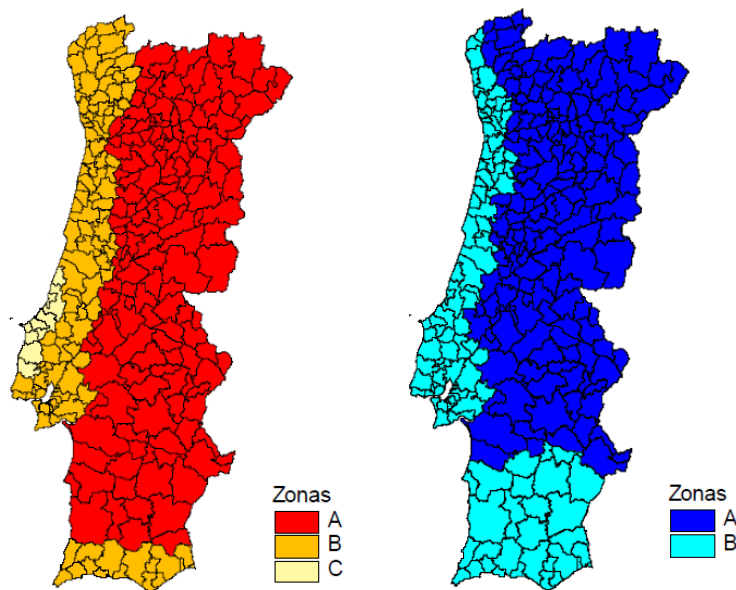


Figura 4-7- Zonas Térmicas de Verão e de Inverno

Tabela 4-14 – Zonamento Térmico

Zonas	Temperaturas de Inverno	Temperaturas de Verão
	T_{min}	T_{max}
Zona A	-5° C	45° C
Zona B	0° C	40° C
Zona C	5° C	35° C

Nota: A temperatura de Inverno da zona C corresponde à temperatura do arquipélago dos Açores e do arquipélago da Madeira.

De referir, que em relação à temperatura máxima de Verão esta poderá ainda sofrer ainda um acréscimo consoante a cor da superfície dos revestimentos exteriores, conforme se indica na tabela seguinte.

Tabela 4-15 – Acréscimo de Temperatura devido à absorvidade das superfícies

Fator Significativo	Acréscimo de Temperatura T_i
Superfície clara brilhante	0° C
Superfície de cor clara	2° C
Superfície de cor escura	5° C

As expressões 4-4 e 4-5 permitem determinar a variação uniforme de temperatura tendo em consideração todos os parâmetros anteriores.

$$\Delta T_u^+ = T_{\max} + T_i - \frac{1}{1000} H - T_0 \quad (4-4)$$

$$\Delta T_u^- = T_{\min} - \frac{5}{1000} H - T_0 \quad (4-5)$$

Na Tabela 4-16 resumem-se os valores considerados para a temperatura no cálculo da estrutura deste Projeto.

Tabela 4-16 Variações Uniformes da Temperatura

	Inverno	Verão
Zona	B	
Cota de implantação (m)	150,00	150,00
T0	15°	15°
Tmin / Tmax	0°	40°
Ti	0°	5°
T	-1°	44°
ΔT	-16°	29°

4.2.2.3 Vento

O vento é uma ação dinâmica que origina pressões nas estruturas que podem ser consideradas como forças estáticas atuando perpendicularmente às superfícies e em estruturas que incluem elementos planos de grandes áreas o vento provoca também forças de atrito consideráveis.

Segundo a NP EN1991-1-4, as forças do vento podem ser determinadas com base em coeficientes de força ou de pressão e no caso da estrutura metálica a ação do vento foi determinada a partir dos coeficientes de força, uma vez que os elementos que compõem esta estrutura são constituídos apenas por barras.

A ação do vento nas construções depende de um conjunto de outros parâmetros, tais como:

- Velocidade do vento;
- Geometria da construção;
- Características dinâmicas da estrutura.

Com base nestes parâmetros é possível quantificar a força do vento (F_w) a partir da expressão:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (4-6)$$

Na Tabela 4-17 apresenta-se toda a informação utilizada no cálculo da força do vento a partir da expressão 4-6.

Tabela 4-17 – Parâmetros necessários ao estudo da Ação do Vento.

Parâmetros	Referência do EC1-4
Pressão dinâmica de pico - $q_p(z_e)$	
- Valor de referência da velocidade do vento - v_b	4.2(2)
- Altura de referência - z_e	Secção 7
- Categoria de terreno	Quadro 4.1
- Valor característico da pressão dinâmica de pico - q_p	4.5(1)
- Intensidade de turbulência - I_v	4.4
- Velocidade média do vento - v_m	4.3.1
- Coeficiente de orografia - $c_0(z)$	4.3.3
- Coeficiente de rugosidade - $c_r(z)$	4.3.2
Coeficiente de força - c_f	7.11 (1)
- Coeficiente de força para estruturas treliçadas sem efeitos de extremidade - $c_{f,0}$	Figuras 7.33 a 7.35
- Coeficiente de efeitos de extremidade - ψ_λ	7.13
- Índice de cheios - ρ	7.11(2)
Área de referência - A_{ref}	7.11(3)
Coeficiente estrutural - $c_s c_d$	Secção 6
- Altura de referência - z_s	Figura 6.1
- Fator de pico - k_p	B2 (3)
- Intensidade de turbulência - I_v	4.4
- Coeficiente de resposta quase-estática - B^2	B2 (2)
- Coeficiente de resposta em ressonância - R^2	B2 (5)

Nota: A restante informação necessária ao estudo da ação do vento será apresentada nos cálculos justificativos.

- **Pressão Dinâmica de Pico**

O primeiro passo para determinar a força do vento é identificar a zona de implantação das estruturas necessária para se obter as velocidades de referência do vento. Na Tabela 4-18 indicam-se as velocidades de referência correspondentes às 2 zonas que o EC1 considera:

Zona A – Abrange todo o território nacional excetuando as regiões que pertencem à zona B;

Zona B – Compreende os arquipélagos dos Açores e da Madeira e as regiões do continente situadas numa faixa costeira com 5 km de largura ou a altitudes superiores a 600 m.

4. Materiais, Ações e Combinação de Ações

Tabela 4-18 – Valor Básico da Velocidade de Referência do Vento

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

Além da identificação das zonas é também necessário caracterizar o local de implantação das estruturas tendo em conta a categoria do terreno. Os elementos informativos necessários para este estudo constam do EC1 estão resumidos na Tabela 4-19.

Tabela 4-19 – Categoria de Terreno.

Zonas	Comprimento de Rugosidade - z_0 [m]	Altura Mínima 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

Um dos fatores que influenciam a pressão dinâmica de pico é velocidade do vento que varia em função da altura, tendo sido necessário dividir a Estrutura em 3 troços tendo-se considerado para cada troço as alturas de referência indicadas na Figura 4-8.

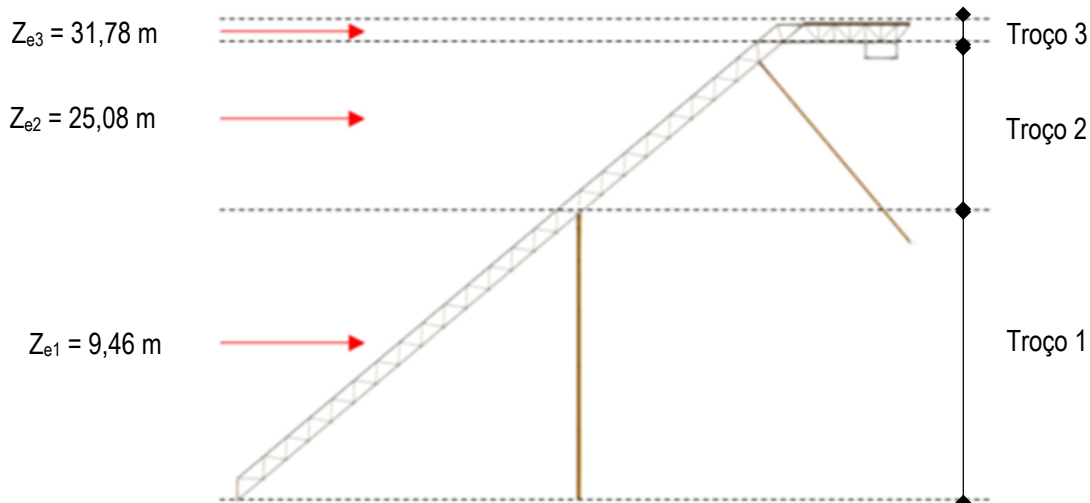


Figura 4-8 – Troços - Alturas de Referência

A velocidade de referência do vento é calculada a partir de:

$$V_b = C_{dir} C_{season} V_{b,0} \quad (4-7)$$

A partir da velocidade de referência do vento é possível determinar a velocidade média do vento a uma altura z acima do solo pela expressão:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot V_b \quad (4-8)$$

O coeficiente de rugosidade é calculado pelas expressões:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0} \text{ para } z_{min} \leq z \leq 200m \quad (4-9)$$

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} \quad (4-10)$$

Nota: Para valores de z inferiores a z_{min} o coeficiente de rugosidade é considerado z_{min} .

Foi também necessário considerar a turbulência do vento cuja intensidade é igual ao quociente entre o desvio padrão da turbulência e a velocidade média do vento, obtido a partir das expressões:

$$\sigma_v = k_r v_b k_t \quad (4-11)$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m} \quad (4-12)$$

Nota: Considerou-se para o coeficiente de turbulência k_t o valor de 1,0 segundo as recomendações do EC1.

Com a determinação dos parâmetros anteriores é possível determinar a pressão dinâmica de pico:

$$q_p(z) = [1 + 7 I_v(z)] \frac{1}{2} \rho v_m^2(z) \quad (4-13)$$

Com $\rho = 1,25 \text{ Kg/m}^3$ (Massa volúmica do ar)

- **Coeficiente de Força**

Os coeficientes de força são variáveis que dependem do tipo de estrutura e da direção do vento.

Neste Projeto consideraram-se os coeficientes de força referentes às estruturas treliçadas e aos elementos estruturais de secção com arestas vivas.

O coeficiente de força para estruturas treliçadas de cordas paralelas obtém-se a partir da expressão:

$$C_f = C_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (4-14)$$

A determinação do coeficiente de força em estruturas treliçadas sem efeitos de extremidade obtêm-se através do ábaco da Figura 4-10, no caso de estruturas treliçadas espaciais constituídas por perfis de secção angulara, ou em alternativa, através do ábaco da Figura 4-11 para o caso de estruturas trianguladas planas constituídas por perfis de secção angulara.

Em qualquer destes casos é necessário determinar o índice de cheios no plano da estrutura calculado com base nos elementos indicados na Figura 4-9 utilizando a seguinte relação:

$$\varphi = \frac{A}{A_c} \quad (4-15)$$

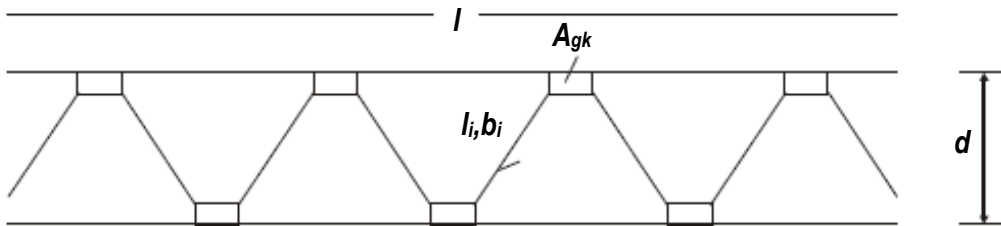


Figura 4-9 – Estruturas Treliçadas [adaptado EC3]

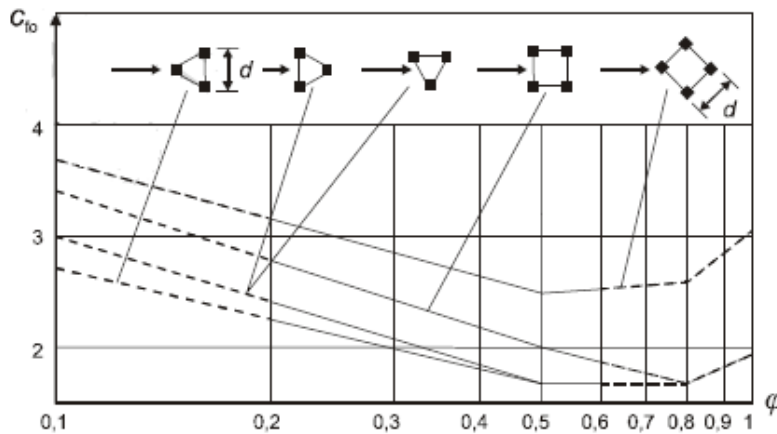


Figura 4-10 – Coeficiente de Força em Estruturas Treliçadas Espaciais de Perfis de Secção Angulara [adaptado EC3].

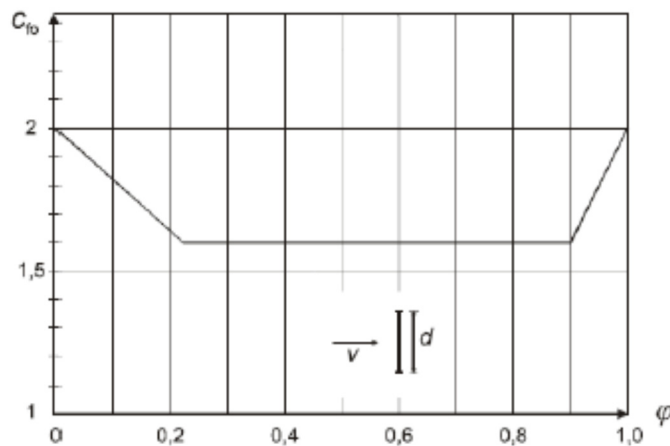


Figura 4-11 – Coeficientes de Força para Estruturas Treliçadas Planas de Perfis de Secção Angulara [adaptado EC3].

Os coeficientes de efeito de extremidade são determinados a partir do ábaco da figura seguinte sendo necessário para isso determinar o índice de cheios e a esbelteza efetiva, que é a relação entre o comprimento e a altura do elemento segundo as condições indicadas na Tabela 4-20.

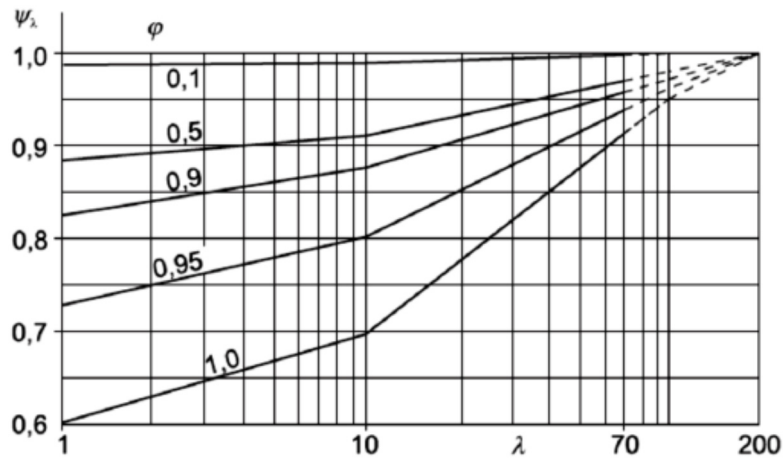


Figura 4-12 – Coeficiente de Efeito de Extremidade [adaptado EC3].

Tabela 4-20 – Posição das Estruturas - Esbelteza Efetiva

Nº	Vento perpendicular ao plano da figura	Esbelteza Efetiva
1		$\lambda = l/b$
2		$\lambda = 2 l/b$
3		$\lambda = \infty$ ($\psi_{\lambda} = 1$)

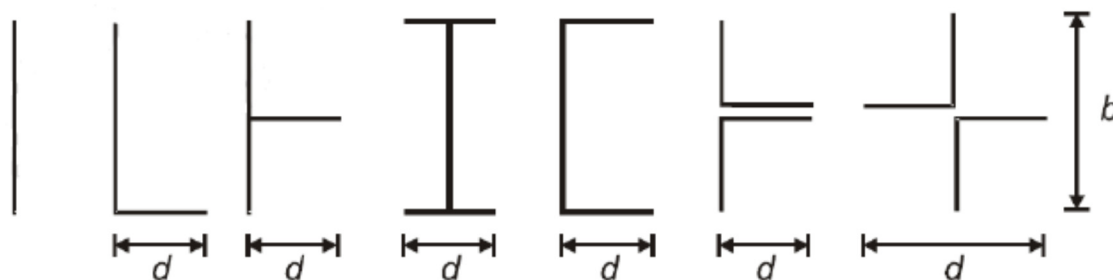


Figura 4-13 – Seções Estruturais com Arestas Vivas [adaptado EC3]

Em relação à direção z o coeficiente de força pode obter-se a partir do Anexo Nacional da NP EN1991-1-4 (CI NA-8.3.3(1), Nota 1), onde se indica que o valor de $c_{f,z}$ pode ser considerado igual a 0,9.

• Coeficiente Estrutural

O coeficiente estrutural $c_s c_d$ inclui não só o efeito minorativo da ação do vento devido à não simultaneidade na ocorrência das pressões de pico sobre a superfície da construção c_s (coeficiente de dimensão), mas também o efeito da amplificação devido às vibrações provocadas pela turbulência do vento c_d (coeficiente dinâmico) em ressonância com a estrutura.

O coeficiente estrutural é determinado pelo produto dos coeficientes definidos anteriormente c_s e c_d .

O valor deste coeficiente pode em muitos casos ser considerado unitário sendo este valor porém conservativo.

O valor coeficiente estrutural pode também ser considerado igual a 1 nos seguintes casos:

- Em edifícios de altura inferior a 15 m;
- Em elementos de fachada e de cobertura cuja frequência própria seja superior a 5 Hz;
- Em edifícios de estrutura porticada que contenham paredes resistentes e cuja altura seja inferior a 100 m e a 4 vezes a dimensão do edifício na direção do vento;
- Em chaminés de secções transversais circulares e com uma altura inferior a 60 m e 6,5 vezes o seu diâmetro.

Em alternativa aos casos anteriores os valores do coeficiente estrutural podem ser determinados a partir de um procedimento pormenorizado indicado na secção 6.3 e no Anexo D da NP EN1991-1-4.

O coeficiente estrutural é calculado pela expressão:

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(Z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(Z_s)} \quad (4-16)$$

As alturas de referência e a intensidade de turbulência das estruturas deste Projeto foram já determinadas para os 3 Troços da estrutura da ponte de suporte da Tela.

O coeficiente de resposta quase-estática B^2 , que traduz a falta de correlação das pressões na superfície obtêm-se a partir de:

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left(\frac{b+h}{L(Z_s)} \right)^{0,63}} \quad (4-17)$$

Notas:

1 - A Escala de Turbulência à altura de referência de cada fração que representa a dimensão média dos turbilhões do vento natural é calculada por:

$$L(Z_s) = \left(\frac{Z_s}{Z_t} \right)^\alpha \cdot L_t \quad \text{para } Z_s \geq Z_{min} \quad (4-18)$$

$$L(Z_s) = L(Z_{min}) \quad \text{para } Z_s \leq Z_{min} \quad (4-19)$$

2 - O Comprimento de Rugosidade e a Altura Mínima foram já definidos anteriormente.

3 - O Coeficiente de Resposta em Ressonância R_2 , que descreve o efeito da turbulência em ressonância com o modo de vibração da estrutura considerado é determinado a partir de:

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(Z_s, n_{1,x}) \cdot R_h(\eta_h) \cdot R_b(\eta_b) \quad (4-20)$$

4 - O Valor do Decremento Logarítmico Total de Amortecimento relativo ao modo fundamental de flexão da estrutura determina-se pela expressão:

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d \quad (4-21)$$

5 - A Função de Densidade Espectral de Potência Adimensional $S_L(z_s, n_{1,x})$ que exprime a distribuição da energia do vento em frequência é calculada por:

$$S_L(Z_s, n_{1,x}) = \frac{6,8 \cdot f_L(Z_s, n_{1,x})}{(1 + 10,2 \cdot f_L(Z_s, n_{1,x}))^{5/3}} \quad (4-22)$$

6 - A Frequência Adimensional $f_L(z_s, n_{1,x})$ que é função não só da altura de referência mas também da frequência própria da estrutura é calculada por:

$$f_L(Z_s, n_{1,x}) = \frac{n_{1,x} \cdot L(Z_s)}{v_m(Z_s, n_{1,x})} \quad (4-23)$$

7 - As Funções de Admitância Aerodinâmica R_h e R_b , para uma configuração de modo fundamental são determinadas com recurso às expressões 4-24 e 4-25.

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} (1 - e^{-2\eta_h}); \quad R_h=1 \text{ para } \eta_h=0 \quad (4-24)$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} (1 - e^{-2\eta_b}); \quad R_b=1 \text{ para } \eta_b=0 \quad (4-25)$$

Nota: Os parâmetros η_h e η_b necessários ao cálculo das funções de admitância R_h e R_b são:

$$\eta_h = \frac{4,6 \cdot h}{L(Z_s)} \cdot f_L(Z_s, n_{1,x}) \quad (4-26)$$

$$\eta_b = \frac{4,6 \cdot b}{L(Z_s)} \cdot f_L(Z_s, n_{1,x}) \quad (4-27)$$

8 - Por fim determina-se o Fator de Pico que é definido como o quociente entre o valor máximo da parte flutuante da resposta e o desvio padrão desta calculado por:

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(\nu \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(\nu \cdot T)}} \geq 3,0 \quad (4-28)$$

Em que a frequência de passagens ascendentes ν , determinada pela expressão 4-29 não deve ser inferior a 0,08 Hz conforme se mostra em baixo.

$$\nu = n_{1,x} \cdot \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \geq 0,08 \quad (4-29)$$

Com todos os parâmetros definidos nos pontos 1 a 8 é possível determinar o Coeficiente Estrutural.

♦ CÁLCULO DA FORÇA DA AÇÃO DO VENTO

Neste projeto foi necessário proceder ao estudo do vento nas seguintes direções:

- ♦ Wx direção x sentido positivo;
- ♦ Wxx direção x sentido negativo;
- ♦ Wy direção y sentido positivo;
- ♦ Wyy direção y sentido negativo;
- ♦ Wz direção z sentido positivo;
- ♦ Wzz direção z sentido negativo.

Na Figura 4-14 apresenta-se o referencial global utilizado.

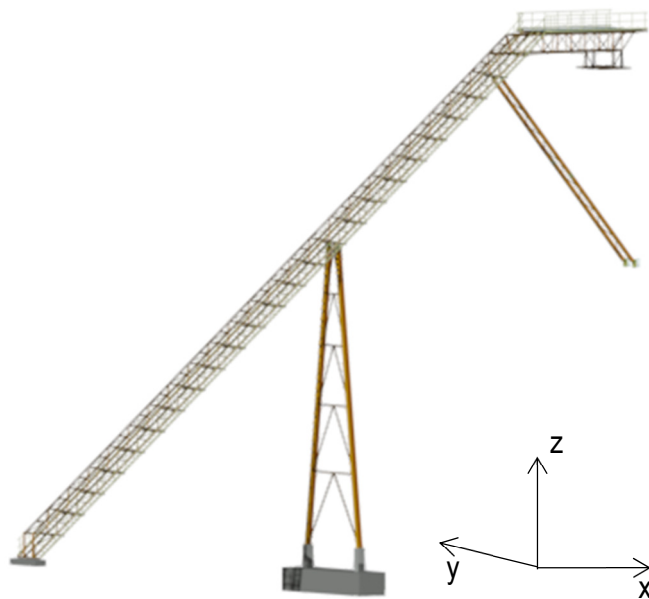


Figura 4-14 – Referencial Global

Nas tabelas 4-21, 4-22 e 4-23 indicam-se as direções do vento para os diferentes elementos.

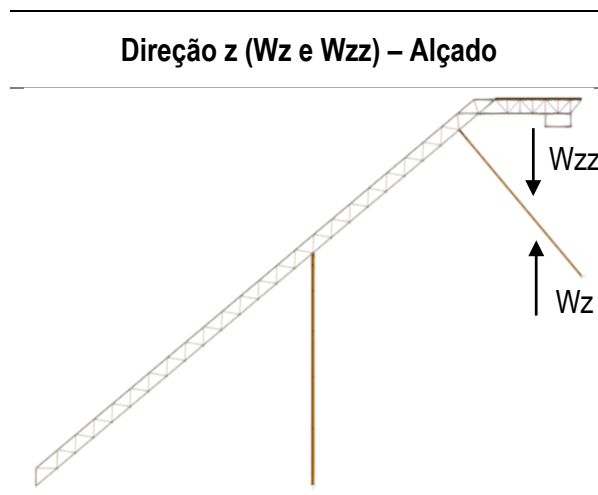
Tabela 4-21 – Vento na Viga

Direção y (W_y e W_{yy}) – Planta	Direção z (W_z e W_{zz}) – Alçado

Tabela 4-22 – Vento no Pilar

Direção y (W_y e W_{yy}) – Alçado	Direção x (W_x e W_{xx}) – Alçado

Tabela 4-23 – Vento na Escora



♦ **Pressão Dinâmica de Pico**

Nas tabelas 4-24 a 4-27 resumem-se os parâmetros que foram necessários utilizar no cálculo da pressão dinâmica de referência da Estrutura.

Tabela 4-24 – Categoria do Terreno

Terreno	Z ₀ (m)	Z _{min} (m)
II	0,05	3

Tabela 4-25 – Zona do Terreno

Zona	v _{b,0} (m/s)	c _{dir}	c _{season}	v _b (m/s)	ρ (Kg/m ³)	KI
A	27	1	1	27	1.25	1

Tabela 4-26 – Alturas de Referência para os 3 Troços da Estrutura

Troço	h (m)	h ₁ (m)	Z _e (m)
1	18.91	18.91	9.46
2	31.25	12.34	25.08
3	32.30	1.05	31.78

Tabela 4-27 – Pressão Dinâmica para cada Troço

Troço	c ₀ (z)	kt	c _r (z)	v _m	σ _v	lv	q _p (z _e)
1	1,00	0,19	1,00	26,89	5,13	0,190757	1,06
2			1,18	31,90		0,160829	1,35
3			1,23	33,11		0,154933	1,43

♦ **Coefficientes de Força**

Os coeficientes de força foram calculados de acordo com as definições indicadas anteriormente e os seus valores constam das Tabelas 4-28 a 4-30.

Tabela 4-28 – Coeficientes de Força na Viga - Direção y

Troço	A (m ²)	A _c (m ²)	φ	L (m)	b (m)	λ	C _{f,0}	ψ _k	C _f
1	9,74	31,83	0,31	30,32	1,05	28,87	2,40	0,97	2,33
2	5,71	19,11	0,30	18,20	1,05	17,33	2,50	0,96	2,40
3	4,06	12,20	0,33	10,43	1,17	8,91	2,40	0,95	2,28

Tabela 4-29 – Coeficientes de Força do Pilar - Direção y

Troço	L (m)	b (m)	λ	C _{f,0}	ψ _k	C _f
1	19,55	0,30	65	2,00	0,90	1,80

Tabela 4-30 – Coeficientes de Força do Pilar - Direção x

Troço	A (m ²)	A _c (m ²)	φ	L (m)	b (m)	λ	C _{f,0}	ψ _k	C _f
1	15,36	67,83	0,23	19,38	3,50	5,54	1,60	0,95	1,52

Nota: Na direção z considerou-se para o coeficiente de força o valor de 0,9.

♦ **Coefficiente Estrutural**

O coeficiente estrutural foi calculado para as direções x e y e os parâmetros que serviram para o seu cálculo constam das tabelas 4-31 a 4-33.

Tabela 4-31 – Coeficiente de Resposta Quase-Estática

Troço	b (m)	h (m)	Z _e (m)	z _t	L _t	α	L(z)	B ²
1	22,54	18,91	9,46				61,33	0,67
2	14,71	12,34	25,08	200,00	300,00	0,52	101,87	0,78
3	8,00	1,05	31,78				115,21	0,85

Tabela 4-32 – Coeficiente de Resposta em Ressonância

Troço	δ	n	v _m	f _L (z,n)	S _L (z,n)	η _h	R _h	η _b	R _b	R ²
1			26,89	2,39	0,07	3,40	0,25	8,08	0,12	0,12
2	0,09	1,87	31,90	3,35	0,06	1,87	0,40	6,81	0,14	0,18
3			33,11	3,65	0,06	0,15	0,91	6,56	0,14	0,40

4. Materiais, Ações e Combinação de Ações

Tabela 4-33 – Coeficiente Estrutural

Troço	v	T	K_p	l_v	C_s	C_d	$C_s C_d$
1	0,41	600,00	3,50	0,19	0,90	1,04	0,94
2	0,45		3,53	0,16	0,94	1,06	0,99
3	0,59		3,60	0,15	0,96	1,12	1,08

Com os parâmetros das tabelas anteriores calcularam-se todas as forças do vento na Estrutura.

Tabela 4-34 – Força do Vento na Viga - Direção y (W_y e W_{yy})

$C_s C_d$	C_f	$q_p(z_e)$	A_{ref} (m ²)	F_w (kN)	Largura de influência (m)	Carga Distribuída (kN/m)	Força em cada Cordão (kN/m)
0,94	2,33	1,06	9,74	22,39	30,32	0,74	0,37
0,99	2,40	1,35	5,71	18,41	18,20	1,01	0,51
1,08	2,28	1,43	4,06	14,24	10,43	1,37	0,68

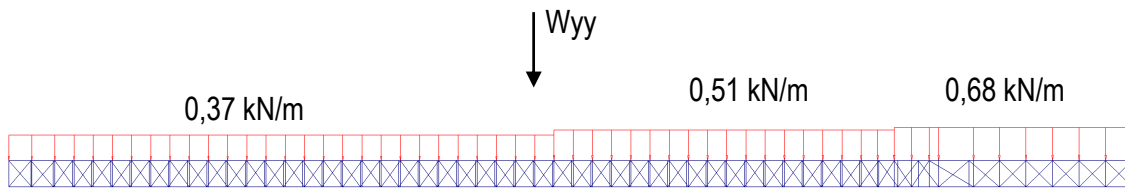


Figura 4-15 – Vento na Viga - Direção y (sentido negativo)

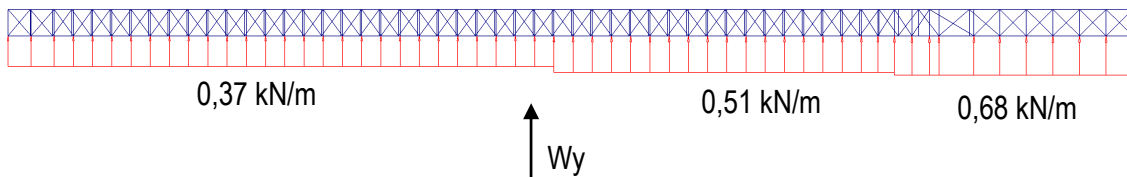


Figura 4-16 – Vento na Viga - Direção y (sentido positivo)

Tabela 4-35 – Força do Vento na Viga - Direção z (W_{zz})

$C_s C_d$	C_f	$q_p(z_e)$	A_{ref} (m ²)	F_w (kN)	Largura de influência (m)	Carga Distribuída (kN/m)	Força em cada Cordão (kN/m)
1,00	0,90	1,06	19,73	18,74	30,32	0,62	0,31
1,00	0,90	1,35	13,22	16,09	18,20	0,88	0,44
1,00	0,90	1,43	6,93	8,91	9,75	0,91	0,46

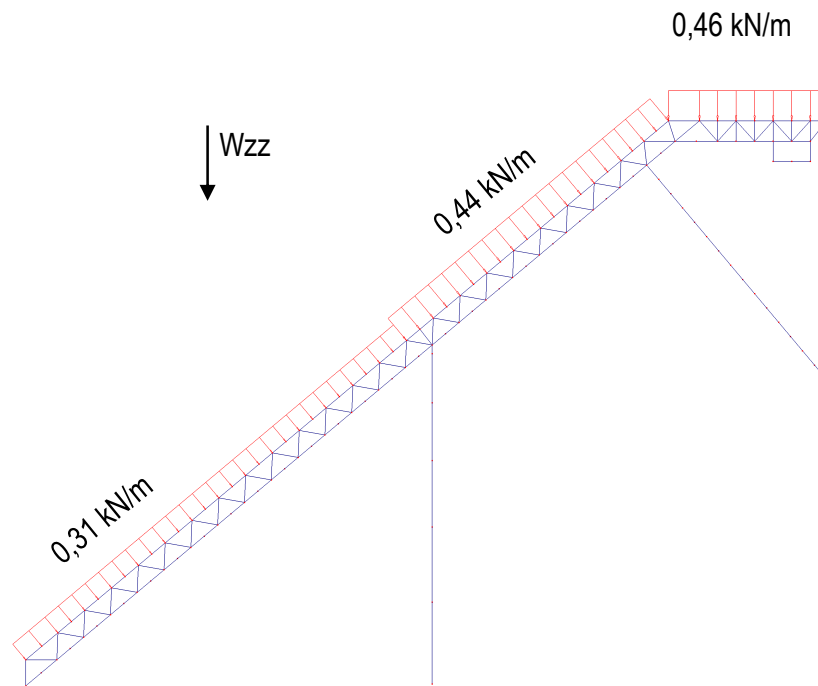


Figura 4-17 – Vento na Viga - Direção z (W_{zz})

Tabela 4-36 – Força do Vento na Viga - Direção z (W_z)

$C_s C_d$	C_f	$q_p(z_e)$	A_{ref} (m ²)	F_w (kN)	Largura de influência (m)	Carga Distribuída (kN/m)	Força em cada Cordão (kN/m)
1,00	0,90	1,06	20,74	19,70	30,32	0,65	0,32
1,00	0,90	1,35	12,52	15,23	18,20	0,84	0,42
1,00	0,90	1,43	6,66	8,56	9,75	0,88	0,44

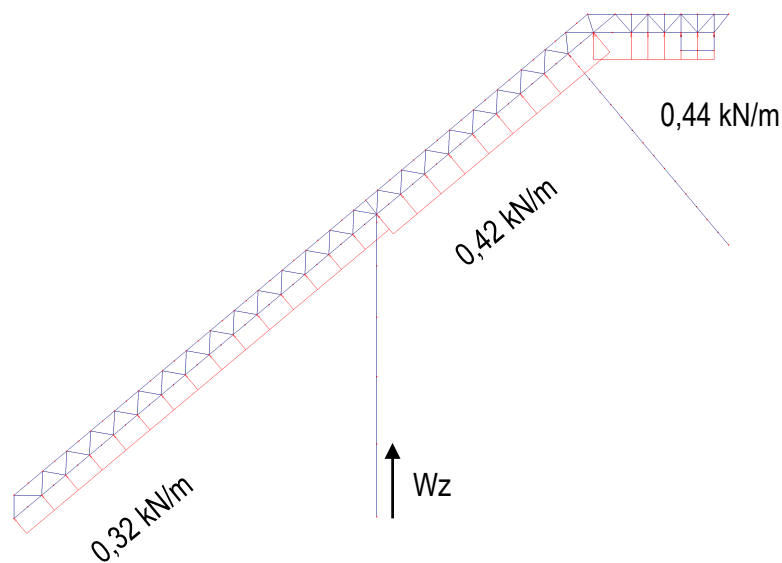


Figura 4-18 – Vento na Viga - Direção z (W_z)

4. Materiais, Ações e Combinação de Ações

Tabela 4-37 – Forças do Vento no Pilar - Direção y (Wy e Wyy)

$C_s C_d$	C_f	$q_p(z_e)$	A_{ref} (m ²)	F_w (kN)	Largura de influência (m)	Carga Distribuída (kN/m)	Força em cada Cordão (kN/m)
0,94	1,80	1,06	5,87	10,42	19,55	0,53	0,53

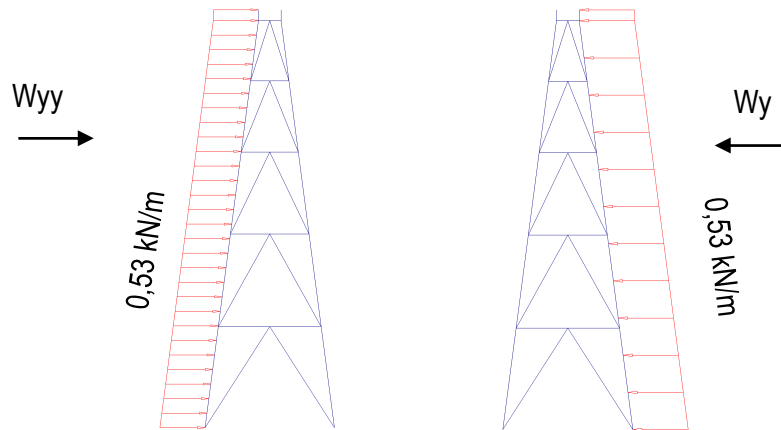


Figura 4-19 – Vento no Pilar - Direção y

Tabela 4-38 – Forças do Vento no Pilar - Direção x (Wx e Wxx)

$C_s C_d$	C_f	$q_p(z_e)$	A_{ref} (m ²)	F_w (kN)	Largura de influência (m)	Carga Distribuída (kN/m)	Força em cada Cordão (kN/m)
0,94	1,52	1,06	15,36	23,05	19,38	1,19	0,59

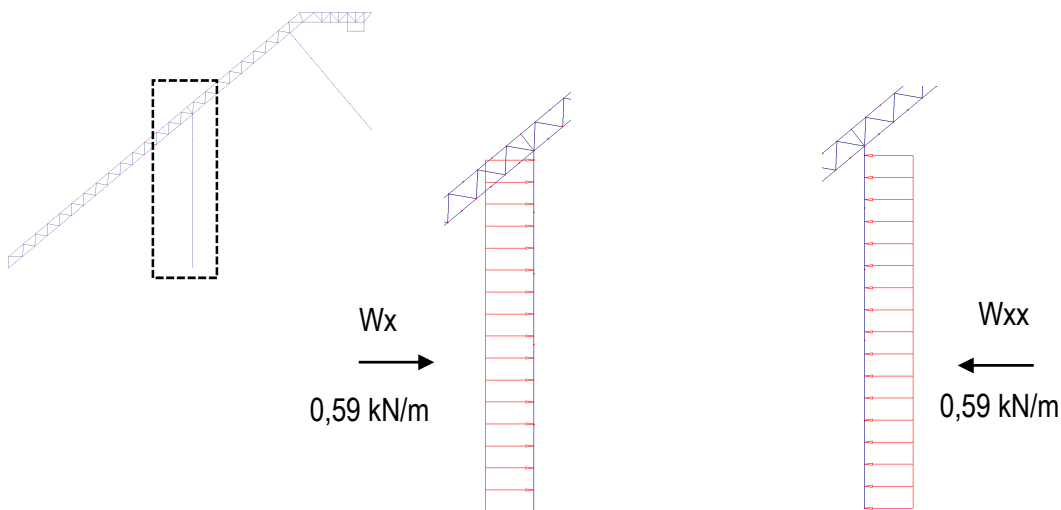


Figura 4-20 – Vento no Pilar – Direção x (Wx e Wxx)

Tabela 4-39 – Força do Vento na Escora - Direção y (W_y e W_{yy})

$C_s C_d$	C_f	$q_p(z_e)$	A_{ref} (m ²)	F_w (kN)	Largura de influência (m)	Carga Distribuída (kN/m)	Força em cada Cordão (kN/m)
0,99	1,86	1,35	3,20	7,98	15,99	0,50	0,50

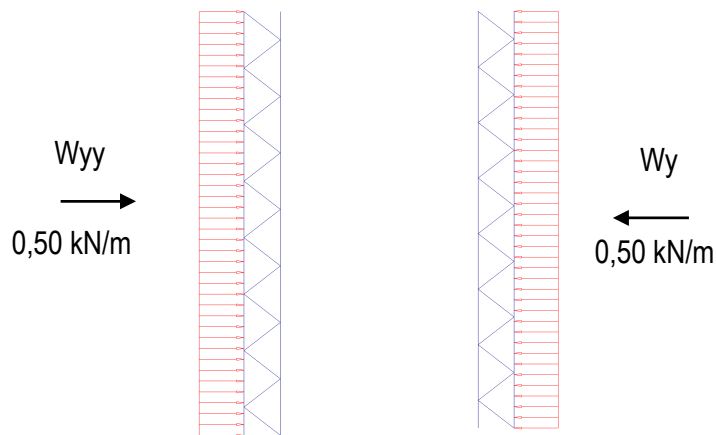


Figura 4-21 – Vento na Escora – Direção y (W_y e W_{yy})

Tabela 4-40 – Força do Vento na Escora - Direção z (W_z e W_{zz})

$C_s C_d$	C_f	$q_p(z_e)$	A_{ref} (m ²)	F_w (kN)	Largura de influência (m)	Carga Distribuída (kN/m)	Força em cada Cordão (kN/m)
1,00	0,90	1,35	7,75	9,43	15,99	0,59	0,29

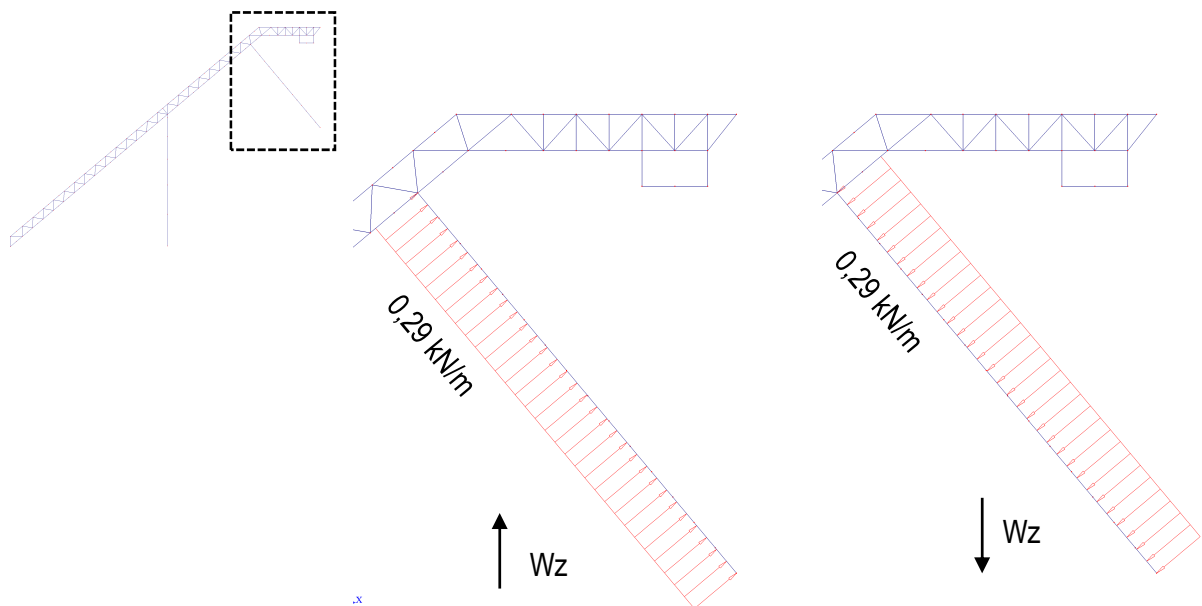


Figura 4-22 – Vento na Escora – Direção z (W_z e W_{zz})

4.2.2.4 Sismo

Os sismos são desastres naturais impossíveis de prever, que podem originar danos avultados em edifícios, inclusive leva-los ao colapso.

De modo a salvaguardar os prejuízos causados pelos sismos tornou-se necessário criar regulamentação própria realizada com bases em estudos e experiências recolhidas ao longo dos anos.

A regulamentação europeia referente aos sismos consta na norma NP EN 1998 - Projeto de Estruturas para Resistência aos Sismos.

Esta norma tem como objetivo limitar perda de vidas humanas, danos nas estruturas e manter também a operacionalidade dos edifícios de proteção civil, tendo presente duas exigências fundamentais:

- Exigência de não colapso – as estruturas devem manter a integridade e possuir uma capacidade residual após a ocorrência de um sismo;
- Exigência de limitação de danos – as estruturas não devem sofrer prejuízos significativos após a ocorrência de sismos de menor intensidade.

Para se atingir esse objetivo é necessário conhecer os diversos tipos de sismos bem como os locais onde os mesmos atuam.

A norma NP EN 1998-1 prevê para Portugal dois tipos de sismo.

Considera-se sismo do tipo 1 os que ocorrem nos limites das interplacas com magnitudes e distâncias focais elevadas, ou seja, sismos com epicentros distantes, durações elevadas e de baixas frequências.

Os sismos do tipo 2 ocorrem nos limites das intraplacas e têm magnitudes e distâncias focais menores, com epicentros próximos, de curta duração e frequências elevadas.

O estudo da ação sísmica a aplicar no dimensionamento e verificação de segurança das estruturas pode ser realizada através de espectros de resposta.

Estes espectros são obtidos com base na sismicidade da região.

Há que ter em atenção a diferença entre os espectros de resposta elástica e os de cálculo.

Ambos têm em conta a sismicidade do local, as características do terreno e o coeficiente de amortecimento das estruturas, incluindo-se, porém, no segundo a ductilidade das mesmas.

A ductilidade consiste na capacidade dissipativa de energia que as estruturas conseguem libertar através dos deslocamentos sem que isso implique a perda de resistência global.

A NP EN1998 define três classes de ductilidade: Baixa (DCL), Média (DCM) e Alta (DCH).

O cálculo da ação sísmica neste trabalho foi realizado através de espectros de cálculo tendo em consideração os seguintes fatores:

- ◆ Zona sísmica;
- ◆ Tipo de solo;
- ◆ Classe de importância;
- ◆ Coeficiente de amortecimento;
- ◆ Coeficiente de comportamento.

○ **Zona Sísmica**

Na Figura 4-23 estão representadas as zonas sísmicas para os dois tipos de sismo no território nacional e uma vez que a estrutura se localiza no concelho de Loulé foram consideradas as zonas 1.2 e 2.3, para os sismos tipo 1 e tipo 2, respetivamente.

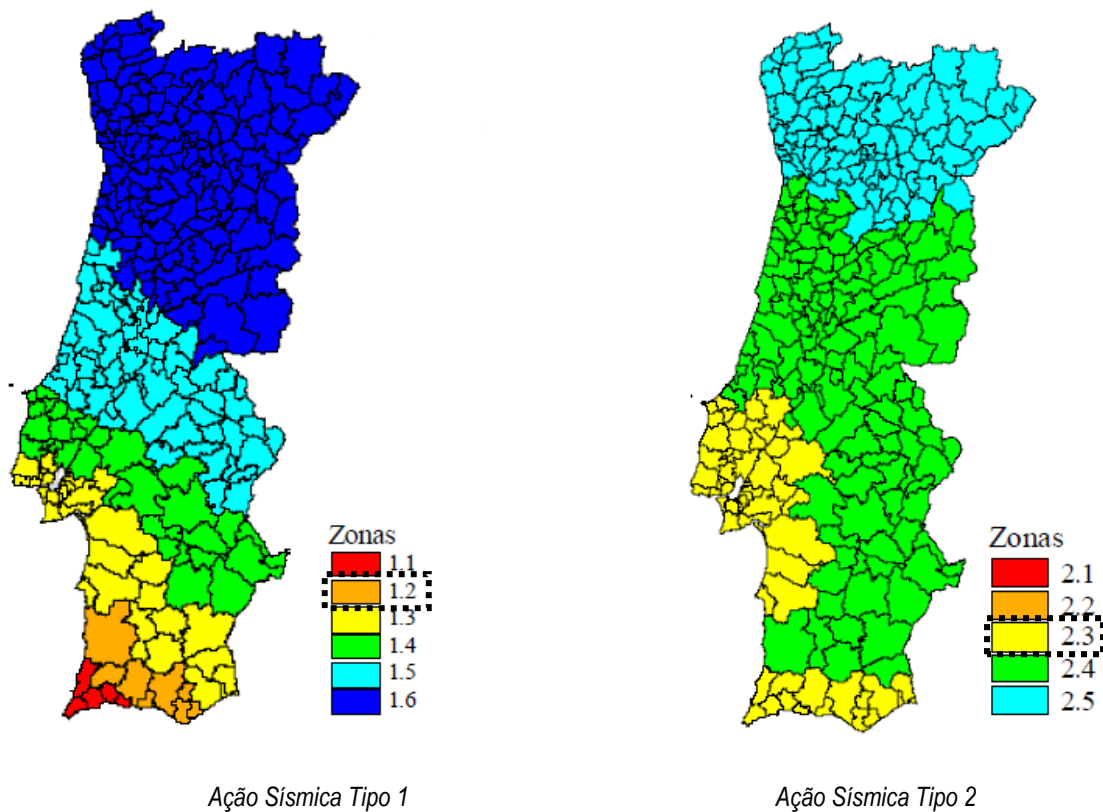


Figura 4-23 – Zonamento sísmico em Portugal

○ **Tipo de Terreno**

O tipo de terreno foi determinado com base nos estudos geotécnicos já referidos anteriormente.

Considerou-se o tipo de terreno B cujas características geotécnicas constam da Tabela 4-41.

4. Materiais, Ações e Combinação de Ações

Tabela 4-41 - Tipo de Terreno

Tipo de terreno	Descrição do perfil estratigráfico	Parâmetros		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (palcadas/30 cm)	C_u (kPa)
A	Rocha ou outra formação geológica de tipo rochoso, que inclua, no máximo, 5 m de material mais fraco à superfície	> 800	-	-
B	Depósitos de areia muito compacta, de seixo (cascalho) ou de argila muito rija, com uma espessura de, pelo menos, várias dezenas de metros, caracterizados por um aumento gradual das propriedades mecânicas com a profundidade	350 - 800	> 50	> 250
C	Depósitos profundos de areia compacta ou medianamente compacta, de seixo (cascalho) ou de argila rija com uma espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros	180 - 360	15 - 50	70 - 250
D	Depósitos de solos não coesivos de compactidade baixa a média (com ou sem alguns estratos de solos coesivos moles), ou de solos predominantemente coesivos de consistência mole a dura.	< 180	< 15	< 70
E	Perfil de solo com um estrato aluvionar superficial com valores de v_s do tipo C ou D e uma espessura entre cerca de 5 m e 20 m, situado sobre um estrato mais rígido com $v_s > 800$ m/s			
S1	Depósitos constituídos ou contendo um estrato com pelo menos 10 m de espessura de argilas ou siltes moles com um elevado índice de plasticidade ($PI > 40$) e um elevado teor de água.	< 100 (indicativo)	-	10 - 20
S2	Depósitos de solos com potencial de liquefação, de argilas sensíveis ou qualquer outro perfil de terreno não incluído nos tipos A – E ou S1			

o Classe de Importância

No estudo sísmico é necessário também definir a classe da estrutura.

Verifica-se que a Estrutura se enquadra no tipo de edifícios da classe I tendo-se considerado porém como de classe II por imposição do Dono de Obra.

Tabela 4-42 - Classe de Importância

Classe de Importância	Tipo de Edifícios
I	Edifícios de importância menor para a segurança pública, como por exemplo edifícios agrícolas, etc.
II	Edifícios correntes, não pertencentes às outras categorias.
III	Edifícios cuja resistência sísmica é importante tendo em vista as consequências associadas ao colapso, como por exemplo escolas, salas de reunião, instituições culturais, etc.
IV	Edifícios cuja integridade em caso de sismo é de importância vital para a proteção civil,

como por exemplo hospitais, quartéis de bombeiros, centrais elétricas, etc.

○ **Coefficiente de Amortecimento.**

O coeficiente de amortecimento considerado foi de 5 %.

○ **Coefficiente de Comportamento**

A estrutura foi projetada como de baixa dissipação de classe DCL. Para esta classe de ductilidade o valor do coeficiente de comportamento recomendado no EC8 é de 1,5.

A partir dos parâmetros anteriores determinaram-se os restantes elementos necessários à definição dos espectros:

- Aceleração máxima de referência;
- Coeficiente de importância;
- Coeficiente máximo do solo;
- Valores de período de referência.

A aceleração máxima de referência foi determinada com base nas zonas sísmicas a partir da Tabela 4-43.

Tabela 4-43 - Aceleração Máxima de Referência

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

O coeficiente de importância traduz a maior ou menor fiabilidade do comportamento das estruturas aos sismos. Neste caso, atendendo a que Estrutura é da Classe II considerou-se para este coeficiente o valor unitário para os dois tipos de sismos.

Tabela 4-44 – Coeficiente de Importância $[\gamma]$

Classe de importância	Ação Sísmica Tipo 1	Ação Sísmica Tipo 2
I	0,65	0,75
II	1,00	1,00
III	1,45	1,25
IV	1,95	1,50

A aceleração máxima de referência foi calculada por:

$$a_g = \gamma_I \cdot a_{gR} \quad (4-30)$$

Considerou-se para a aceleração máxima de referência na construção na definição dos espectros o valor de 2 m/s² para o sismo do tipo 1 e de 1,7 m/s² para o sismo do tipo 2.

O coeficiente máximo do solo e os valores de período de referência foram determinados a partir das Tabelas 4-45, 4-46 e 4-47.

Tabela 4-45 – Parâmetros do Espectro de Resposta Elástico - Sismo do Tipo 1

Tipo de Terreno	S _{Max}	T _B (s)	T _C (s)	T _D (s)
A	1,0	0,1	0,6	2,0
B	1,35	0,1	0,6	2,0
C	1,6	0,1	0,6	2,0
D	2,0	0,1	0,8	2,0
E	1,8	0,1	0,6	2,0

Tabela 4-46 – Parâmetros do Espectro de Resposta Elástico - Sismo do Tipo 2

Tipo de Terreno	S _{Max}	T _B (s)	T _C (s)	T _D (s)
A	1,0	0,1	0,25	2,0
B	1,35	0,1	0,25	2,0
C	1,6	0,1	0,25	2,0
D	2,0	0,1	0,3	2,0
E	1,8	0,1	0,25	2,0

Tabela 4-47 – Valor do Coeficiente de Solo

Aceleração máxima - a _g	Coeficiente do Solo - S
$a_g \leq 1 \text{ m/s}^2$	$S = S_{Max}$
$1 \text{ m/s}^2 < a_g < 4 \text{ m/s}^2$	$S = S_{Max} - \frac{S_{Max} - 1}{3} (a_g - 1)$
$a_g \geq 4 \text{ m/s}^2$	$S = 1$

A definição dos espectros de cálculo para as componentes horizontais sísmicas foi realizada com base nas expressões:

Tabela 4-48 – Espectros de Cálculo Horizontais

Limites do Período	Valor de Cálculo da Aceleração
$0 \leq T \leq T_B$	$S_d(T) = a_g S \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$
$T_B \leq T \leq T_C$	$S_d(T) = a_g S \frac{2,5}{q}$
$T_C \leq T \leq T_D$	$S_d(T) = a_g S \frac{2,5}{q} \left[\frac{T_C}{T} \right]$ $\geq \beta a_g$
$T_D \leq T$	$S_d(T) = a_g S \frac{2,5}{q} \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]$ $\geq \beta a_g$

Com: $\beta = 0,2$

Na Tabela 4-49 resumem-se todos os parâmetros que permitiram a definição dos Espectro de Cálculo.

Tabela 4-49 – Determinação dos Espectros de Cálculo

Sismo Tipo 1		Sismo Tipo 2	
Localidade	Loulé	Localidade	Loulé
Zona Sísmica	1.2	Zona Sísmica	2.3
Classe de Importância	II	Classe de Importância	II
Tipo de Terreno	B	Tipo de Terreno	B
a_{gr} (s/m ²)	2	a_{gr} (s/m ²)	1.7
Coef. de Importância	1	Coef. de Importância	1
a_g (s/m ²)	2	a_g (s/m ²)	1.7
S_{max}	1.35	S_{max}	1.35
S	1.23	S	1.27
Coef. de Amortecimento (%)	5	Coef. de Amortecimento (%)	5
T_0 (s)	0	T_0 (s)	0
T_B (s)	0.1	T_B (s)	0.1
T_C (s)	0.6	T_C (s)	0.25
T_D (s)	2	T_D (s)	2
Coef comportamento q	1.5	Coef comportamento q	1.5
$A_g R$	4.11	$A_g R$	3.59

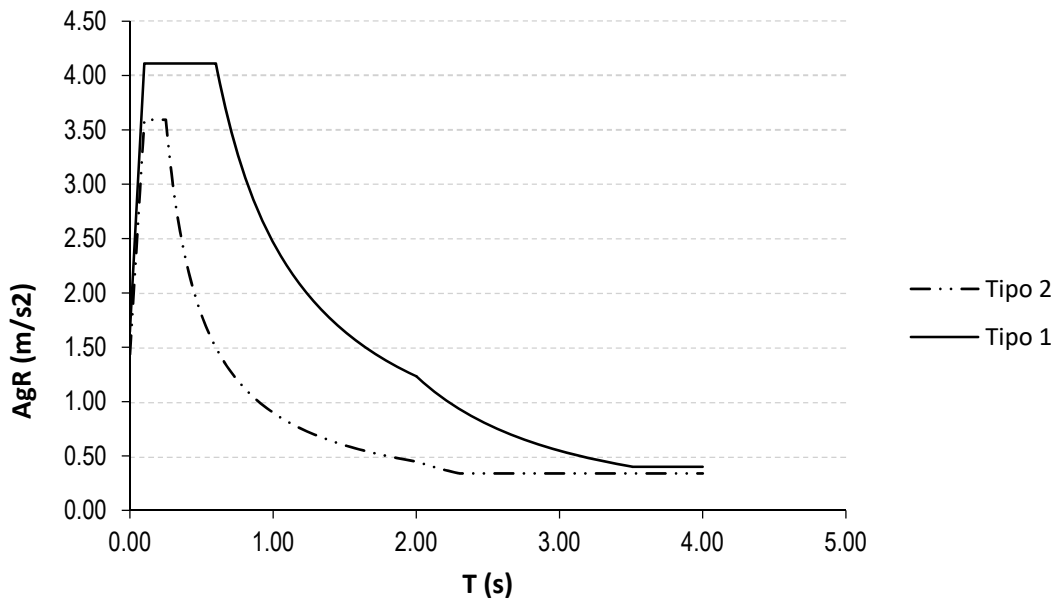


Figura 4-24 – Espectro de Cálculo - Sismos Tipos 1 e 2

A componente vertical da ação sísmica deve ser sempre considerada quando a aceleração vertical é superior a $2,5 \text{ m/s}^2$.

A aceleração vertical foi calculada com base na informação das Tabelas 4-50 e 4-51:

Tabela 4-50 – Parâmetros - Espectros de Resposta Elásticos Verticais

Ação Sísmica	a_{vg}/a_g	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
Tipo 1	0,75	0,05	0,25	1,0
Tipo 2	0,95	0,05	0,15	1,0

Tabela 4-51 – Acelerações

Ação Sísmica	Aceleração Horizontal	Limite de a_{vg}/a_g	Aceleração Vertical
Tipo 1	2,0	0,75	1,5
Tipo 2	1,7	0,95	1,62

Uma vez que os valores da aceleração vertical são inferiores a $2,5 \text{ m/s}^2$ não foi necessário considerá-los.

Os efeitos sísmicos foram determinados com base no comportamento elástico linear da estrutura, através de uma análise modal por espectro de resposta tendo sido utilizados os espectros de cálculo indicados anteriormente, sendo que este tipo de análise deve considerar todos os modos de vibração significativos para a resposta global da estrutura, através das seguintes condições:

- O somatório das massas modais deve garantir 90% da massa total da estrutura para as direções analisadas;
- Todos os modos de vibração com massas modais superiores a 5 % da massa total devem ser considerados.

A análise dinâmica da estrutura foi realizada no programa de elementos finitos “Robot”, tendo-se considerado 67 modos de vibração de modo a alcançar os 90% da massa mobilizada em cada direção, conforme se indica na Tabela 4-52.

Tabela 4-52 – Modos de Vibração Principais

Modo	Frequência (Hz)	Período (s)	Massa mobilizada Ux (%)	Massa mobilizada Uy (%)	Massa mobilizada acumulada Ux (%)	Massa mobilizada acumulada Uy (%)
2	1,87	0,53	0	42,19	0	44,73
3	2,15	0,46	22,62	0	22,62	44,73
4	2,45	0,41	6,72	0	29,34	44,73
8	2,75	0,36	0	26,76	31,54	71,57
18	6,54	0,15	4,25	0	38,08	75,93
22	7,19	0,14	35,45	0	73,55	76,98
24	7,55	0,13	10,02	0,01	83,78	76,99
27	7,67	0,13	3,32	0	87,10	77,32
34	9,19	0,11	0,02	3,44	87,71	82,15



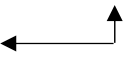
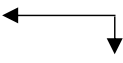




A NP EN1998-1 refere ainda que as componentes horizontais das ações sísmicas nas direções x e y devem ser consideradas simultaneamente e que os esforços devidos à combinação das componentes horizontais podem ser calculados a partir das seguintes combinações:

$$E = E_{Edx} + 0,30E_{Edy} \quad (4-31)$$

$$E = 0,30E_{Edx} + E_{Edy} \quad (4-32)$$

Com base nas expressões anteriores consideraram-se 8 combinações para cada modo de vibração, conforme se indica na Tabela 4-53.

Tabela 4-53 – Combinações Direcionais

	Combinação	Orientação
Ações Sísmicas Tipo 1 e 2	$U = U_1 + 0,30 U_2$	
	$U = U_1 - 0,30 U_2$	
	$U = -U_1 + 0,30 U_2$	
	$U = -U_1 - 0,30 U_2$	
	$U = 0,30 U_1 + U_2$	
	$U = -0,30 U_1 + U_2$	
	$U = 0,30 U_1 - U_2$	
	$U = -0,30 U_1 - U_2$	

Quando o sismo é a ação variável base as combinações a considerar são do tipo:

$$\sum G_{jk} + \sum \psi_{E,i} Q_{k,i} \quad (4-33)$$

Sendo o coeficiente de combinação $\Psi_{E,i}$ determinado a partir de:

$$\Psi_{E,i} = \varphi \cdot \Psi_{2,i} \quad (4-34)$$

Nota: O valor de φ adotado na Estrutura deste projeto foi de 1.

Nas figuras seguintes estão indicados os modos de vibração com maior participação.

Modo de Vibração 2

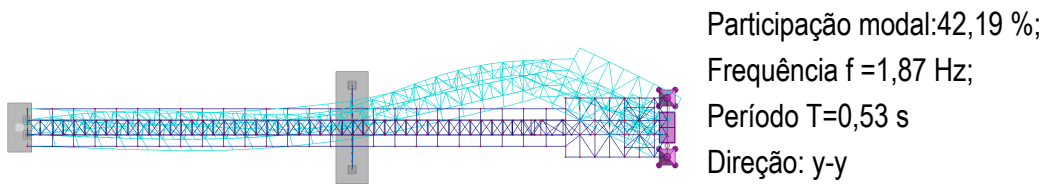


Figura 4-25 – Configuração do Modo 2

Modo de Vibração 3

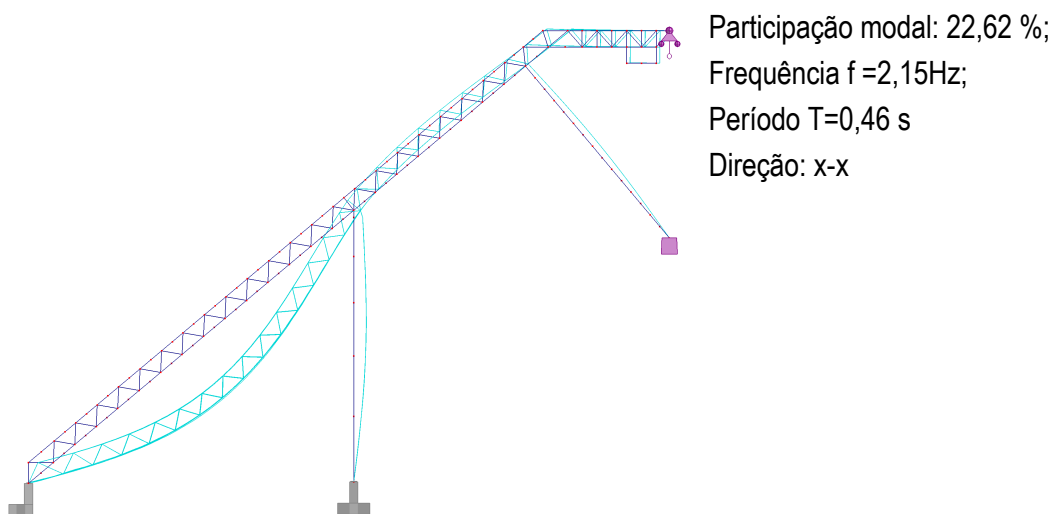


Figura 4-26 – Configuração do Modo 3

Modo de Vibração 8

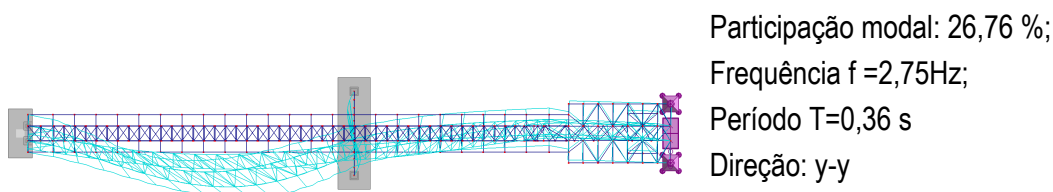
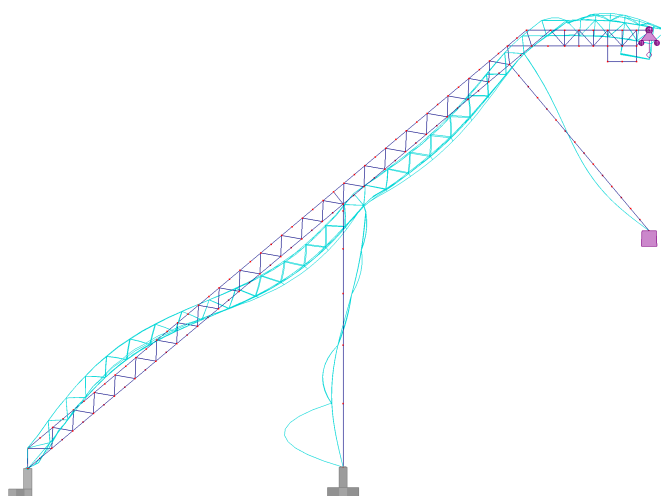


Figura 4-27 – Configuração do Modo 8

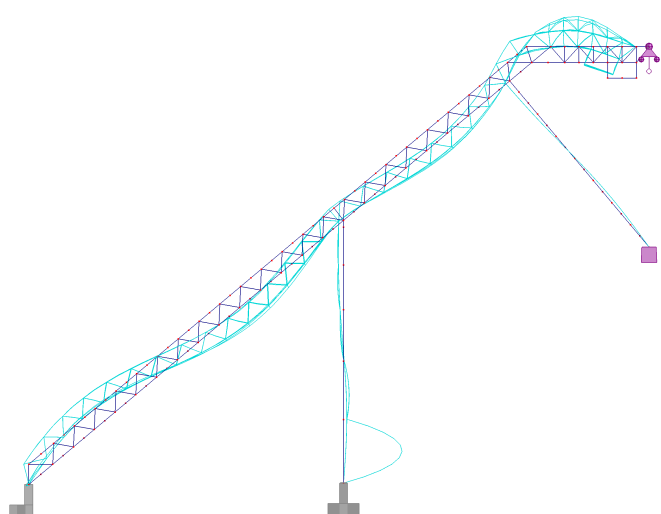
Modo de Vibração 22



Participação modal: 35,45 %;
Frequência $f = 7,19\text{Hz}$;
Período $T = 0,14\text{ s}$
Direção: x-x

Figura 4-28 – Configuração do Modo 22

Modo de Vibração 24



Participação modal: 10,06 %;
Frequência $f = 7,55\text{Hz}$;
Período $T = 0,13\text{ s}$
Direção: x-x

Figura 4-29 – Configuração do Modo 24

4.3 Combinação de Ações

De forma a garantir a segurança das estruturas foi feita a combinação das ações em relação aos Estados Limites Últimos e Estados Limites de Utilização ou de Serviço com base nos critérios definidos no EC0.

Nas combinações de ações é necessário considerar os coeficientes de segurança e os coeficientes reduzidos. Os primeiros são utilizados para majoração das ações enquanto os segundos se aplicam às ações variáveis.

Na Tabela 4-54 indicam-se os coeficientes reduzidos que foram utilizados neste Projeto.

Tabela 4-54- Valores Reduzidos

Sobrecarga	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Cobertura	0,2	0	0
Material*	1	0,9	0,8
Vento	0,6	0,2	0
Temperatura	0,6	0,5	0

(*) - Por imposição do Dono de Obra.

4.3.1 Estados Limites Últimos

A verificação da segurança aos estados limites últimos foi efetuada em conformidade com a norma NP EN 1990:2009, a partir das seguintes combinações:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \psi_{0,i} Q_{ki} \quad (4-35)$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + A_{Ed} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{ki} \quad (4-36)$$

4.3.2 Estados Limites de Utilização ou de Serviço

O EC1 define três combinações possíveis para os estados limites de serviço.

- Combinação Característica para estados limites irreversíveis:

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{ki} \quad (4-37)$$

- Combinação Frequente para estados limites reversíveis:

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{ki} \quad (4-38)$$

- Combinação Quase-Frequente para os efeitos a longo prazo:

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{ki} \quad (4-39)$$

Neste Projeto considerou-se para a determinação das flechas a combinação característica por imposição do Dono de Obra.

Os valores máximos admitidos nas deformações foram:

- Viga Treliçada Composta $\delta_{Max} = L/250;$
- Pilar $\delta_{Max} = H/300;$

Em que L corresponde ao comprimento dos vãos e H à altura do pilar.

Na tabela seguinte resumem-se as combinações que foram consideradas nos modelos estudados.

Dimensionamento de uma Estrutura Metálica de suporte de uma Tela Transportadora de Biomassa

Tabela 4-55 - Combinações de Ações

Combinções	Permanentes		Variáveis										Sismo Tipo 1		Sismo Tipo 2			
	PP	RCP	Passerelle		Material		Vento		Temperatura				Sismo 1 x	Sismo 1 y	Sismo 2 x	Sismo 1 y		
			SC		SC		W		T+		T-							
	γ_G	γ_G	γ_Q	ψ	γ_Q	ψ	γ_Q	ψ	γ_Q	ψ	γ_Q	ψ	γ	γ	γ	γ		
Estados Limites Últimos	ELU.Pass(T+)	1,35	1,35	1,5	1	1,5	0,8	1,5	0,6	1,5	0,6							
	ELU.Mat (T+)	1,35	1,35	1,5	0,2	1,5	1	1,5	0,6	1,5	0,6							
	ELU.W (T+)	1,35	1,35	1,5	0,2	1,5	0,8	1,5	1	1,5	0,6							
	ELU.Temp+	1,35	1,35	1,5	0,2	1,5	0,8	1,5	0,6	1,5	1							
	ELU.Pass (T-)	1,35	1,35	1,5	1	1,5	0,8	1,5	0,6			1,5	0,6					
	ELU.Mat (T-)	1,35	1,35	1,5	0,2	1,5	1	1,5	0,6			1,5	0,6					
	ELU.W (T-)	1,35	1,35	1,5	0,2	1,5	0,8	1,5	1			1,5	0,6					
	ELU.Temp-	1,35	1,35	1,5	0,2	1,5	0,8	1,5	0,6			1,5	1					
	ELU.Sismo1x	1	1	1	0	1	0,8	1	0	1	0	1	0	1	0,3			
	ELU.Sismo1y	1	1	1	0	1	0,8	1	0	1	0	1	0	0,3	1			
	ELU.Sismo2x	1	1	1	0	1	0,8	1	0	1	0	1	0			1	0,3	
ELU.Sismo2y	1	1	1	0	1	0,8	1	0	1	0	1	0			0,3	1		
Estados Limites de Serviço	ELS.Pass (T+)	1	1	1	1	1	0,8	1	0,6	1	0,6							
	ELS.Mat (T+)	1	1	1	0,2	1	1	1	0,6	1	0,6							
	ELS.W (T+)	1	1	1	0,2	1	1	1	1	1	0,6							
	ELS.Temp+	1	1	1	0,2	1	1	1	0,6	1	1							
	ELS.Pass (T-)	1	1	1	1	1	0,8	1	0,6			1	0,6					
	ELS.Mat (T-)	1	1	1	0,2	1	1	1	0,6			1	0,6					
	ELS.W (T-)	1	1	1	0,2	1	1	1	1			1	0,6					
	ELS.Temp-	1	1	1	0,2	1	1	1	0,6			1	1					

Nota: Foram considerados os sentidos positivos e negativos do vento para as diferentes combinações de ações.

5 Pré-dimensionamento

O pré-dimensionamento teve como objetivo obter numa primeira aproximação as secções dos diferentes perfis que compõem as estruturas tendo-se recorrido nesta fase a vários ábacos realizados a partir das expressões do Eurocódigo 3.

5.1 Estruturas de nós articulados

De modo a compreender mais facilmente algumas das técnicas utilizadas no pré-dimensionamento de estruturas de nós articulados, apresenta-se na Figura 5-1 dois tipos de treliça que formam as estruturas principais da Ponte de suporte da Tela, sendo em qualquer destas estruturas as barras mais esforçadas estão localizadas a meio vão e junto aos apoios conforme se explica nos pontos seguintes.

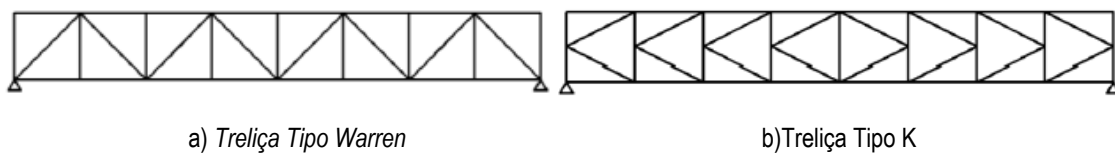


Figura 5-1 – Treliças

O cálculo dos esforços axiais nas barras mais solicitadas numa treliça tipo Warren é realizado a partir da analogia de uma viga de alma cheia, com as mesmas condições de apoio e os mesmos carregamentos e com base nos diagramas de momentos flectores e esforços transversos. A partir das figuras seguintes e da analogia acima referida podem determinar-se os esforços axiais máximos nos cordões, montantes e diagonais neste tipo de estruturas.

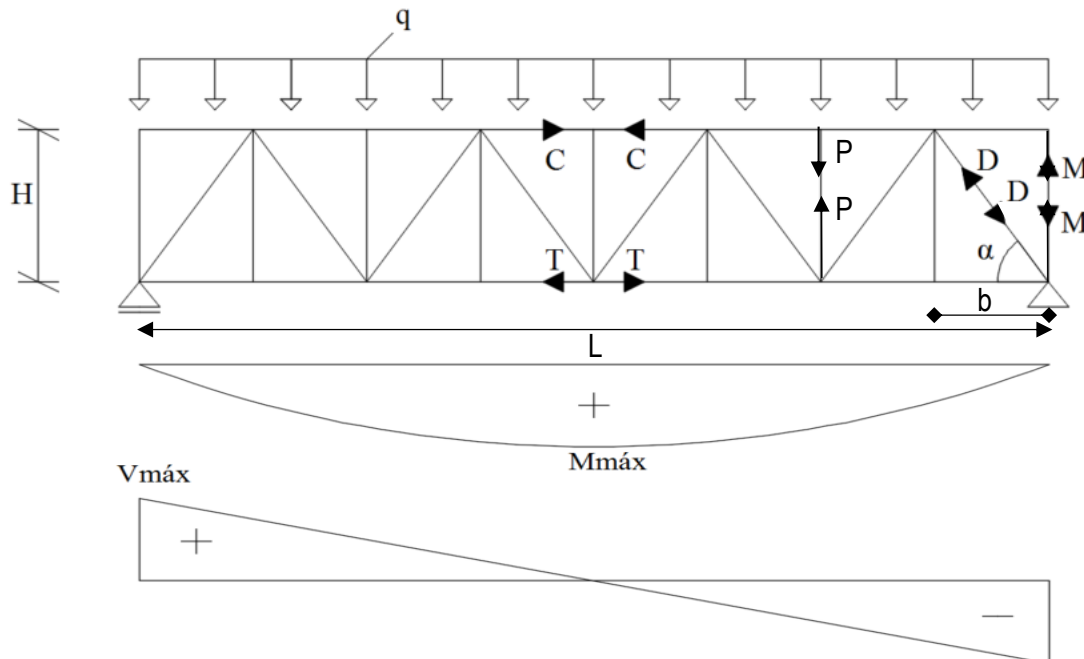


Figura 5-2 – Determinação dos Esforços Máximos

Os esforços axiais máximos são obtidos a partir das expressões:

➤ Esforço Transverso Máximo da Viga $V_{Max} = \frac{q \cdot L}{2}$ (5-1)

➤ Momento Fletor Máximo na Viga $M_{Max} = \frac{q \cdot L^2}{8}$ (5-2)

➤ Esforços Axiais no Cordões da Treliça $C = T = \frac{M_{Max}}{H}$ (5-3)

➤ Esforços Axiais nos Montantes da Treliça $M = \frac{q \cdot b}{2}$ (5-4)

➤ Esforços Axiais nas Diagonais da Treliça $D = \frac{V_{Max} - M}{\text{sen}\alpha}$ (5-5)

➤ Esforços Axiais nos Prumos da Treliça $P = q \cdot b$ (5-6)

5.2 Estrutura de suporte da Tela

5.2.1 Viga Trelaçada em Caixão

O pré dimensionamento da viga trelaçada em caixão que forma a estrutura principal de suporte da Tela foi realizado independentemente para cada um dos painéis horizontais e verticais, com base nas ações a que estão sujeitos estes painéis.

Os cordões que formam as barras da treliça espacial recebem simultaneamente os esforços axiais provenientes das ações verticais e horizontais. As barras interiores dos painéis verticais suportam as ações dos pesos próprios, das restantes cargas permanentes e das sobrecargas e as dos dos painéis horizontais recebem a ação do vento e do sismo, não contabilizada nesta fase do projeto, uma vez que neste tipo de estruturas é uma ação pouco significativa.

5.2.1.1 Painel Horizontal Superior

➤ **Diagonais**

As diagonais da viga horizontal superior indicada na Figura 2-11, que constitui o painel horizontal da viga em caixão trelaçada foram analisadas através do modelo estrutural da Figura 5-3, com base nas explicações já dadas no pré-dimensionamento.

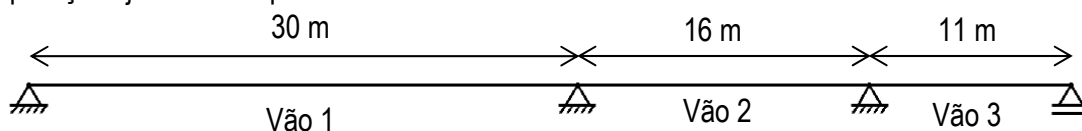


Figura 5-3 – Viga - Painéis Horizontais

Ações consideradas:

Vento – 0,51 kN/m determinado anteriormente.

$$q_{Ed} = 1,5 \times 0,51 = 0,77 \text{ kN/m}$$

As figuras seguintes ilustram os diversos passos utilizados no pré-dimensionamento desta viga.

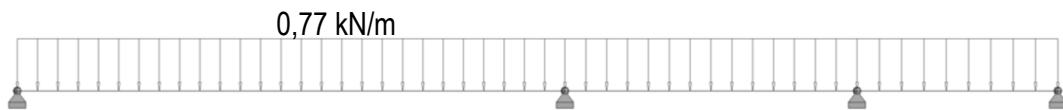


Figura 5-4 – Vento no Painel Horizontal Superior

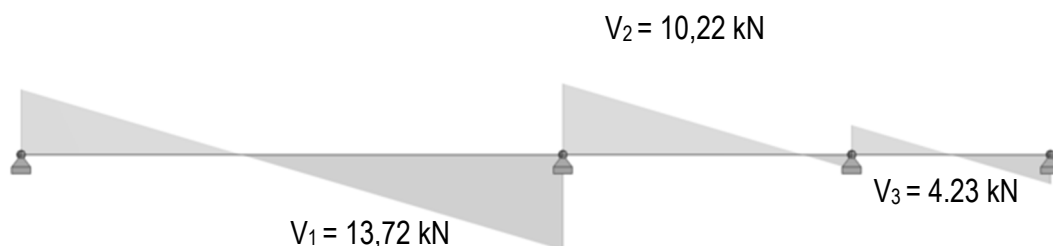


Figura 5-5 – Diagrama de Esforços Transversos

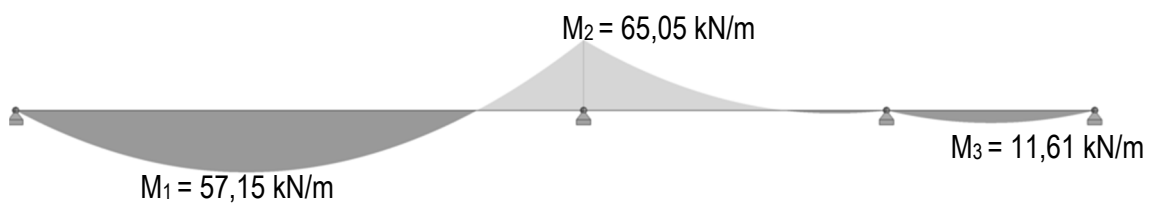


Figura 5-6 – Diagrama dos Momentos Fletores

Os esforços axiais máximos de cálculo nas diagonais mais solicitadas e os comprimentos de encurvadura destas barras estão indicados na Tabela 5-1.

Tabela 5-1 – Esforços Máximos e Comprimentos de Encurvadura

Diagonais	$N_{Ed,max}$ (kN)	L_{cr} (m)
Vão 1	20,87	1,45
Vão 2	13,58	1,45
Vão 3	5,31	1,45

Os perfis mais económicos foram os obtidos do ábaco da Figura 5-7.

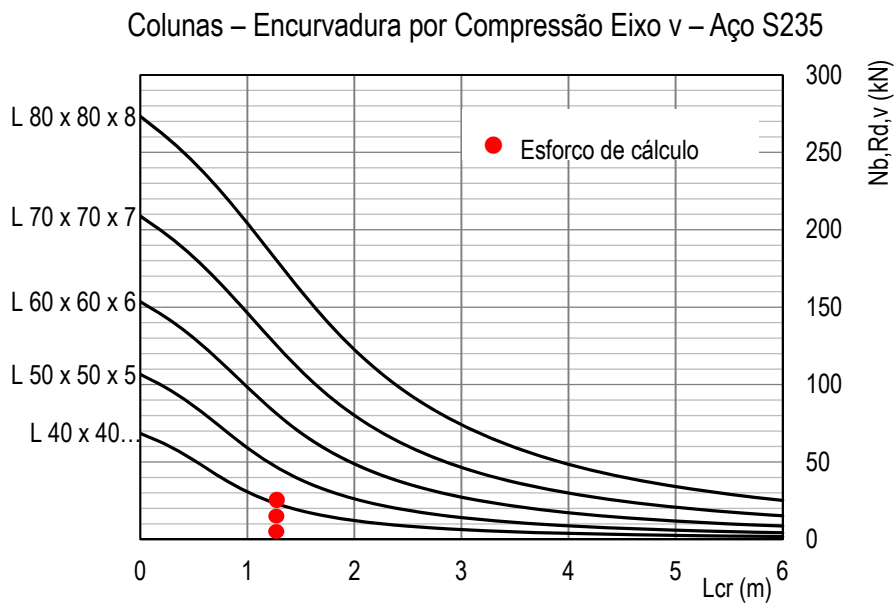


Figura 5-7 – Ábaco de Pré-dimensionamento das Diagonais

Conclusão

Os perfis das Diagonais mais solicitadas foram para o primeiro Vão, L50x50x5 e o segundo e terceiro Vão L40x40x4.

➤ Travessas

No pré-dimensionamento das travessas foram considerados além dos esforços axiais determinados no modelo em treliça os esforços provenientes da flexão e do esforço transversal devido às seguintes ações:

- Peso dos rolos e da tela: 1,10 kN/m;
- Material transportado: 0,95 kN/m.

$$q_{Ed} = 1,35 \times 1,10 + 1,5 \times 0,95 = 2,91 \text{ kN/m}$$

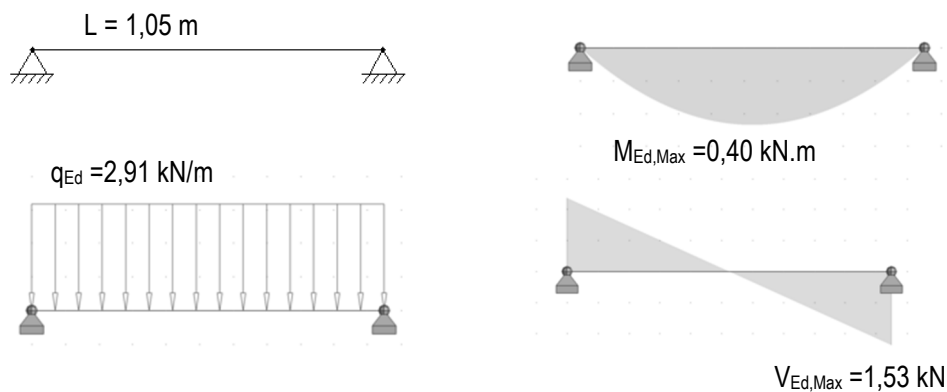


Figura 5-8 – Travessas – Modelo Estrutural, Ações e Diagramas de Esforços

Na Tabela 5-2 indica-se o esforço de cálculo da travessa mais solicitada que foi dimensionada como coluna-viga através de:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + K_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0 \quad (5-7)$$

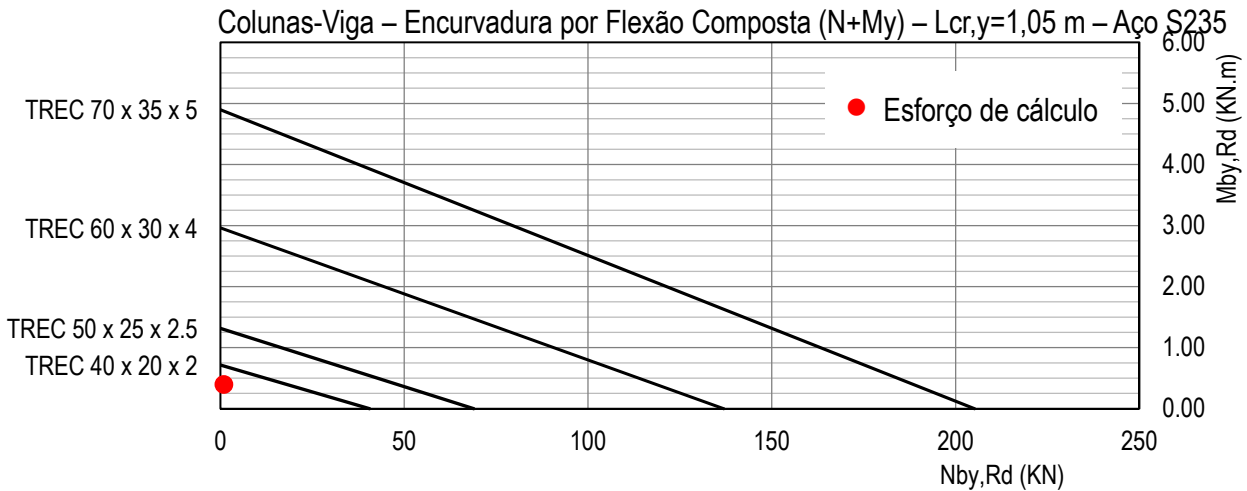


Figura 5-9 – Ábaco de Pré-dimensionamento das Travessas

Nota: Considerou-se nesta fase para K_{yy} o valor 1,0.

Tabela 5-2 – Esforços Máximos de Cálculo e Comprimento de Bameamento

Viga Horizontal	$N_{Ed,max}$ (kN)	$M_{Ed,max}$ (kN.m)	L_{cr} (m)
Travessas	0,87	0,40	1,05

Dos perfis que constam do ábaco da Figura 5-9 optou-se pelo Tubo TREC 40x20x2.

5.2.1.2 Painel Horizontal Inferior

Os cordões, as diagonais e as travessas secundárias que formam o painel horizontal inferior da viga em caixão são constituídos por perfis com as mesmas secções do painel horizontal superior, uma vez que as ações condicionantes são da mesma ordem de grandeza (vento e sismo).

Nas longarinas e travessas principais foi ainda necessário considerar o peso das passerelles de manutenção e das guardas, sendo que as passerelles apoiam diretamente nas longarinas.

➤ Longarinas

O pré-dimensionamento das longarinas foi realizado para a longarina exterior mais solicitada em que foram consideradas as seguintes ações:

5. Pré-dimensionamento

- Cargas permanentes:
 - Pavimentos 0,64 kN/m;
 - Guarda corpos 0,20 kN/m;
- Sobrecargas:
 - Pavimentos 1,62 kN/m;

$$q_{Ed} = 1,35 \times (0,64 + 0,20) + 1,5 \times 1,62 = 3,57 \text{ kN/m}$$

Modelo estrutural e Diagramas de Esforços:

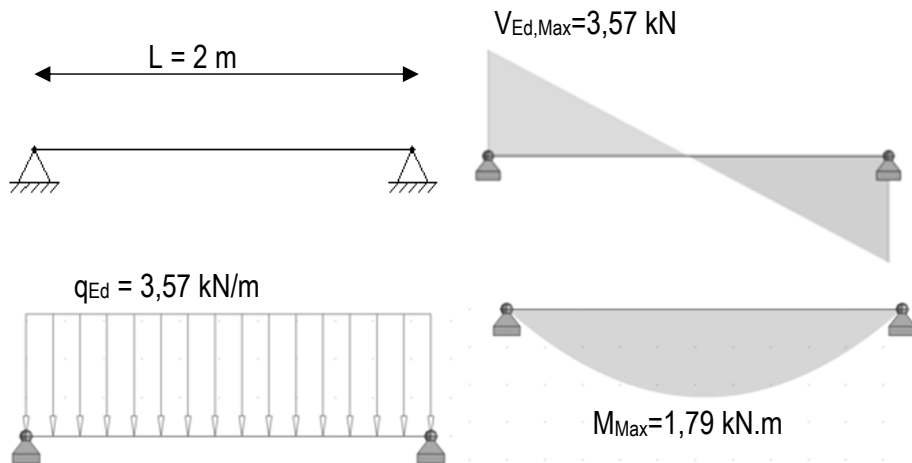


Figura 5-10 – Longarinas – Modelo Estrutural, Ações e Diagramas de Esforços.

Tabela 5-3 – Esforços Máximos de Cálculo e Comprimento de Bambeamento

Barra	$M_{Ed,max} \text{ (kN.m)}$	$L_{cr} \text{ (m)}$
Longarinas	1,79	2,00

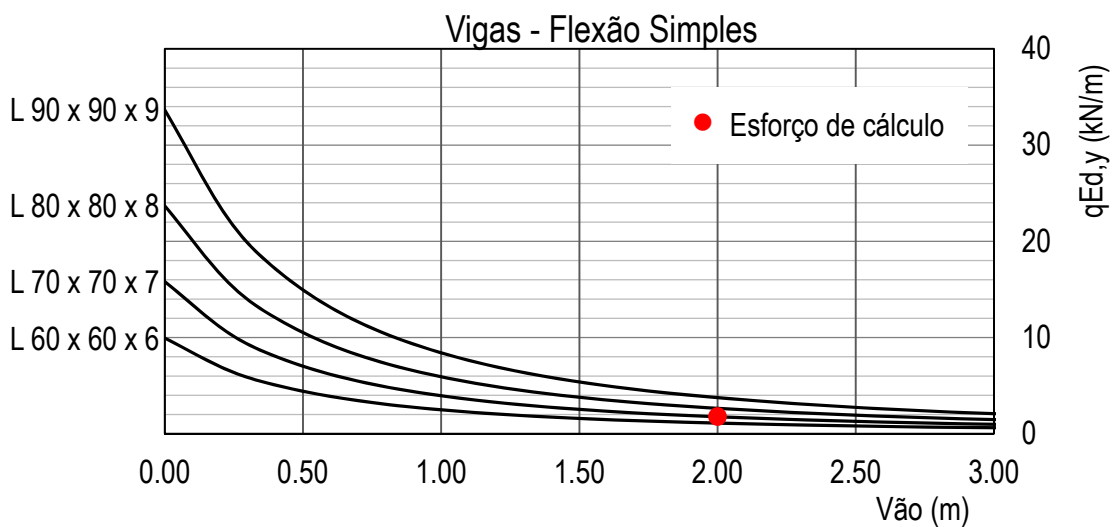


Figura 5-11 – Ábaco de Pré-Dimensionamento das Longarinas

Conclui-se que a cantoneira mais adequada é a L 80x8.

➤ Travessas

O modelo estrutural considerado foi o seguinte:

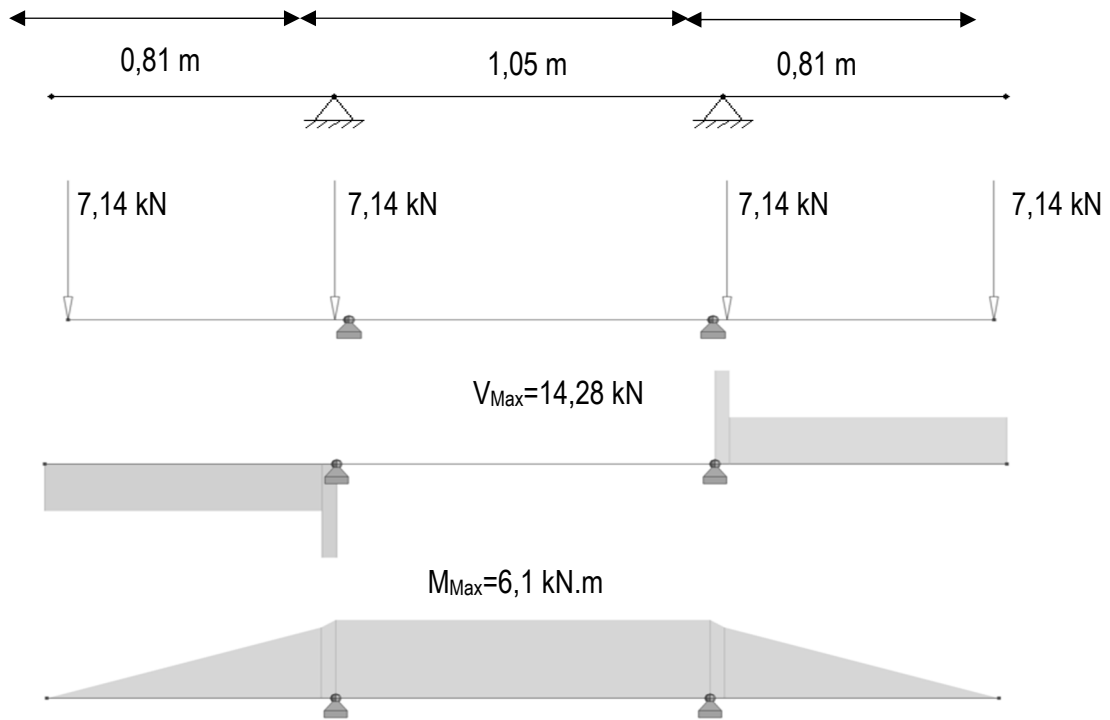


Figura 5-12 – Travessas – Modelo Estrutural, Ações e Diagramas de Esforços.

Os esforços máximos estão indicados na Tabela 5-4:

Tabela 5-4 – Momento de Cálculo e Comprimento de Bambeamento

	$M_{Ed,max}$ (kN.m)	L_{cr} (m)
Travessa	6,1	1,05

Com base no ábaco da Figura 5-13 optou-se pelo perfil HEB 100.

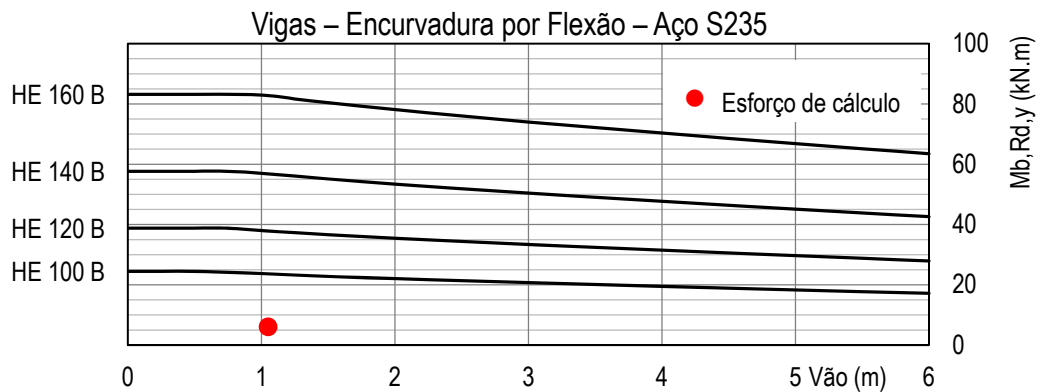


Figura 5-13 – Ábaco de Pré-dimensionamento das Travessas

5.2.1.3 Paineis Verticais

As vigas verticais dos painéis de barlavento e sotavento foram estudadas recorrendo ao modelo da Figura 5-14.

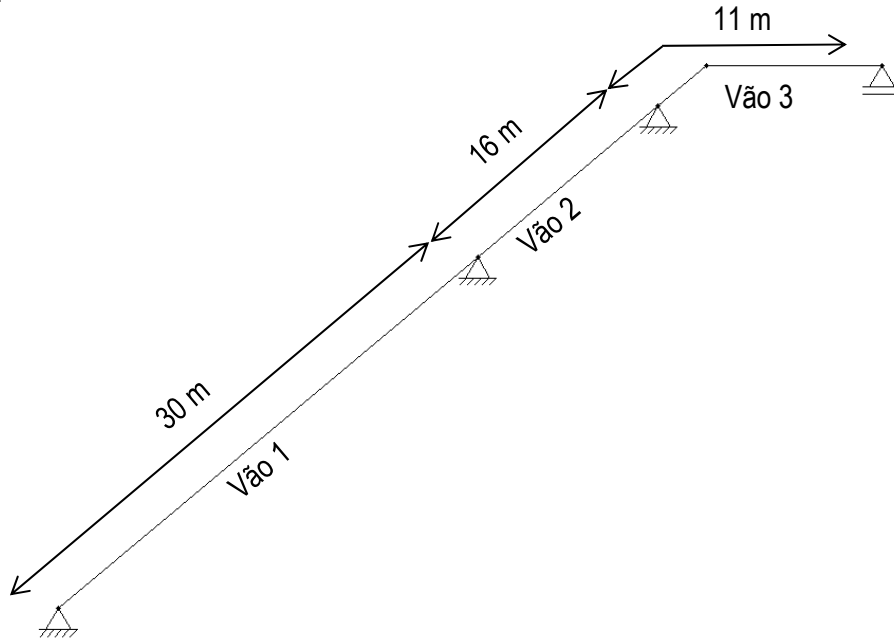


Figura 5-14 – Vigas – Paineis Verticais

Consideraram-se as seguintes ações:

- Cargas Permanentes:
 - Rolos e Tela 0,58 kN/m;
 - Pavimentos 0,32 kN/m;
 - Guarda corpos 0,20 kN/m;
- Sobrecargas:
 - Pavimentos 1,62 kN/m;
 - Material transportado 1,00 kN/m.

$$q_{Ed} = 1,35 \times (0,58 + 0,32 + 0,20) + 1,5 \times (1,62 + 1,00) = 5,42 \text{ kN/m}$$

Elementos respeitantes aos estudos realizados são indicados de seguida..



Figura 5-15 – Carga Atuante de Cálculo

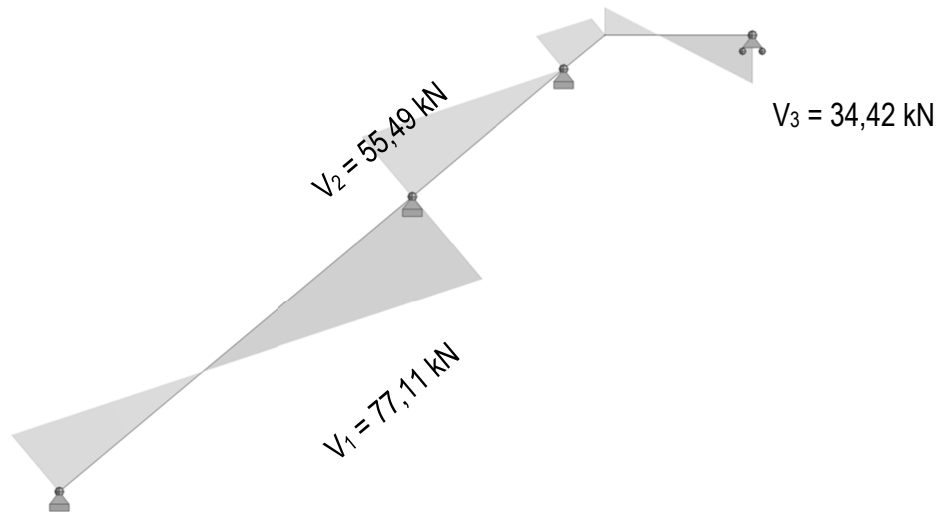


Figura 5-16 – Diagrama de Esforços Transversos

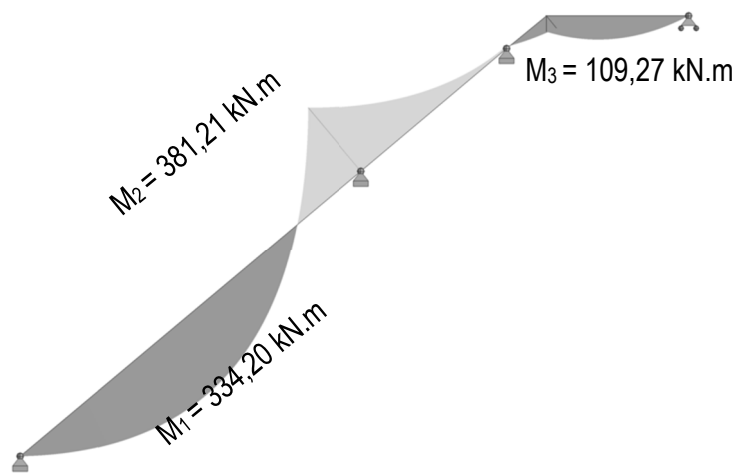


Figura 5-17 – Diagrama de Momento Fletores

➤ Diagonais dos Painéis Verticais

Tabela 5-5 – Esforço Máximos nas Diagonais e Comprimentos de Encurvadura

Diagonais	$N_{Ed,max}$ (kN)	L_{cr} (m)
Vão 1	109,05	1,55
Vão 2	78,47	1,55
Vão 3	48,68	1,55

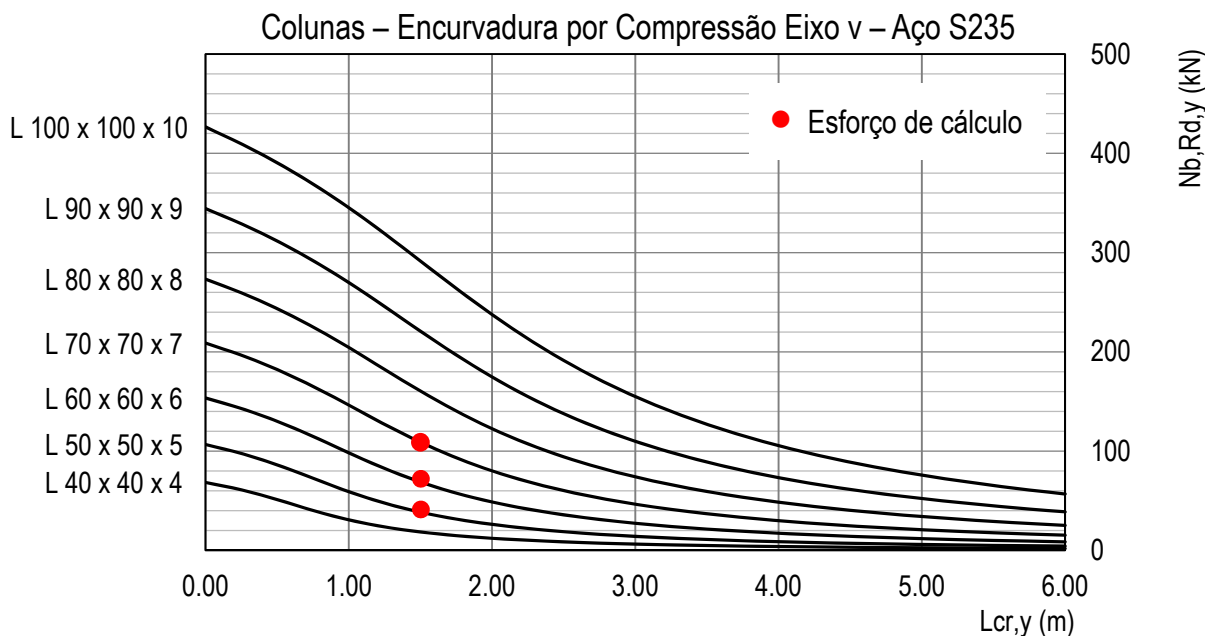


Figura 5-18 – Ábaco de Pré-dimensionamento das Diagonais

Escolheram-se os seguintes perfis:

Vão 1 – L80x8;

Vão 2 – L70x7

Vão 3 – L60x6

➤ Cordões dos Painéis Verticais

Tabela 5-6 – Esforços Máximos nos Cordões

Cordões	Viga Vertical $N_{Ed,max}$ (kN)	Viga Horizontal $N_{Ed,max}$ (kN)	N_{Total} (kN)	$L_{cr,y}$ (m)	$L_{cr,z}$ (m)
Vão 1	303,82	61,50	365,32	2,00	1,00
Vão 2	346,55	70,00	416,55	2,00	1,00
Vão 3	99,34	12,50	111,84	2,00	1,00

Colunas – Encurvadura por Compressão – Aço S235

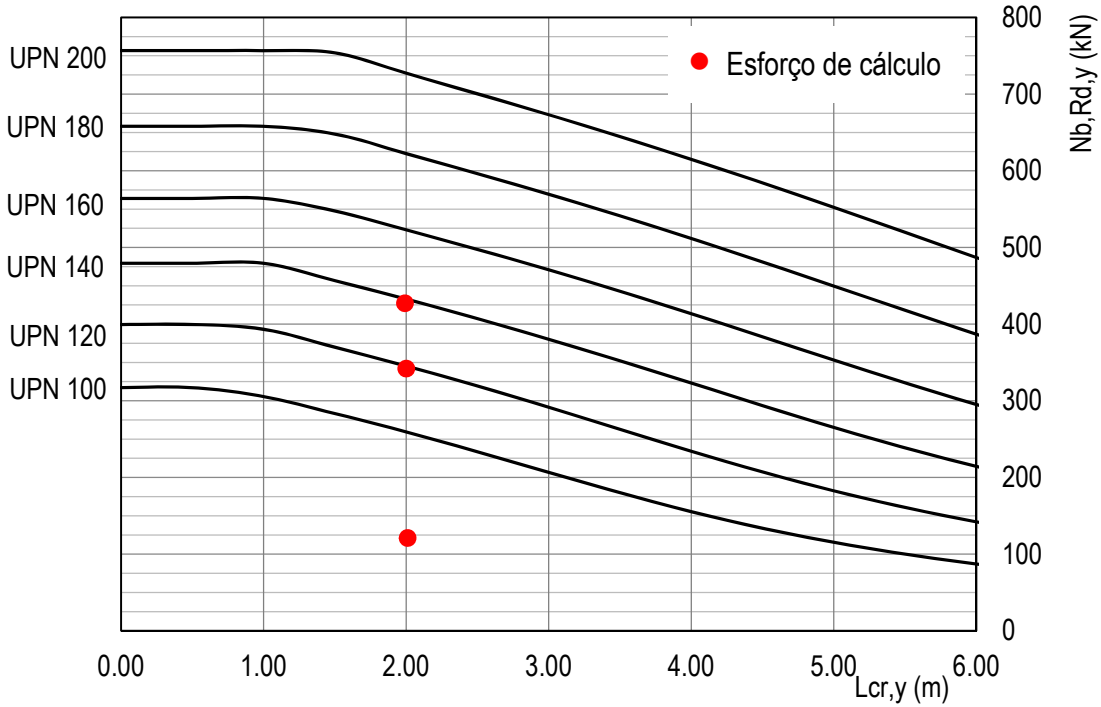


Figura 5-19 – Ábaco de Pré-dimensionamento dos Cordões (Eixo y-y)

Colunas – Encurvadura por Compressão – Aço S235

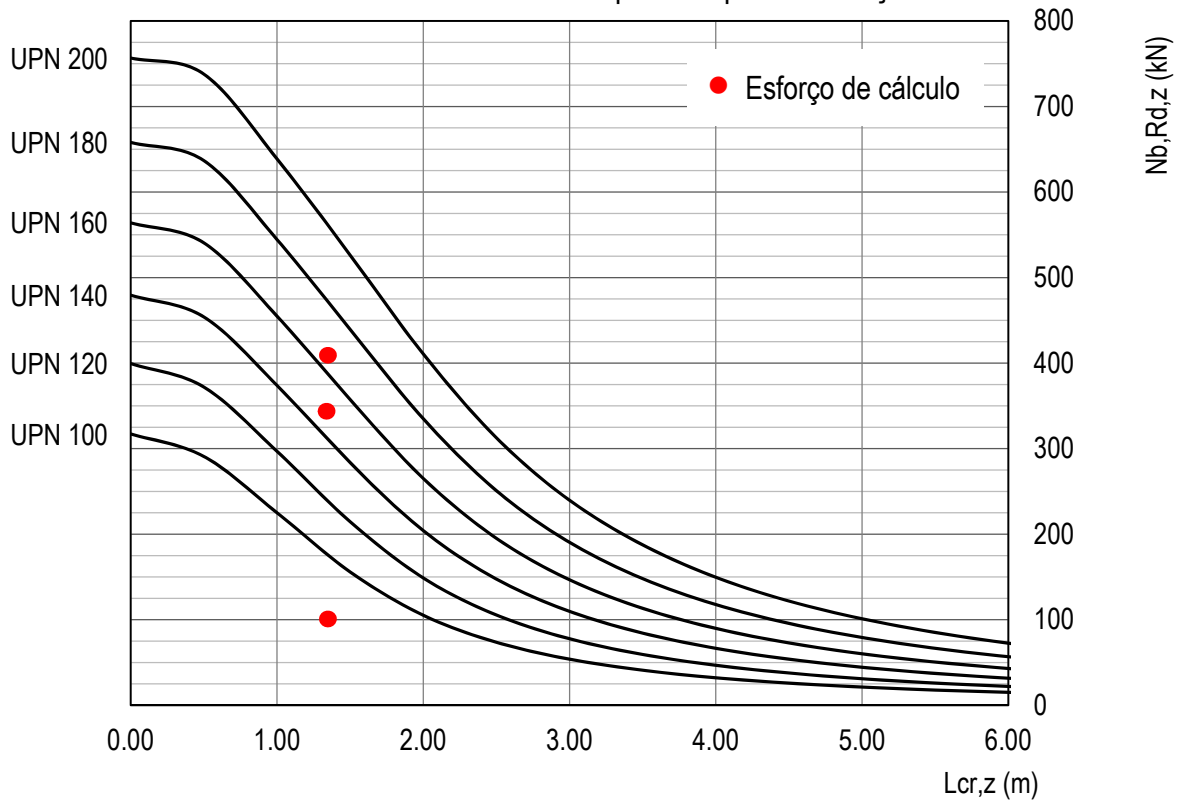


Figura 5-20 – Ábaco de Pré-dimensionamento dos Cordões (Eixo z-z)

5. Pré-dimensionamento

Consultando os ábacos das Figuras 5-19 e 5-20 optou-se para os cordões das vigas o UNP 160.

Na tabela seguinte resumem-se os diversos perfis obtidos do pré-dimensionamento.

Tabela 5-7 – Secções das Barras da Viga Trelaçada Espacial

Vigas	Barras	Secções
Viga Horizontal Superior	Cordões	UPN 160
	Diagonais	L 50x5
	Travessas	TREC 40x20x2
Viga Horizontal Inferior	Cordões	UPN 160
	Diagonais	L 50x5
	Travessas Secundária	L 50x5
	Longarinas	L 80x8
Vigas Verticais Barlavento/Sotavento	Travessas Principais	HEB 100
	Cordões	UPN 160
	Diagonais	L 80x8

5.2.2 Quadros Rígidos

No pré-dimensionamento dos quadros rígidos escolheu-se o quadro localizado acima do pilar entre o primeiro e segundo vão cujas larguras de influência são de 23 e 18 metros respetivamente, sendo que as cargas indicadas no quadro seguinte.

Tabela 5-8 – Ações nos Quadros.

Ações	Carga (kN/m)	Largura de Influência (m)	Carga aplicada em cada nó (kN)
Rolos e telas	0,575	23	13,23
Pavimento	0,32		7,36
Guarda corpos	0,20		4,60
Sobrecarga no pavimento	1,62		37,26
Sobrecarga do material	0,50		11,50
Sobrecarga do vento	0,58		13,34

Na Figura 5-21 indica-se a geometria e as forças aplicadas no quadro mais solicitado.

- Forças verticais $1,35 \times (13,23 + 7,36 + 4,60) + 1,5 \times (37,26 + 11,50) = 107,15 \text{ kN}$
- Forças horizontais $1,5 \times 13,34 = 20,01 \text{ kN}$

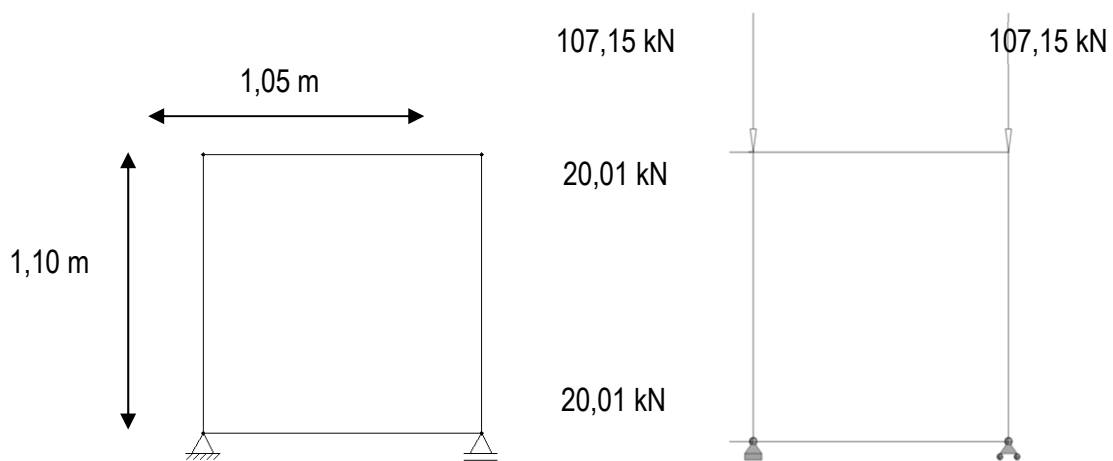


Figura 5-21 – Quadros Rígidos – Modelo Estrutural e Ações

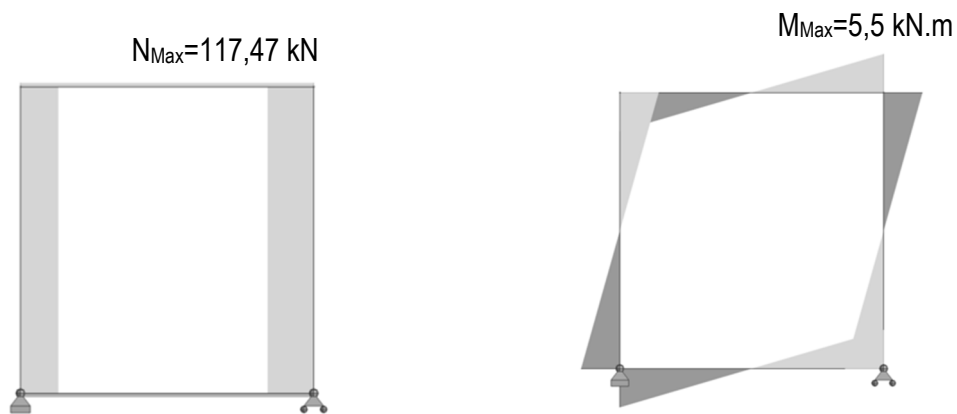


Figura 5-22 – Diagramas de Esforços.

Tabela 5-9 – Esforços Máximos e Comprimentos de Encurvadura

Barra	$N_{Ed,max}$ (kN)	$M_{Ed,max}$ (kN.m)	L_{cr} (m)
Prumo	117,47	5,5	1,10

A partir do ábaco da Figura 5-23 válido para o dimensionamento de colunas-vigas escolheram-se para todas as barras perfil HEB 100.

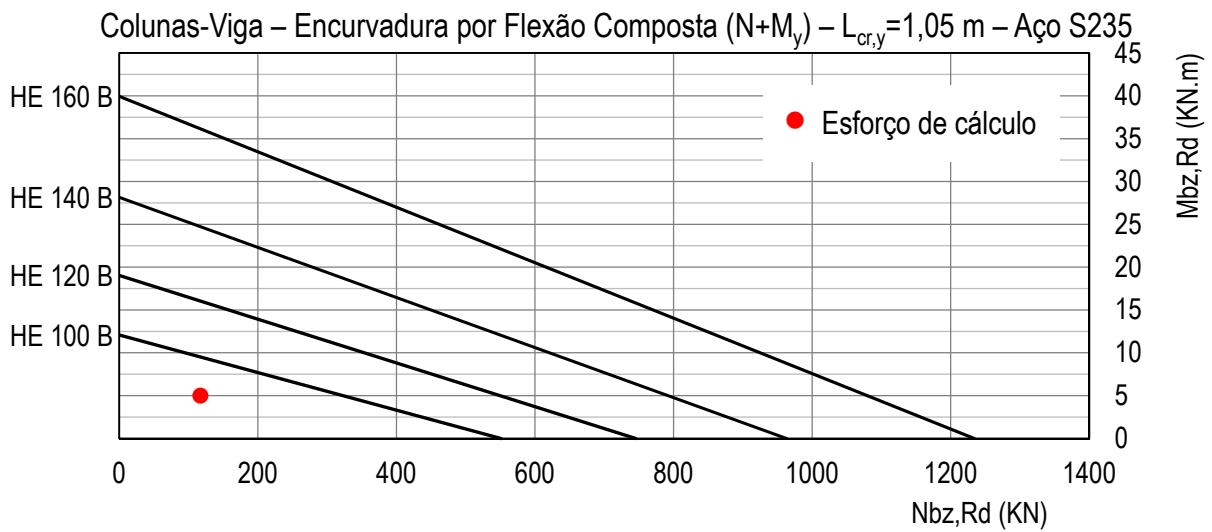


Figura 5-23 – Ábaco de pré-dimensionamento dos Quadros Rígidos

5.2.3 Pilar

O pré-dimensionamento do pilar foi realizado da mesma forma que as vigas treliçadas com base nos diagramas de momentos fletores e esforços axiais, em que os momentos máximos obtidos foram transformados em esforços axiais e adicionados aos esforços axiais.

Para o pré-dimensionamento foi ainda necessário proceder à análise dos esforços no sentido longitudinal (eixo x-x), e no sentido transversal (eixo y-y).

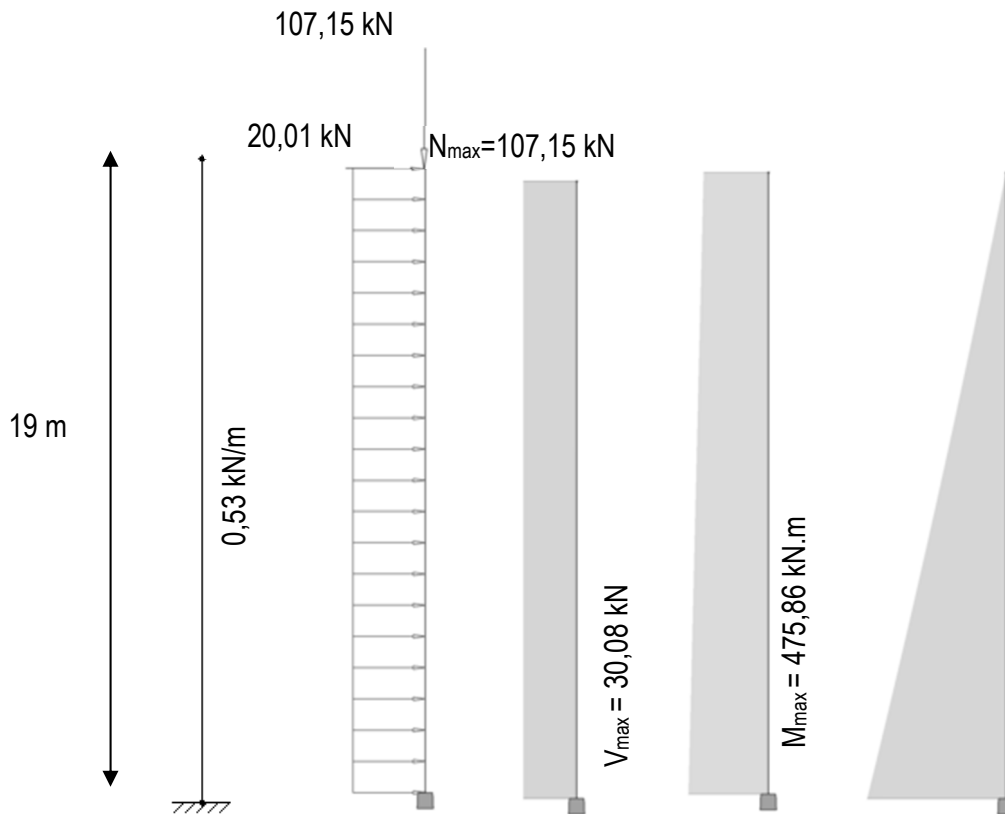


Figura 5-24 – Pilar – Modelo Estrutural, Ações e Diagramas de Esforços (Eixo y-y)

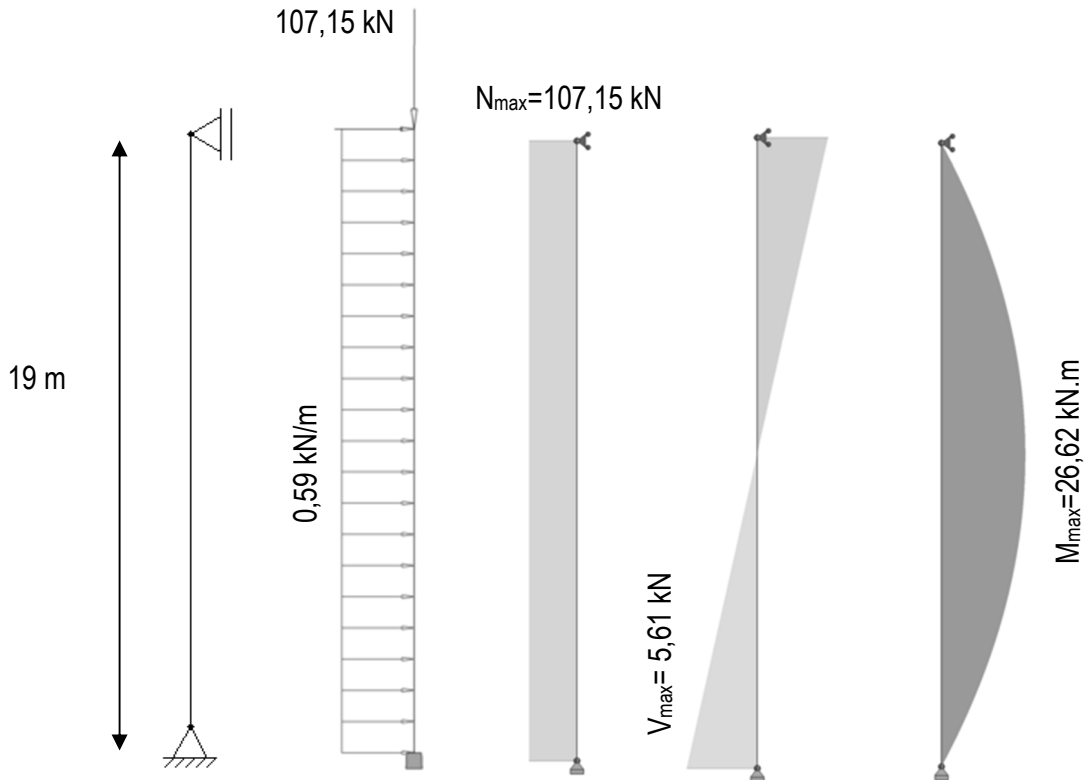


Figura 5-25 – Pilar – Modelo Estrutural, Ações e Diagramas de Esforços (Eixo x-x)

➤ **Cordões**

Os esforços máximos que atuam nos cordões são:

Tabela 5-10 – Esforços Axiais Máximos devidos a M_z

Barra	$M_{Ed,z}$ (kN.m)	Distância entre cordões – b (m)	$N_{Ed,z}$ (kN)	$N_{Ed,y}$ (kN)	$N_{Ed,Res}$ (kN)
Cordões	380,69	1,45	262,54	107,15	369,69

Tabela 5-11 – Esforços Axiais Máximos devidos a M_y

Barra	$M_{Ed,y}$ (kN.m)	$N_{Ed,Res}$ (kN)	L_{cr} (m)
Cordões	26,60	369,69	19,00

Com base nos ábacos das Figuras 5-26 e 5-27 realizados a partir das expressões do EC3 para as Colunas-Viga optou-se por perfis HEB 300.

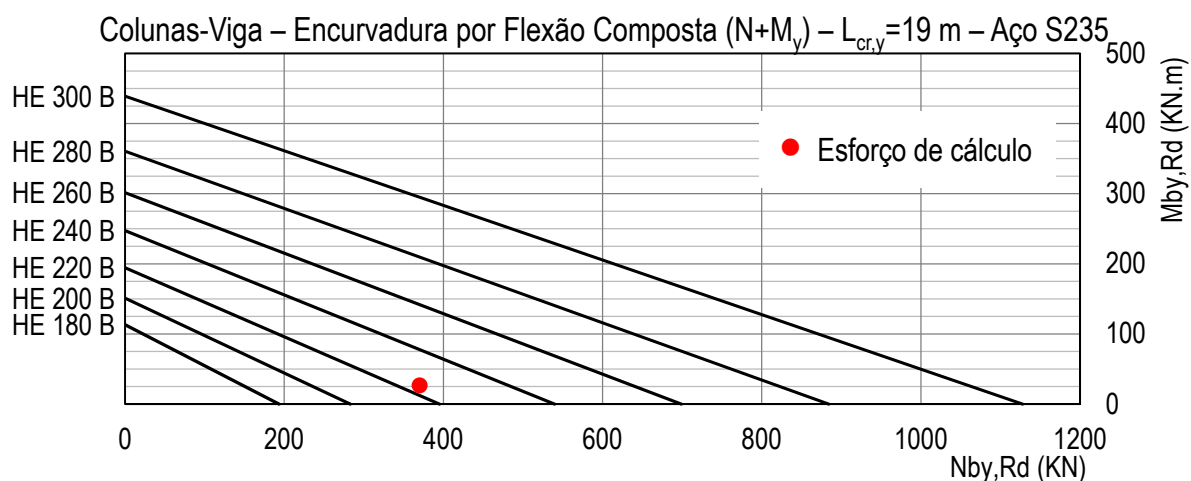


Figura 5-26 – Ábaco de Pré-dimensionamento dos Cordões (Eixo y-y)

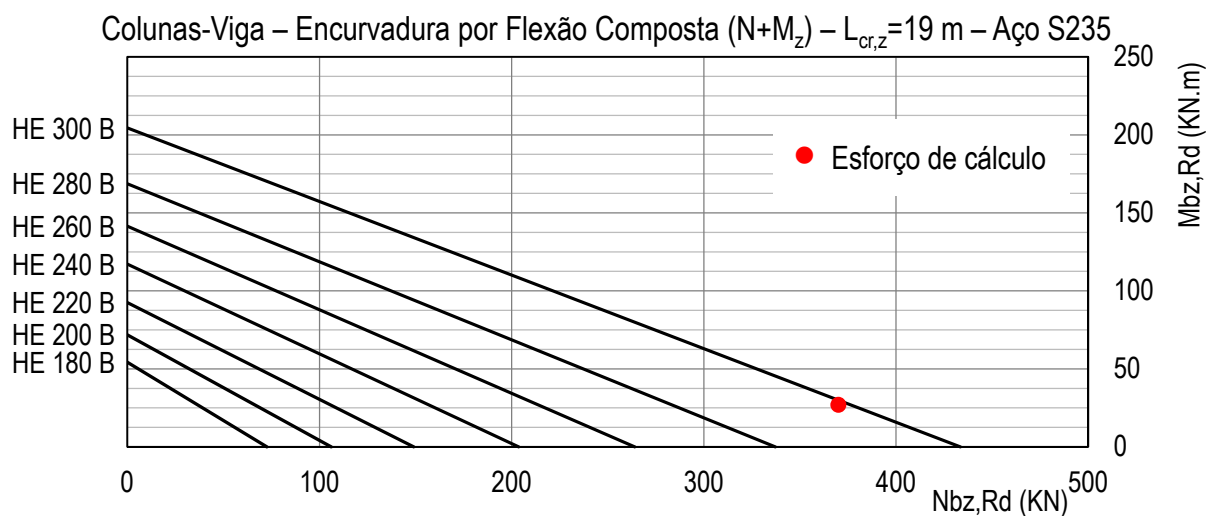


Figura 5-27 – Ábaco de Pré-dimensionamento dos Cordões (Eixo z-z)

➤ Prumos e Diagonais

O pré-dimensionamento dos prumos e diagonais foi feito com base nas seguintes informações:

Tabela 5-12 – Esforços de Compressão

Pilar	$N_{Ed,max}$ (kN)	$L_{cr,y}$ (m)	$L_{cr,z}$ (m)
Diagonais	55,74	5,56	5,56
Prumos	20,21	4,80	2,40

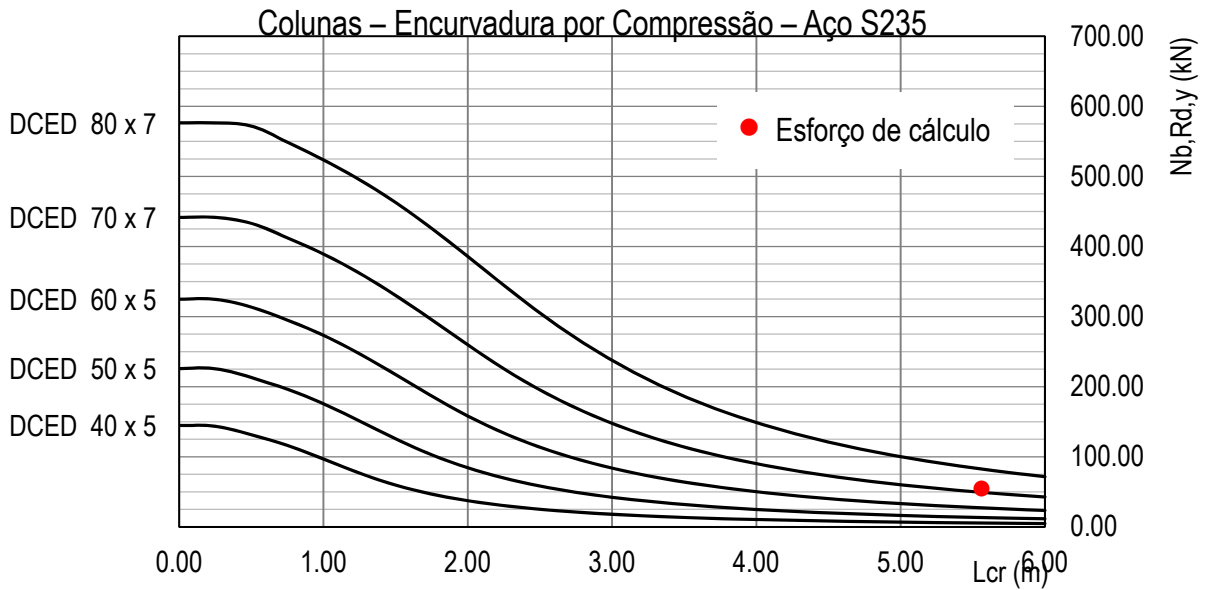


Figura 5-28 – Ábaco de pré-dimensionamento das Diagonais (Eixo y-y)

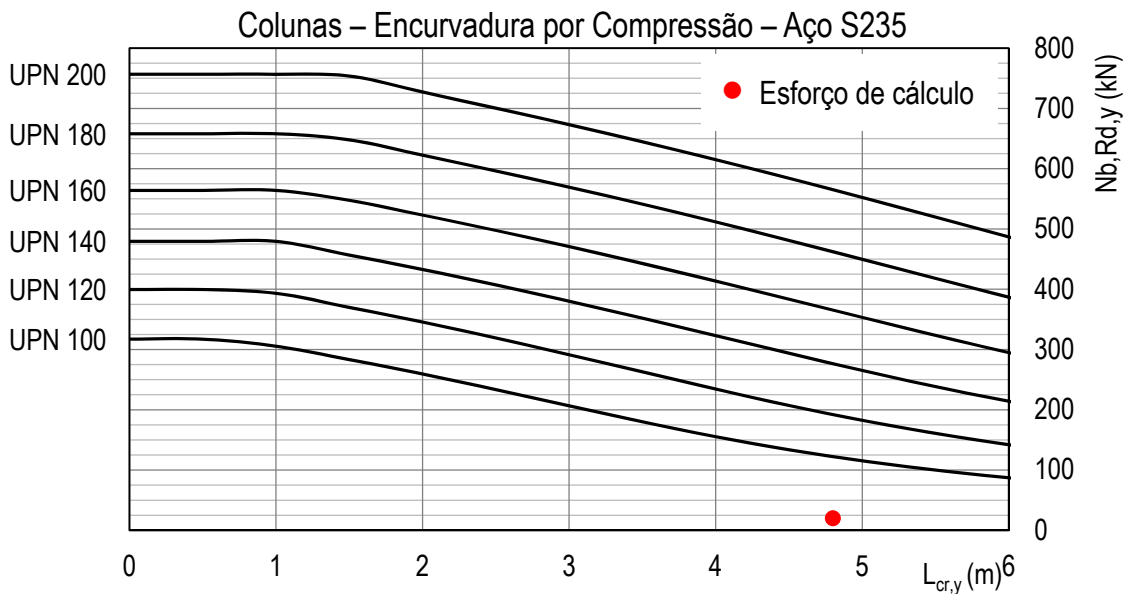


Figura 5-29 – Ábaco de pré-dimensionamento dos Prumos (Eixo y-y)

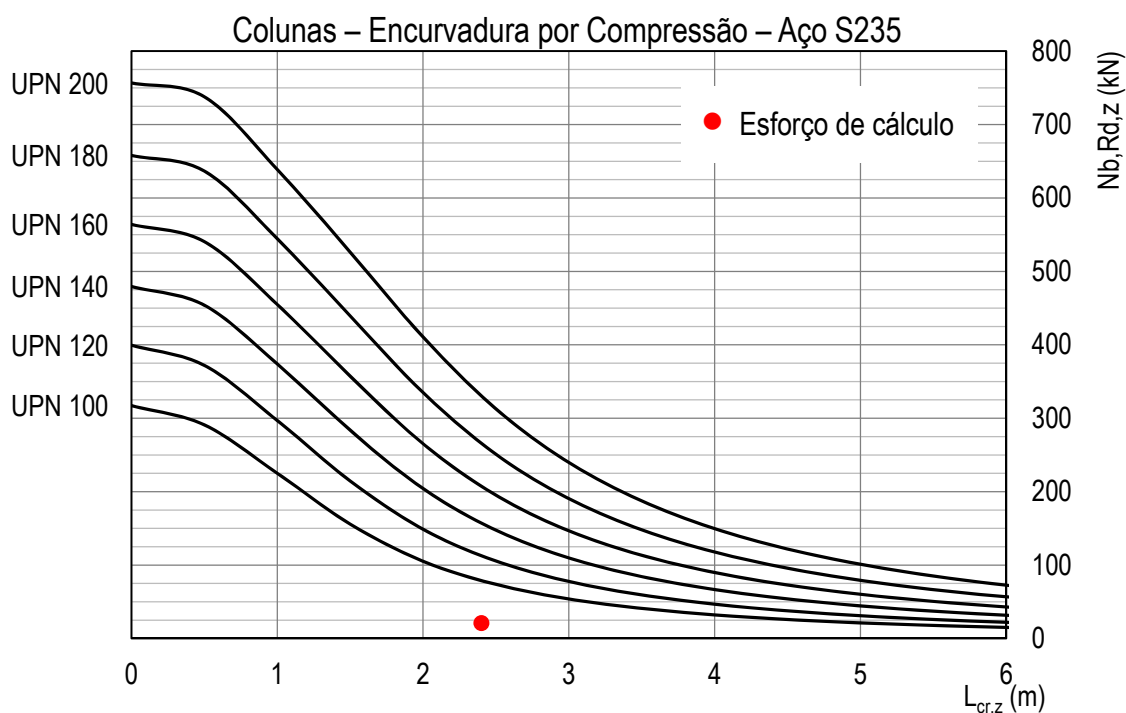


Figura 5-30 - Ábaco de pré-dimensionamento dos Prumos (Eixo z-z)

Os perfis selecionados para as diagonais e para os prumos foram 2L 70x7 e UNP 100, respetivamente, sendo indicados na Tabela 5-13 os perfis do pilar referentes a esta fase de estudos.

Tabela 5-13 – Pilar

Pilar	Barras	Secções
Pilar	Cordões	HEB 300
	Diagonais	DCED 70x7
	Travessas	UNP 100

5.2.4 Escora

O pré-dimensionamento da escora foi realizado do mesmo modo que o pilar e os resultados são apresentados no ANEXO I, tendo-se obtido perfis HEB 240 para os Cordões e Cantoneiras de 50x5 para as Diagonais.

6 Dimensionamento

Para o dimensionamento dos elementos metálicos foi desenvolvida uma Tabela de Cálculo em “Excel” bastante elaborada realizada a partir dos critérios e expressões de dimensionamento indicados na NP EN1993-1-1.

Foram igualmente realizados vários ábacos, que complementam os da fase de pré-dimensionamento. Recorreu-se, também, ao programa de cálculo automático da Autodesk “*Robot Structural Analysis Professional*”, para determinação dos esforços e deformações da Estrutura, bem como algumas sub-rotinas que este *software* utiliza no dimensionamento das barras e dos nós de ligação.

De modo a comparar e validar os resultados dos dimensionamentos realizados utilizaram-se também os *softwares*: “*Semicomp+*”, “*LTBeamN*” e “*A3C*”.

O faseamento das diversas operações de cálculo foi a seguinte:

1. Modelação da estrutura, determinação dos esforços e deformações no “*Robot*”;
2. Utilização de folhas de cálculo e gráficos realizados a partir do *Excel*;
3. Utilização do *software* “*LTBeamN*” na determinação dos momentos críticos em vigas e do programa “*Semicomp+*” na verificação das colunas-viga.
4. O dimensionamento final foi feito no “*Robot*” comparando-se os resultados obtidos com os da Tabela em *Excel*.

Notas: - De referir que no dimensionamento das cantoneiras caso fosse considerado o estipulado no Anexo BB do EC3, parte 1-1, os resultados seriam mais ou menos conservativos pois dependeriam não só da esbeteza do elemento mas também do tipo de ligação.

- Nos dimensionamentos realizados com recurso ao *software* Robot são apresentados os relatórios simplificados do cálculo.

No dimensionamento dos plintos e sapatas em betão armado, foram utilizados os *softwares* “*Robot Structural Analysis Professional*” e o “*Gala Reinforcement*”.

As ligações metálicas foram calculadas recorrendo a dois *softwares*: “*Robot Structural Analysis Professional*” e “*Advance Steel*”.

A Tabela de Cálculo realizada para este Projeto inclui a seguinte informação:

- **Folha 1** – *Perfis* – Definem-se as características mecânicas e geométricas;
- **Folha 2** – *Introdução dos Dados* – Escolhe-se o tipo de aço a utilizar;
- **Folha 3** – *Tabela de Cálculo* – Juntam-se todos os parâmetros necessários ao cálculo das barras (Colunas, Vigas ou Colunas-Viga), compreendendo os seguintes campos:
 - Campo 1 – Identificação da barra, Comprimento e Combinação Condicionante;
 - Campo 2 – Esforços de Cálculo;

- Campo 3 – Perfil a dimensionar, Classe do Aço e Características Geométricas e Elásticas;
 - Campo 4 – Verificação à Encurvadura por Compressão - Colunas;
 - Campo 5 – Verificação ao Esforço Transverso;
 - Campo 6 – Verificação à Flexão Simples;
 - Campo 7 – Verificação à Encurvadura por Flexão - Vigas;
 - Campo 8 – Verificação aos Esforços Combinados (N+M+V+T);
 - Campo 9 – Determinação dos Coeficientes de Momento Uniforme Equivalentes;
 - Campo 10 – Verificação à Encurvadura por Flexão Composta com Compressão- Colunas-Viga;
- **Folha 4** – *Relatório Conclusivo relativo à verificação das Colunas;*
- **Folha 5** – *Relatório Conclusivo referente à verificação das Vigas;*
- **Folha 6** – *Relatório Conclusivo relativo à verificação das Colunas-Viga.*

Campo 1					Campo 2					Campo 3															Classe										
Elemento					Esforços actuantes					Dados Geométricos															Classe										
Identificação	Numeração	Tipo	Combinação	Secção (m)	$N_{c,Ed}$ (kN)	$V_{y,Ed}$ (kN)	$V_{z,Ed}$ (kN)	$M_{y,Ed}$ (kN.m)	$M_{z,Ed}$ (kN.m)	Perfil	Aço	f_u (N/mm ²)	f_y (N/mm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	A (mm ²)	h (mm)	h_i (mm)	b (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	I_y (mm ⁴)	$W_{el,y}$ (mm ³)	$W_{pl,y}$ (mm ³)	i_y (cm)	A_{vz} (cm)	I_z (mm ⁴)	$W_{el,z}$ (mm ³)	$W_{pl,z}$ (mm ³)	$I_w \times 10^{-3}$ (mm ⁶)	I_t (mm ⁴)	i_z (cm)	Compressão	Flexão	Adoptada
Cordões Escora	294	Coluna-Viga	77 - ELS.Pass(T+) Wxx	si - 0.00	271.40	0.59	-3.63	0.00	0.00	HE 200 B	S 235	360	235	210000	80769	7808	200	170	200	9	15	56960000	569600	642500	8.54	24.83	20030000	200300	305800	1.71E+11	592800	5.07	1	1	1
				sm - 1.07	270.91	0.59	-3.22	3.65	0.63	HE 200 B	S 235	360	235	210000	80769	7808	200	170	200	9	15	56960000	569600	642500	8.54	24.83	20030000	200300	305800	1.71E+11	592800	5.07	1	1	1
				sf - 2.13	270.41	0.59	-2.81	6.86	1.26	HE 200 B	S 235	360	235	210000	80769	7808	200	170	200	9	15	56960000	569600	642500	8.54	24.83	20030000	200300	305800	1.71E+11	592800	5.07	1	1	1
Cordões Escora	293	Coluna-Viga	77 - ELS.Pass(T+) Wxx	si - 0.00	239.71	-0.18	-2.70	6.88	1.25	UPN 120	S 235	360	235	210000	80769	1700	120	102	55	7	9	3640000	60700	72600	4.62	8.8	432000	11100	21200	9E+08	41500	1.59	1	1	1
				sm - 1.07	239.22	-0.18	-2.28	9.53	1.06	UPN 120	S 235	360	235	210000	80769	1700	120	102	55	7	9	3640000	60700	72600	4.62	8.8	432000	11100	21200	9E+08	41500	1.59	1	1	1
				sf - 2.13	238.73	-0.18	-1.87	11.74	0.87	UPN 120	S 235	360	235	210000	80769	1700	120	102	55	7	9	3640000	60700	72600	4.62	8.8	432000	11100	21200	9E+08	41500	1.59	1	1	1
Cordões Escora	243	Coluna-Viga	77 - ELS.Pass(T+) Wxx	si - 0.00	208.70	-0.05	-1.71	11.75	0.87	UPN 120	S 235	360	235	210000	80769	1700	120	102	55	7	9	3640000	60700	72600	4.62	8.8	432000	11100	21200	9E+08	41500	1.59	1	1	1
				sm - 1.07	208.21	-0.05	-1.30	13.33	0.82	UPN 120	S 235	360	235	210000	80769	1700	120	102	55	7	9	3640000	60700	72600	4.62	8.8	432000	11100	21200	9E+08	41500	1.59	1	1	1
				sf - 2.13	207.72	-0.05	-0.88	14.47	0.77	UPN 120	S 235	360	235	210000	80769	1700	120	102	55	7	9	3640000	60700	72600	4.62	8.8	432000	11100	21200	9E+08	41500	1.59	1	1	1

Campo 4

Verificação da Secção		Verificação do elemento - Coluna																		Plano de Encurvadura		Rácio $N_{c,Ed}/N_{b,Rd} \leq 1$			
Tracção	Compressão	Eixo y									Eixo z									Plano de Encurvadura	Rácio $N_{c,Ed}/N_{b,Rd} \leq 1$				
$N_{t,Rd}$ (KN)	$N_{c,Rd}$ (KN)	Curva de encurvadura	α_y	i_y (cm)	$L_{cr,y}$ (m)	ϵ	λ_1	λ_y	$\bar{\lambda}_y$	$\bar{\lambda}_y \leq 0,2$	ϕ_y	χ_y	$N_{b,y,Rd}$ (KN)	Curva de encurvadura	α_z	i_z (cm)	$L_{cr,z}$ (m)	λ_z	$\bar{\lambda}_z$			$\bar{\lambda}_z \leq 0,2$	ϕ_z	χ_z	$N_{b,z,Rd}$ (KN)
-	1834.88	b	0.34	8.54	16.00	1	93.9	187	2.00	Verificar Encurvadura	2.80	0.21	385.97	c	0.49	5.07	2.13	42.01	0.45	Verificar Encurvadura	0.66	0.87	1599.91	y - y	✓ 0.70
-	1834.88	b	0.34	8.54	16.00	1	93.9	187	2.00	Verificar Encurvadura	2.80	0.21	385.97	c	0.49	5.07	2.13	42.01	0.45	Verificar Encurvadura	0.66	0.87	1599.91	y - y	✓ 0.70
-	1834.88	b	0.34	8.54	16.00	1	93.9	187	2.00	Verificar Encurvadura	2.80	0.21	385.97	c	0.49	5.07	2.13	42.01	0.45	Verificar Encurvadura	0.66	0.87	1599.91	y - y	✓ 0.70
-	1834.88	b	0.34	8.54	2.13	1	93.9	25	0.27	Verificar Encurvadura	0.55	0.98	1791.94	c	0.49	5.07	2.13	42.01	0.45	Verificar Encurvadura	0.66	0.87	1599.91	z - z	✓ 0.15
-	1834.88	b	0.34	8.54	2.13	1	93.9	25	0.27	Verificar Encurvadura	0.55	0.98	1791.94	c	0.49	5.07	2.13	42.01	0.45	Verificar Encurvadura	0.66	0.87	1599.91	z - z	✓ 0.15
-	1834.88	b	0.34	8.54	2.13	1	93.9	25	0.27	Verificar Encurvadura	0.55	0.98	1791.94	c	0.49	5.07	2.13	42.01	0.45	Verificar Encurvadura	0.66	0.87	1599.91	z - z	✓ 0.15
-	1834.88	b	0.34	8.54	2.13	1	93.9	25	0.27	Verificar Encurvadura	0.55	0.98	1791.94	c	0.49	5.07	2.13	42.01	0.45	Verificar Encurvadura	0.66	0.87	1599.91	z - z	✓ 0.13
-	1834.88	b	0.34	8.54	2.13	1	93.9	25	0.27	Verificar Encurvadura	0.55	0.98	1791.94	c	0.49	5.07	2.13	42.01	0.45	Verificar Encurvadura	0.66	0.87	1599.91	z - z	✓ 0.13
-	1834.88	b	0.34	8.54	2.13	1	93.9	25	0.27	Verificar Encurvadura	0.55	0.98	1791.94	c	0.49	5.07	2.13	42.01	0.45	Verificar Encurvadura	0.66	0.87	1599.91	z - z	✓ 0.13

Campo 5

Campo 6

Dispensa de encurvadura devido ao ET	Verificação da Secção ao Esforço transverso											Verificação da Secção à Flexão											
	Classe 1 e 2 - Plástica						Classe 3 e 4 - Elástica					Flexão Simples											
	$h_w/t_w \leq 72 \cdot \epsilon / \eta$	$A_{v,y}$	$V_{pl,y,Rd}$	Rácio $V_{y,Ed}/V_{pl,y,Rd} \leq 1$	$A_{v,z}$	$V_{pl,z,Rd}$	Rácio $V_{z,Ed}/V_{pl,z,Rd} \leq 1$	$f_y/(3^{0.5} \cdot \gamma_{M0})$	τ_{Ed} Eixo y-y (N/mm ²)	$(\tau_{Ed} \cdot 3^{0.5} \cdot \gamma_{M0})/f_y \leq 1$	τ_{Ed} Eixo z-z (N/mm ²)	$(\tau_{Ed} \cdot 3^{0.5} \cdot \gamma_{M0})/f_y \leq 1$	$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} < 0,5$	$M_{pl,y,Rd}$ (kN.m)	$M_{el,y,Rd}$ (kN.m)	ρ	$M_{y,V,Rd}$ (kN.m)	Rácio $M_{y,Ed}/M_{y,Rd}$	$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} < 0,5$	$M_{pl,z,Rd}$ (kN.m)	$M_{el,z,Rd}$ (kN.m)	ρ	$M_{z,V,Rd}$ (kN.m)
19 < 60 - Sim	53.25	722.48	✓ 0.00	24.83	336.89	✓ 0.01	429.05	0.386	✓ 0.00	0.605	✓ 0.00	VEd sem significado	150.99	133.856	1.04	150.99	✓ 0.00	VEd sem significado	71.86	72.108	1.00	71.86	✓ 0.00
19 < 60 - Sim	53.25	722.48	✓ 0.00	24.83	336.89	✓ 0.01	429.05	0.386	✓ 0.00	0.537	✓ 0.00	VEd sem significado	150.99	133.856	1.04	150.99	✓ 0.02	VEd sem significado	71.86	72.108	1.00	71.86	✓ 0.01
19 < 60 - Sim	53.25	722.48	✓ 0.00	24.83	336.89	✓ 0.01	429.05	0.386	✓ 0.00	0.468	✓ 0.00	VEd sem significado	150.99	133.856	1.03	150.99	✓ 0.05	VEd sem significado	71.86	72.108	1.00	71.86	✓ 0.02
19 < 60 - Sim	53.25	722.48	✓ 0.00	24.83	336.89	✓ 0.01	429.05	0.118	✓ 0.00	0.450	✓ 0.00	VEd sem significado	150.99	133.856	1.03	150.99	✓ 0.05	VEd sem significado	71.86	72.108	1.00	71.86	✓ 0.02
19 < 60 - Sim	53.25	722.48	✓ 0.00	24.83	336.89	✓ 0.01	429.05	0.118	✓ 0.00	0.380	✓ 0.00	VEd sem significado	150.99	133.856	1.03	150.99	✓ 0.06	VEd sem significado	71.86	72.108	1.00	71.86	✓ 0.01
19 < 60 - Sim	53.25	722.48	✓ 0.00	24.83	336.89	✓ 0.01	429.05	0.118	✓ 0.00	0.312	✓ 0.00	VEd sem significado	150.99	133.856	1.02	150.99	✓ 0.08	VEd sem significado	71.86	72.108	1.00	71.86	✓ 0.01
19 < 60 - Sim	53.25	722.48	✓ 0.00	24.83	336.89	✓ 0.01	429.05	0.033	✓ 0.00	0.285	✓ 0.00	VEd sem significado	150.99	133.856	1.02	150.99	✓ 0.08	VEd sem significado	71.86	72.108	1.00	71.86	✓ 0.01
19 < 60 - Sim	53.25	722.48	✓ 0.00	24.83	336.89	✓ 0.00	429.05	0.033	✓ 0.00	0.217	✓ 0.00	VEd sem significado	150.99	133.856	1.02	150.99	✓ 0.09	VEd sem significado	71.86	72.108	1.00	71.86	✓ 0.01
19 < 60 - Sim	53.25	722.48	✓ 0.00	24.83	336.89	✓ 0.00	429.05	0.033	✓ 0.00	0.147	✓ 0.00	VEd sem significado	150.99	133.856	1.01	150.99	✓ 0.10	VEd sem significado	71.86	72.108	1.00	71.86	✓ 0.01

Campo 7

Verificação à Encurvadura Lateral																							
Rotação em z-z (K_t)	Restringe o Empenamento? (K_w)	Tipos de cargas e de apoios	K_L	K_w	ψ	Ponto de aplicação da carga	z _a (mm)	z _s (mm)	z _j (mm)	z _g (mm)	C1	C2	C3	Mcr (kN.m)	Curva de encurvadura	ϵ	α	$\bar{\lambda}_{LT}$	$\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,2$	ϕ_{LT}	χ_{LT}	$M_{b,y,Rd}$	Rácio $M_{Ed}/M_{b,Rd} \leq 1$
Sim	Não	MA	1.0	1.0	0.00	B. Sup	100.0	0.0	0.0	100.0	1.789	0.000	0.939	1921.29	a	1	0.21	0.280	Verificar Encurvadura Lateral	0.548	0.982	148.2769	✓ 0.05
Sim	Não	MA	1.0	1.0	0.00	B. Sup	100.0	0.0	0.0	100.0	1.789	0.000	0.939	1921.29	a	1	0.21	0.280	Verificar Encurvadura Lateral	0.548	0.982	148.2769	✓ 0.05
Sim	Não	MA	1.0	1.0	0.00	B. Sup	100.0	0.0	0.0	100.0	1.789	0.000	0.939	1921.29	a	1	0.21	0.280	Verificar Encurvadura Lateral	0.548	0.982	148.2769	✓ 0.05
Sim	Não	CD-A	1.0	1.0	0.59	CG	0.0	0.0	1.0	0.0	1.132	0.459	0.525	1215.71	a	1	0.21	0.352	Verificar Encurvadura Lateral	0.578	0.965	145.6894	✓ 0.08
Sim	Não	CD-A	1.0	1.0	0.59	CG	0.0	0.0	1.0	0.0	1.132	0.459	0.525	1215.71	a	1	0.21	0.352	Verificar Encurvadura Lateral	0.578	0.965	145.6894	✓ 0.08
Sim	Não	CD-A	1.0	1.0	0.59	CG	0.0	0.0	1.0	0.0	1.132	0.459	0.525	1215.71	a	1	0.21	0.352	Verificar Encurvadura Lateral	0.578	0.965	145.6894	✓ 0.08
Sim	Não	CD-A	1.0	1.0	0.81	CG	0.0	0.0	1.0	0.0	1.132	0.459	0.525	1215.71	a	1	0.21	0.352	Verificar Encurvadura Lateral	0.578	0.965	145.6894	✓ 0.10
Sim	Não	CD-A	1.0	1.0	0.81	CG	0.0	0.0	1.0	0.0	1.132	0.459	0.525	1215.71	a	1	0.21	0.352	Verificar Encurvadura Lateral	0.578	0.965	145.6894	✓ 0.10
Sim	Não	CD-A	1.0	1.0	0.81	CG	0.0	0.0	1.0	0.0	1.132	0.459	0.525	1215.71	a	1	0.21	0.352	Verificar Encurvadura Lateral	0.578	0.965	145.6894	✓ 0.10

Campo 8

Flexão Composta											Flexão Desviada			
Eixo y-y						Eixo z-z								
n	a	$N_{Ed}/N_{pl,Rd} \leq 0,25$	$N_{Ed}/h_w \cdot t_w \cdot f_y \leq 0,5$		$M_{N,y,Rd}$	$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} \leq 1$	$N_{Ed}/h_w \cdot t_w \cdot f_y \leq 1$		$M_{N,z,Rd}$	$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} \leq 1$	Tipo de Secção	α	β	Verificação
0.15	0.232	0.15	0.75	Calcular MRd Reduzido	145.5006	✓ 0.00	0.75	Redução de MRd N.A.	71.86	✓ 0.00	Secção H	2.00	1.00	✓ 0.00
0.15	0.232	0.15	0.75	Calcular MRd Reduzido	145.5462	✓ 0.03	0.75	Redução de MRd N.A.	71.86	✓ 0.01	Secção H	2.00	1.00	✓ 0.01
0.15	0.232	0.15	0.75	Calcular MRd Reduzido	145.5927	✓ 0.05	0.75	Redução de MRd N.A.	71.86	✓ 0.02	Secção H	2.00	1.00	✓ 0.02
0.13	0.232	0.13	0.67	Calcular MRd Reduzido	148.4497	✓ 0.05	0.67	Redução de MRd N.A.	71.86	✓ 0.02	Tubo Retangular	1.69	1.69	✓ 0.01
0.13	0.232	0.13	0.67	Calcular MRd Reduzido	148.4953	✓ 0.06	0.67	Redução de MRd N.A.	71.86	✓ 0.01	Tubo Retangular	1.69	1.69	✓ 0.01
0.13	0.232	0.13	0.66	Calcular MRd Reduzido	148.5409	✓ 0.08	0.66	Redução de MRd N.A.	71.86	✓ 0.01	Tubo Retangular	1.69	1.69	✓ 0.01
0.11	0.232	0.11	0.58	Calcular MRd Reduzido	151.3356	✓ 0.08	0.58	Redução de MRd N.A.	71.86	✓ 0.01	Tubo Retangular	1.68	1.68	✓ 0.01
0.11	0.232	0.11	0.58	Calcular MRd Reduzido	151.3812	✓ 0.09	0.58	Redução de MRd N.A.	71.86	✓ 0.01	Tubo Retangular	1.68	1.68	✓ 0.02
0.11	0.232	0.11	0.58	Calcular MRd Reduzido	151.4268	✓ 0.10	0.58	Redução de MRd N.A.	71.86	✓ 0.01	Tubo Retangular	1.68	1.68	✓ 0.02

Campo 9

			Cmy									CmLT									Cmz											
χ_x	χ_y	χ_{LT}	My	Mh	ψM	Ms	ψ	α_s	ah	Tipo de Carga	Diagrama de momentos	Cmy	My	Mh	ψMs	Ms	ψ	α_s	ah	Tipo de Carga	Diagrama de momentos	CmLT	Mz	Mh	ψMs	Ms	ψ	α_s	ah	Tipo de Carga	Diagrama de momentos	Cmz
0.87	0.21	0.98	0.00	6.86	0.00	3.65	0.00	0.53	0.00	C.P.	Linear	0.600	0.00	6.86	0.00	3.65	0.00	0.53	0.00	C.P.	Linear	0.600	0.00	1.26	0.00	0.63	0.00	0.50	0.00	C.Uni	Parabólico	0.950
0.87	0.21	0.98	3.65	6.86	0.00	3.65	0.00	0.53	0.00	C.P.	Linear	0.600	0.00	6.86	0.00	3.65	0.00	0.53	0.00	C.P.	Linear	0.600	0.63	1.26	0.00	0.63	0.00	0.50	0.00	C.Uni	Parabólico	0.950
0.87	0.21	0.98	6.86	6.86	0.00	3.65	0.00	0.53	0.00	C.P.	Linear	0.600	0.00	6.86	0.00	3.65	0.00	0.53	0.00	C.P.	Linear	0.600	1.26	1.26	0.00	0.63	0.00	0.50	0.00	C.Uni	Parabólico	0.950
0.87	0.98	0.96	6.88	11.74	6.88	9.53	0.59	0.81	0.00	C.P.	Linear	0.834	6.88	11.74	6.88	9.53	0.59	0.81	0.00	C.P.	Linear	0.834	1.25	1.25	0.87	1.06	0.70	0.85	0.00	C.Uni	Parabólico	0.950
0.87	0.98	0.96	9.53	11.74	6.88	9.53	0.59	0.81	0.00	C.P.	Linear	0.834	6.88	11.74	6.88	9.53	0.59	0.81	0.00	C.P.	Linear	0.834	1.06	1.25	0.87	1.06	0.70	0.85	0.00	C.Uni	Parabólico	0.950
0.87	0.98	0.96	11.74	11.74	6.88	9.53	0.59	0.81	0.00	C.P.	Linear	0.834	6.88	11.74	6.88	9.53	0.59	0.81	0.00	C.P.	Linear	0.834	0.87	1.25	0.87	1.06	0.70	0.85	0.00	C.Uni	Parabólico	0.950
0.87	0.98	0.96	11.75	14.47	11.75	13.33	0.81	0.92	0.00	C.P.	Linear	0.925	11.75	14.47	11.75	13.33	0.81	0.92	0.00	C.P.	Linear	0.925	0.87	0.87	0.77	0.82	0.89	0.94	0.00	C.Uni	Parabólico	0.950
0.87	0.98	0.96	13.33	14.47	11.75	13.33	0.81	0.92	0.00	C.P.	Linear	0.925	11.75	14.47	11.75	13.33	0.81	0.92	0.00	C.P.	Linear	0.925	0.82	0.87	0.77	0.82	0.89	0.94	0.00	C.Uni	Parabólico	0.950
0.87	0.98	0.96	14.47	14.47	11.75	13.33	0.81	0.92	0.00	C.P.	Linear	0.925	11.75	14.47	11.75	13.33	0.81	0.92	0.00	C.P.	Linear	0.925	0.77	0.87	0.77	0.82	0.89	0.94	0.00	C.Uni	Parabólico	0.950

6. Dimensionamento

Campo 10

		Resistência à Encurvadura em Elementos à Flexão Composta com Compressão - Colunas-Viga																			
		Classe 1 e 2				Classe 3 e 4								$N_{Ed}/N_{y,Rd}$	$N_{Ed}/N_{z,Rd}$	$K_{yy} * M_{y,Ed} / M_{b,y,Rd}$	$k_{yz} * M_{z,Ed} / M_{z,Rd}$	$k_{zy} * M_{y,Ed} / M_{b,y,Rd}$	$k_{zz} * M_{z,Ed} / M_{z,Rd}$	6.61	6.62
		K _{yy}	K _{yz}	K _{zy}	K _{zz}	K _{yy}	K _{yz}	K _{zy}	K _{zz}	K _{yy}	K _{yz}	K _{zy}	K _{zz}								
Secção I,H	Torção	0.938	0.599	0.978	0.998	0.853	0.993	0.989	0.993	0.938	0.599	0.978	0.998	0.703	0.170	0.043	0.010	0.045	0.017	✓ 0.76	✓ 0.23
Secção I,H	Torção	0.938	0.599	0.978	0.998	0.853	0.993	0.989	0.993	0.938	0.599	0.978	0.998	0.703	0.170	0.043	0.010	0.045	0.017	✓ 0.76	✓ 0.23
Secção I,H	Torção	0.938	0.599	0.978	0.998	0.853	0.993	0.989	0.993	0.938	0.599	0.978	0.998	0.703	0.170	0.043	0.010	0.045	0.017	✓ 0.76	✓ 0.23
Secção I,H	Torção	0.842	0.595	0.989	0.992	0.852	0.988	0.994	0.988	0.852	0.988	0.994	0.988	0.134	0.150	0.069	0.017	0.080	0.017	✓ 0.22	✓ 0.25
Secção I,H	Torção	0.842	0.595	0.989	0.992	0.852	0.988	0.994	0.988	0.852	0.988	0.994	0.988	0.134	0.150	0.069	0.017	0.080	0.017	✓ 0.22	✓ 0.25
Secção I,H	Torção	0.842	0.595	0.989	0.992	0.852	0.988	0.994	0.988	0.852	0.988	0.994	0.988	0.134	0.150	0.069	0.017	0.080	0.017	✓ 0.22	✓ 0.25
Secção I,H	Torção	0.932	0.592	0.991	0.987	0.942	0.983	0.996	0.983	0.942	0.983	0.996	0.983	0.116	0.130	0.094	0.012	0.099	0.012	✓ 0.22	✓ 0.24
Secção I,H	Torção	0.932	0.592	0.991	0.987	0.942	0.983	0.996	0.983	0.942	0.983	0.996	0.983	0.116	0.130	0.094	0.012	0.099	0.012	✓ 0.22	✓ 0.24
Secção I,H	Torção	0.932	0.592	0.991	0.987	0.942	0.983	0.996	0.983	0.942	0.983	0.996	0.983	0.116	0.130	0.094	0.012	0.099	0.012	✓ 0.22	✓ 0.24

Os resultados (Relatório) da Tabela de Cálculo foram elaborados de modo a escolher-se as barras mais solicitadas de cada um dos grupos considerados na Estrutura deste Projeto.

Apresenta-se a seguir um exemplo de um Relatório realizado na Tabela de Cálculo referente a uma das barras sujeita à flexão composta com compressão, onde se identificam todas as etapas utilizadas no dimensionamento:

- 1- Identificação do grupo, nº barra, combinação condicionante, comprimento, tipo de aço e secção mais esforçada (inicial, meio-vão ou final);
- 2- Características geométricas e elásticas da secção;
- 3- Esforços de cálculo;
- 4- Parâmetros de encurvadura por compressão;
- 5- Parâmetros de encurvadura por flexão;
- 6- Esforços resistentes da secção;
- 7- Verificação da segurança da resistência da secção da barra com a identificação dos rácios dos esforços de cálculo/resistentes;
- 8- Verificação de segurança à encurvadura por flexão-compressão;
- 9- Conclusões.

Os restantes relatórios de todas as outras barras foram elaborados de um modo idêntico.

1

RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO

Grupo: Cordões Pilar	Combinação: - ELU.Wxp (T+)	$\gamma_{M0} = 1.00$
Barra: 400	Perfil: HE 300 B	Secção: sf Final
L= 4.72 m	Material: S 235	$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$
		$\gamma_{M1} = 1.00$
		$\gamma_{M2} = 1.25$

2

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ELÁSTICAS DA SECÇÃO



$h =$ 300 mm	$A =$ 149.10 cm ²	$A_{vz} =$ 47.43 cm ²
$b =$ 300 mm	$I_y =$ 25170.00 cm ⁴	$I_z =$ 8563.00 cm ⁴
$t_w =$ 11 mm	$i_y =$ 12.99 cm	$i_z =$ 7.58 cm
$t_f =$ 19 mm	$W_{el,y} =$ 1678.00 cm ³	$W_{el,z} =$ 570.90 cm ³
	$W_{pl,y} =$ 1869.00 cm ³	$W_{pl,z} =$ 870.10 cm ³
Classe à Flexão = 1	Classe à Compressão = 1	Classe adoptada = 1

3

ESFORÇOS DE CÁLCULO

$N_{T,Ed} =$ 0.00 kN	$V_{y,Ed} =$ 0.28 kN	$M_{y,Ed} =$ 0.06 kN.m
$N_{c,Ed} =$ 337.61 kN	$V_{z,Ed} =$ -0.01 kN	$M_{z,Ed} =$ -0.95 kN.m

4

PARAMETROS DE ENCURVADURA

Eixo y-y		Eixo z-z	
$L_y =$ 4.72 m	$\bar{\lambda}_{y,y} =$ 1.56	$L_z =$ 4.72 m	$\bar{\lambda}_{y,z} =$ 0.66
$L_{cr,y} =$ 19.05 m	$\chi_{y,y} =$ 0.32	$L_{cr,z} =$ 4.72 m	$\chi_{z,z} =$ 0.75
$\lambda_{y,y} =$ 146.65	$k_{yy} =$ 1.07	$\lambda_{z,z} =$ 62.27	$k_{zz} =$ 1.05
	$k_{yz} =$ 1.05		$k_{zy} =$ 0.99

5

PARAMETROS DE ENCURVADURA LATERAL

$L_{cr} =$ 4.72 m	$z_g =$ B. Sup	$\phi_{LT} =$ 0.716
$M_{cr} =$ 1253.67 kN.m	$\alpha_{LT} =$ 0.210	$\chi_{LT} =$ 0.893
$C1 =$ 1.132	$\bar{\lambda}_{LT} =$ 0.592	$C3 =$ 0.525
	$C2 =$ 0.459	

6

ESFORÇOS RESISTENTES

$N_{c,Rd} =$ 3503.85 kN	$M_{c,y,Rd} =$ 439.22 kN.m	$M_{c,z,Rd} =$ 204.47 kN.m
$N_{b,y,Rd} =$ 1122.84 kN	$M_{N,y,Rd} =$ 448.81 kN.m	$M_{N,z,Rd} =$ 204.47 kN.m
$N_{b,z,Rd} =$ 2618.64 kN	$M_{b,Rd} =$ 392.24 kN.m	
		$V_{c,y,Rd} =$ 1379.43 kN
		$V_{c,z,Rd} =$ 643.52 kN

página 1/3

7 VERIFICAÇÕES

[NP EN 1993-1-1]

Resistência da Secção

Tração - (6.2.3)

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = \text{0.00} \leq 1$$

Compressão - (6.2.4)

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = \text{0.10} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Momento Fletor - (6.2.5)

$$M_{y,Ed}/M_{c,y,Rd} = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$M_{z,Ed}/M_{c,z,Rd} = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Esforço Transverso Plástico - (6.2.6)

$$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Esforço Transverso Elástico - (6.2.6)

$$y - (T_{Ed} * 3^{0.5} * \gamma_{M0})/f_y = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$z - (T_{Ed} * 3^{0.5} * \gamma_{M0})/f_y = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Flexão com Esforço Transverso - (6.2.8)

$$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} = \text{0.00} < 0,5 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{y,Ed}/M_{V,y,Rd} = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

VEd sem significado $M_{V,y,Rd} = \text{N.A. kN.m}$

$$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} = \text{0.00} < 0,5 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{z,Ed}/M_{V,z,Rd} = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

VEd sem significado $M_{V,z,Rd} = \text{N.A. kN.m}$

Flexão Composta - (6.2.9)

$$N_{Ed}/N_{pl,Rd} = \text{0.10} \leq 0,25 \quad \text{Verifica}$$

$$N_{Ed}/h_w \cdot t_w \cdot f_y = \text{0.50} \leq 0,5 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Calcular MRd Reduzido $M_{N,y,Rd} = \text{439.22 kN.m}$

$$N_{Ed}/h_w \cdot t_w \cdot f_y = \text{0.51} \leq 1 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Redução de MRd N.A. $M_{N,z,Rd} = \text{N.A. kN.m}$

Flexão Composta Desviada - (6.2.9)

$$\alpha = 2.00 \quad \beta = 1.00 \quad \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

8

Resistência da Barra

Resistência à Encurvadura - (6.3.2.1)

$$M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd} = 0.00 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Fatores de Interação

$$\begin{aligned} k_{yy} &= 1.066 \\ k_{yz} &= 1.052 \\ k_{zy} &= 0.993 \\ k_{zz} &= 1.052 \end{aligned}$$

Coefficientes de Momento Mniforme Equivalente

$$\begin{aligned} C_{my} &= 0.90 \\ C_{mz} &= 1.00 \\ C_{mLT} &= 0.90 \end{aligned}$$

$$\lambda_{y} = 146.65 \leq \lambda_{,max} = 180$$

$$\lambda_{z} = 62.27 \leq \lambda_{,max} = 180$$

Resistência à Encurvadura por Flexão Composta com Compressão "Coluna-Viga" (6.3.3) - Anexo B

$$\begin{aligned} N_{Ed}/N_{y,Rd} &= 0.31 \\ + \\ k_{yy}[M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd}] &= 0.00 \\ + \\ k_{yz}[M_{z,Ed}/M_{z,Rd}] &= 0.01 \\ = \\ (6.61) \quad 0.31 &\leq 1 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{Ed}/N_{z,Rd} &= 0.13 \\ + \\ k_{zy}[M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd}] &= 0.01 \\ + \\ k_{zz}[M_{z,Ed}/M_{z,Rd}] &= 0.01 \\ = \\ (6.62) \quad 0.14 &\leq 1 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

9

CONCLUSÃO: A barra cumpre todos os critérios de segurança!

página 3/3

Observação: O referencial utilizado foi o seguinte:

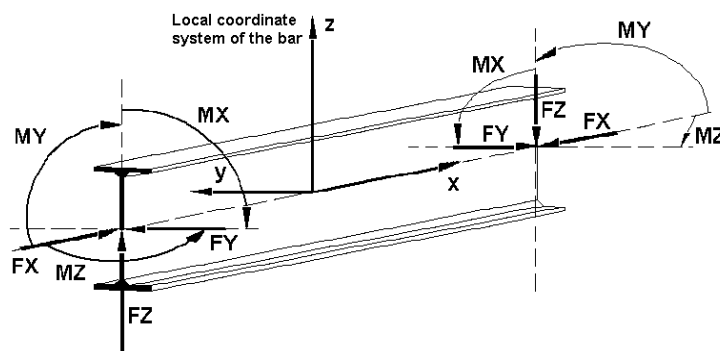


Figura 6-1 – Convenção de Sinais

6.1 Análise Global

Para determinar os esforços e deslocamentos de uma estrutura é necessário proceder a uma análise global, que pode ser:

- Elástica de 1ª ordem – A partir da geometria inicial com base no comportamento linear dos materiais;
- Elástica de 2ª ordem – Com base na deformada da estrutura e considerando os materiais com comportamento linear;
- Plástica de 1ª ordem – Adotando a geometria inicial da estrutura e os materiais com comportamento não linear;
- Plástica de 2ª ordem – Considerando simultaneamente a deformada da estrutura e comportamento não linear para os materiais.

No caso das estruturas metálicas a análise elástica de 1ª ordem é a mais utilizada, justificando-se porém, em estruturas que os efeitos de 2ª ordem são importantes, recorrer a outro tipo de análises.

O EC3 refere que os efeitos de 2ª ordem podem ser dispensados desde que as estruturas cumpram os seguintes critérios:

→ $\alpha_{cr} \geq 10$ para a análise elástica;

→ $\alpha_{cr} \geq 15$ para a análise plástica.

No caso da estrutura em estudo o coeficiente α_{cr} foi determinado através do método de Horne, proposto pelo Eurocódigo, com base na expressão:

$$\alpha_{cr} = \left(\frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} \right) \left(\frac{H}{\delta_{H,Ed}} \right) \quad (6-1)$$

Na tabela 7-1 indicam-se os valores calculados no topo do pilar de suporte da viga treliçada em caixão para a determinação do α_{cr} .

Tabela 6-1 – Determinação de α_{cr}

Combinação Condicionante	H (m)	H _{Ed} (kN)	V _{Ed} (kN)	δ _{H,Ed} (cm)	α _{cr}
ELU Temp+ Wzz	19,48	5,36	107,77	1,7	56,99
ELU Wyy (T+)		22,91	154,05	0,9	321,89

Verifica-se nesta Estrutura que os efeitos de 2ª ordem podem ser dispensados.

6.2 Dimensionamento dos Elementos Metálicos

O dimensionamento dos elementos metálicos da Ponte de Suporte da Tela foi realizado a partir da identificação das diferentes estruturas para os seguintes grupos de barras:

- Plataforma Secundária:
 - Travessas, Consolas, Diagonais e Cordões;
 - Longarinas e Prumos;
- Viga Espacial Treliçada:
 - Diagonais – Painéis Horizontais e Painéis Verticais;
 - Longarinas – Passerelle;
 - Travessas – Painel Superior, Inferior;
 - Cordões;
- Quadros rígidos:
 - Travessas;
 - Prumos;
- Pilar:
 - Diagonais;
 - Travessas;
 - Cordões;
- Escora:
 - Diagonais;
 - Cordões.

6.2.1 Plataforma Secundária

Esta estrutura é constituída por um reticulado de barras principais e secundárias com perfis UNP 100, L 40x4 e HEB 100, sendo o dimensionamento realizado com base em ábacos tendo em conta as características geométricas e elásticas dos perfis indicados no ANEXO II.

6.2.2 Viga Treliçada Espacial – Tramo Inclinado

6.2.2.1 Diagonais – Painel Horizontal Superior

Estas barras estão sujeitas fundamentalmente a esforços de tração e compressão em que a esbelteza foi limitada a 210 e os cálculos foram realizados recorrendo a dois procedimentos.

→ **Procedimento 1 – “Robot”**

A verificação com recurso a este software mostra que nem todas as barras L40x4 têm resistência suficiente razão pela qual se adotou para este grupo L50x5.

Nas figuras seguintes estão indicadas outras informações referentes aos estudos realizados.

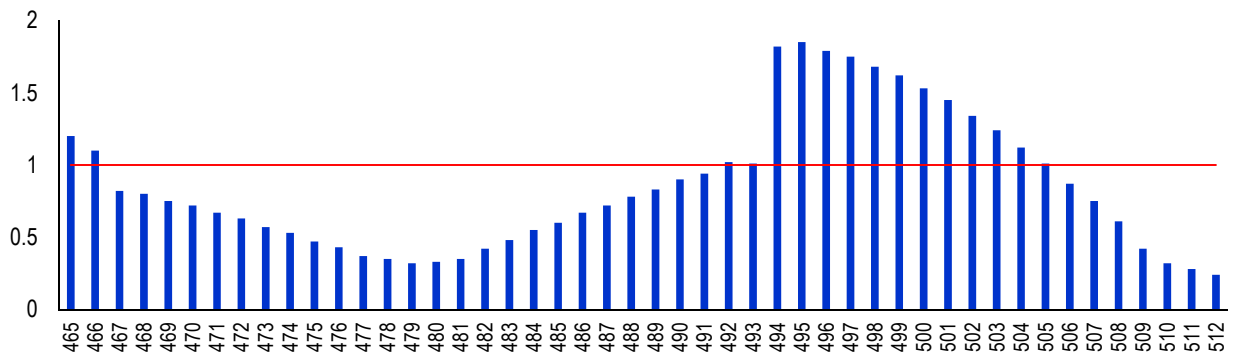


Figura 6-2 – Rácios – Diagonais L 40x4

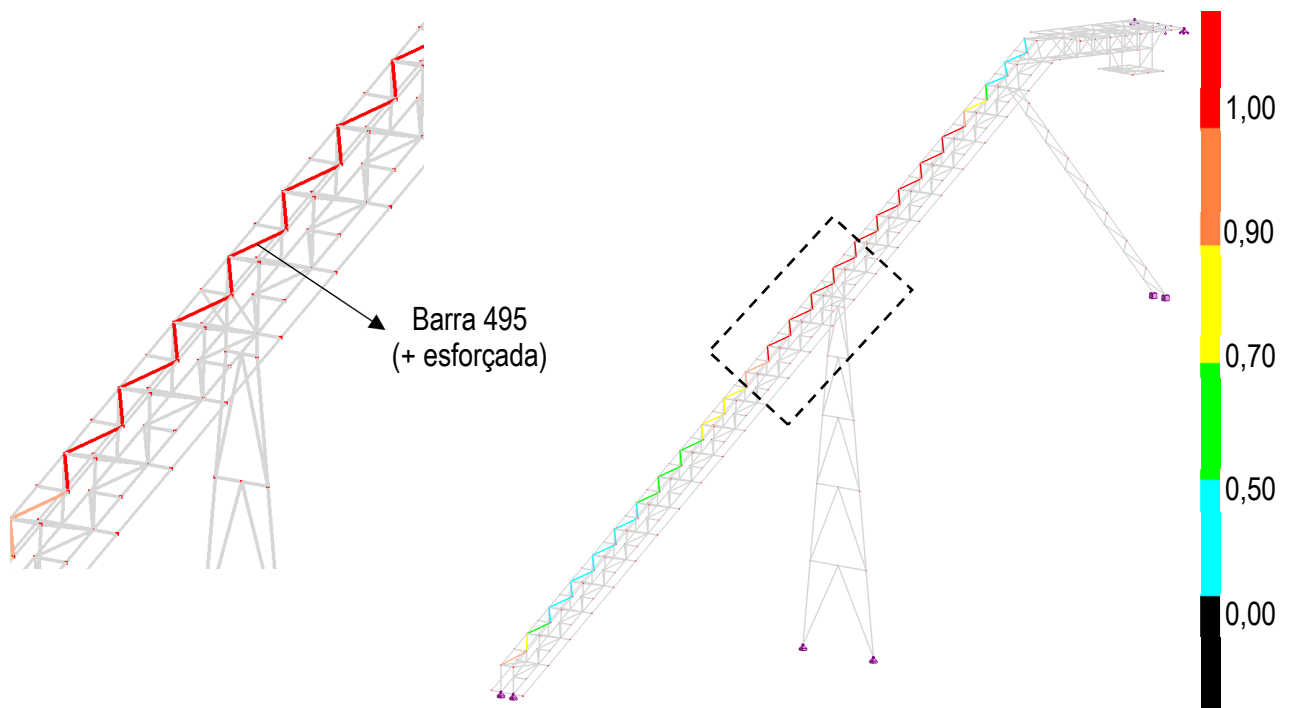


Figura 6-3 – Rácios das Barras

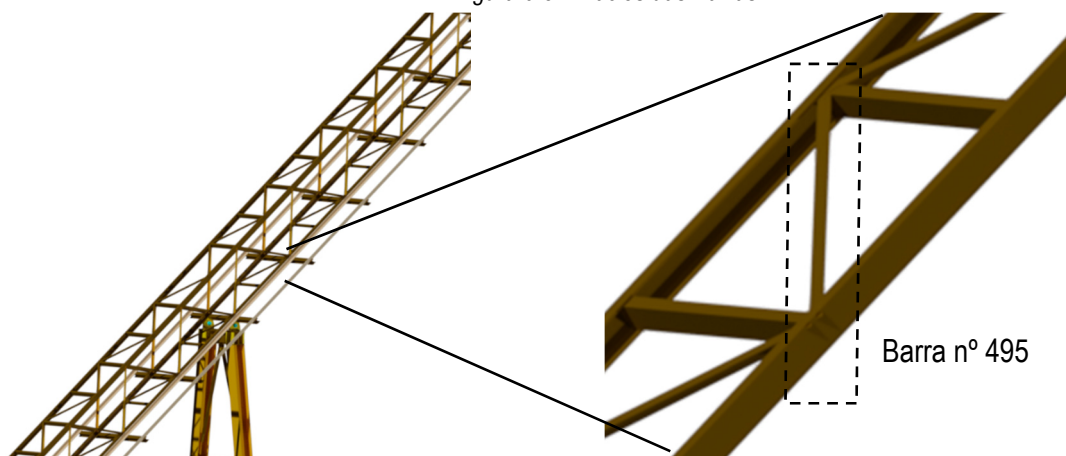


Figura 6-4 – Localização da Diagonal mais solicitada

STEEL DESIGN

CODE: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 495 C - Diagonais_495 **POINT:** 1

COORDINATE: x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 134 ELU.Sismo1y+ (1+2)*1.00+4*0.80+19*-1.00

MATERIAL:

S 235 (S 235) $f_y = 235.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: CAEP 50x5

h=5.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=5.0 cm	Ay=2.50 cm ²	Az=2.50 cm ²	Ax=4.80 cm ²
tw=0.5 cm	Iy=17.38 cm ⁴	Iz=4.55 cm ⁴	Ix=0.40 cm ⁴
tf=0.5 cm	Wely=4.91 cm ³	Welz=2.28 cm ³	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 29.90 kN

Nc,Rd = 112.86 kN

Nb,Rd = 35.23 kN

Class of section = 2



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

Ly = 1.45 m Lam_y = 0.81
 Lcr,y = 1.45 m Xy = 0.72
 Lamy = 76.22



About z axis:

Lz = 1.45 m Lam_z = 1.59
 Lcr,z = 1.45 m Xz = 0.31
 Lamz = 149.02

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.26 < 1.00$ (6.2.4.(1))

Global stability check of member:

$\lambda_{y} = 76.22 < \lambda_{max} = 210.00$ $\lambda_{z} = 149.02 < \lambda_{max} = 210.00$ STABLE

$N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.85 < 1.00$ (6.3.1.1.(1))

Section OK !!!

Figura 6-5 – Verificação da Diagonal mais solicitada

→ **Procedimento 2 – Tabela de Cálculo**

Na folha de cálculo estão indicados os procedimentos utilizados na verificação da diagonal mais solicitada do painel horizontal superior.

RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO

Grupo: Diagonais PH Sup	Combinação: - ELU.Sismo1y-+	$\gamma_{M0} = 1.00$
Barra: 495	Perfil: L 50 x 50 x 5	$\gamma_{M1} = 1.00$
L= 1.45 m	Material: S 235 $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$	$\gamma_{M2} = 1.25$

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ELÁSTICAS DA SECÇÃO



$h =$ 50 mm	$A =$ 4.80 cm ²	$A_{wv} =$ 2.50 cm ²
$b =$ 50 mm	$I_y =$ 17.40 cm ⁴	$I_v =$ 4.54 cm ⁴
$t_w =$ 5 mm	$i_y =$ 1.90 cm	$i_v =$ 0.97 cm
$t_f =$ 5 mm	$W_{el,u} =$ 3.05 cm ³	$W_{el,v} =$ 3.05 cm ³
	$W_{pl,u} =$ 5.68 cm ³	$W_{pl,v} =$ 5.68 cm ³
Classe à Flexão 2	Classe à Compressão 2	Classe adoptada 2

ESFORÇOS DE CÁLCULO E RESISTENTES

$N_{T,Ed} =$ 0.00 kN	$N_{T,Rd} =$ - kN	$N_{b,u,Rd} =$ 80.83 kN
$N_{C,Ed} =$ 29.90 kN	$N_{C,Rd} =$ 112.80 kN	$N_{b,v,Rd} =$ 35.02 kN

PARAMETROS DE ENCURVADURA

Eixo y-y		Eixo z-z	
$L_u =$ 1.45 m	$\bar{\lambda}_{y,u} =$ 0.81	$L_v =$ 1.45 m	$\bar{\lambda}_{y,v} =$ 1.59
$L_{cr,u} =$ 1.45 m	$\chi_{u} =$ 0.72	$L_{cr,v} =$ 1.45 m	$\chi_v =$ 0.31
$\lambda_{y,u} =$ 76.32		$\lambda_{y,v} =$ 149.48	

VERIFICAÇÕES

[NP EN 1993-1-1]

Resistência da Secção

Tração

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = - \leq 1 \quad (6.2.3)$$

Compressão

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.27 \leq 1 \quad \text{OK} \quad (6.2.4)$$

Resistência à Encurvadura por Compressão

$$\lambda_{y,u} = 76.32 \leq \lambda_{y,max} = 210 \quad \lambda_{y,v} = 149.48 \leq \lambda_{y,max} = 210$$

$$N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.85 \leq 1 \quad \text{OK} \quad (6.3.1.1)$$

CONCLUSÃO: A barra cumpre todos os critérios de segurança!

♦ Comparação dos Resultados

Os resultados em ambas as análises conduzem a rácios da mesma ordem de grandeza (0,85).

6.2.2.2 Diagonais – Painel Horizontal Inferior

O dimensionamento destas barras encontra-se no ANEXO III e resultou num perfil L 40x4.

6.2.2.3 Diagonais – Painel Vertical

Para o dimensionamento das diagonais do Painel Vertical foram criados 2 grupos denominados “ZV” e “ZA”, que incluem respetivamente as barras a meio vão e as barras das secções junto aos apoios, tal como se indica na figura:

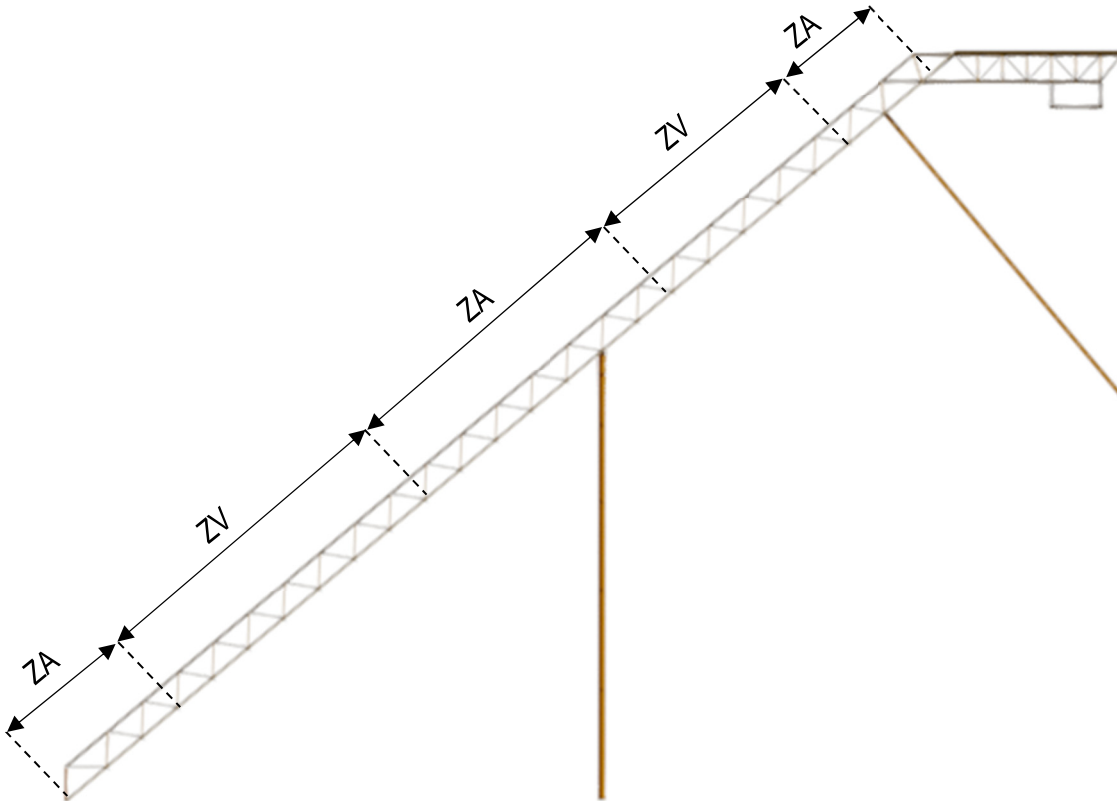


Figura 6-6 – Grupos – Diagonais

→ Procedimento 2 – “Robot”

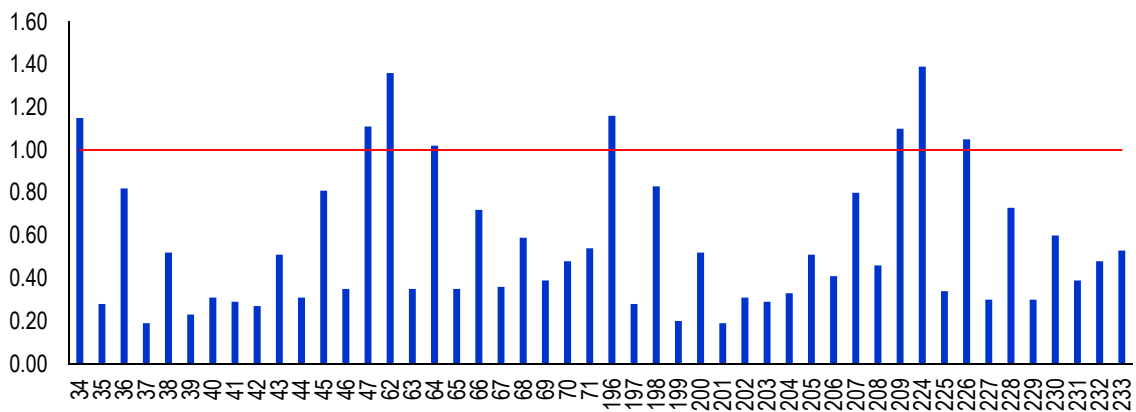


Figura 6-7 – Rácios – Diagonais “ZV” L50x5

Verifica-se que 8 das barras deste grupo têm rácios superiores à unidade tendo-se adotado por isso para todas as barras L 60x6.

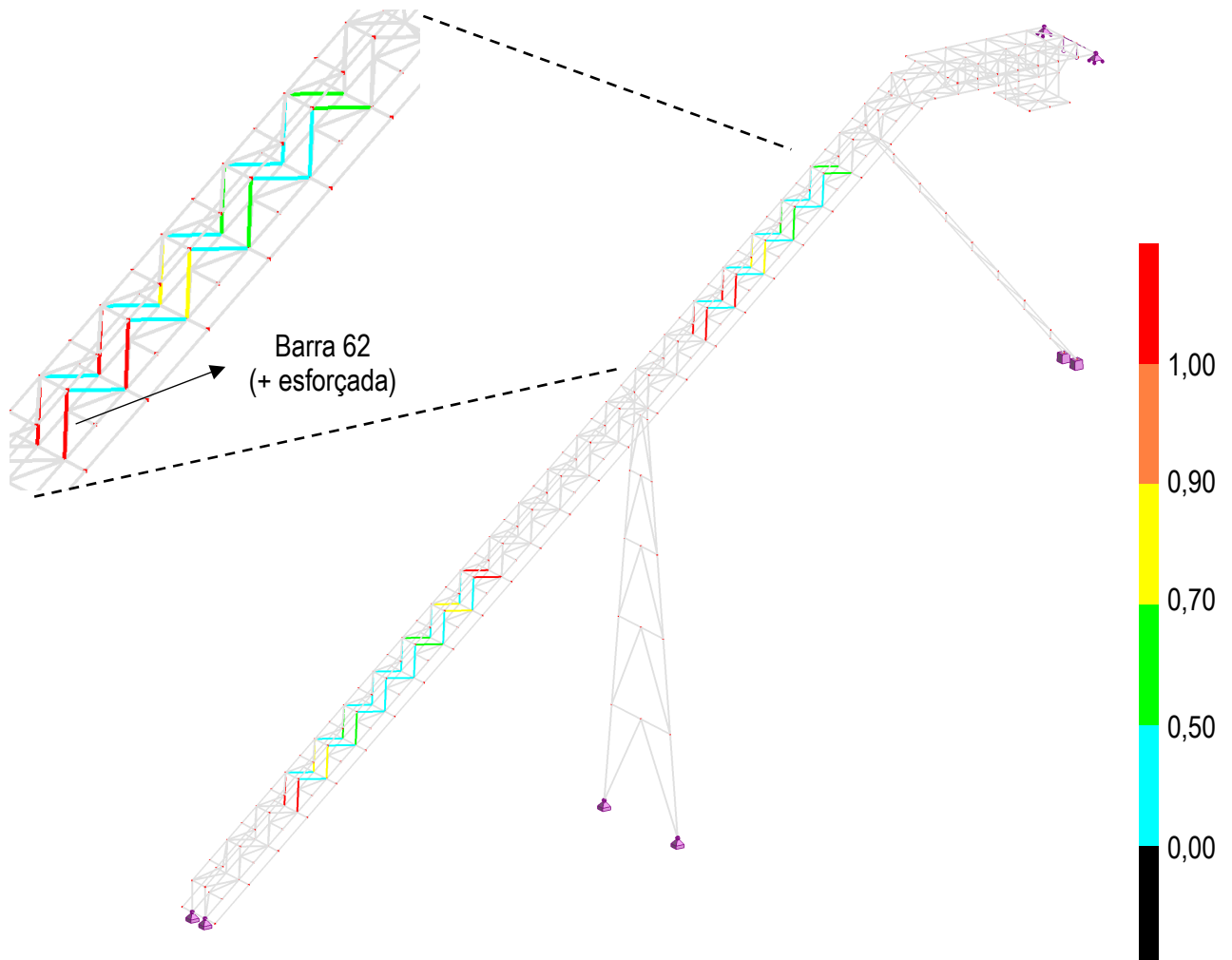


Figura 6-8 – Rácios das Barras

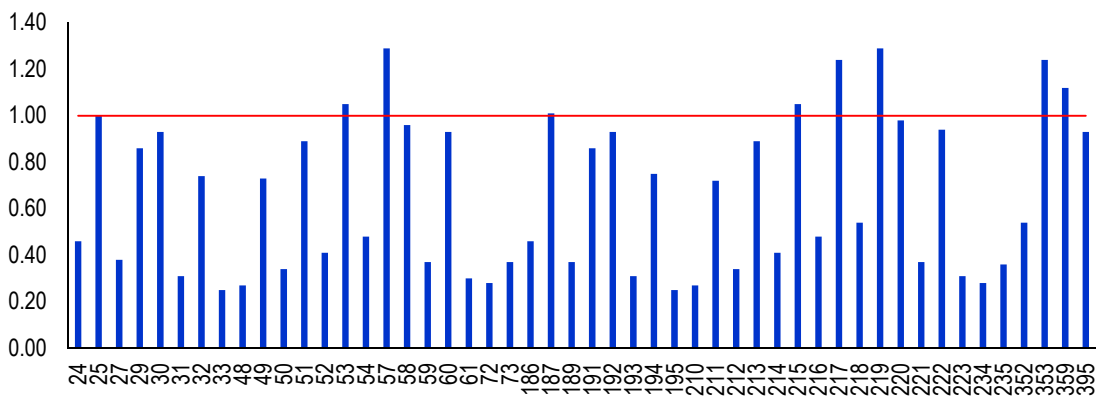


Figura 6-9 – Rácios – Diagonais “ZA” L60x6

Consideraram-se neste grupo de barras cantoneiras 70x7.

6. Dimensionamento

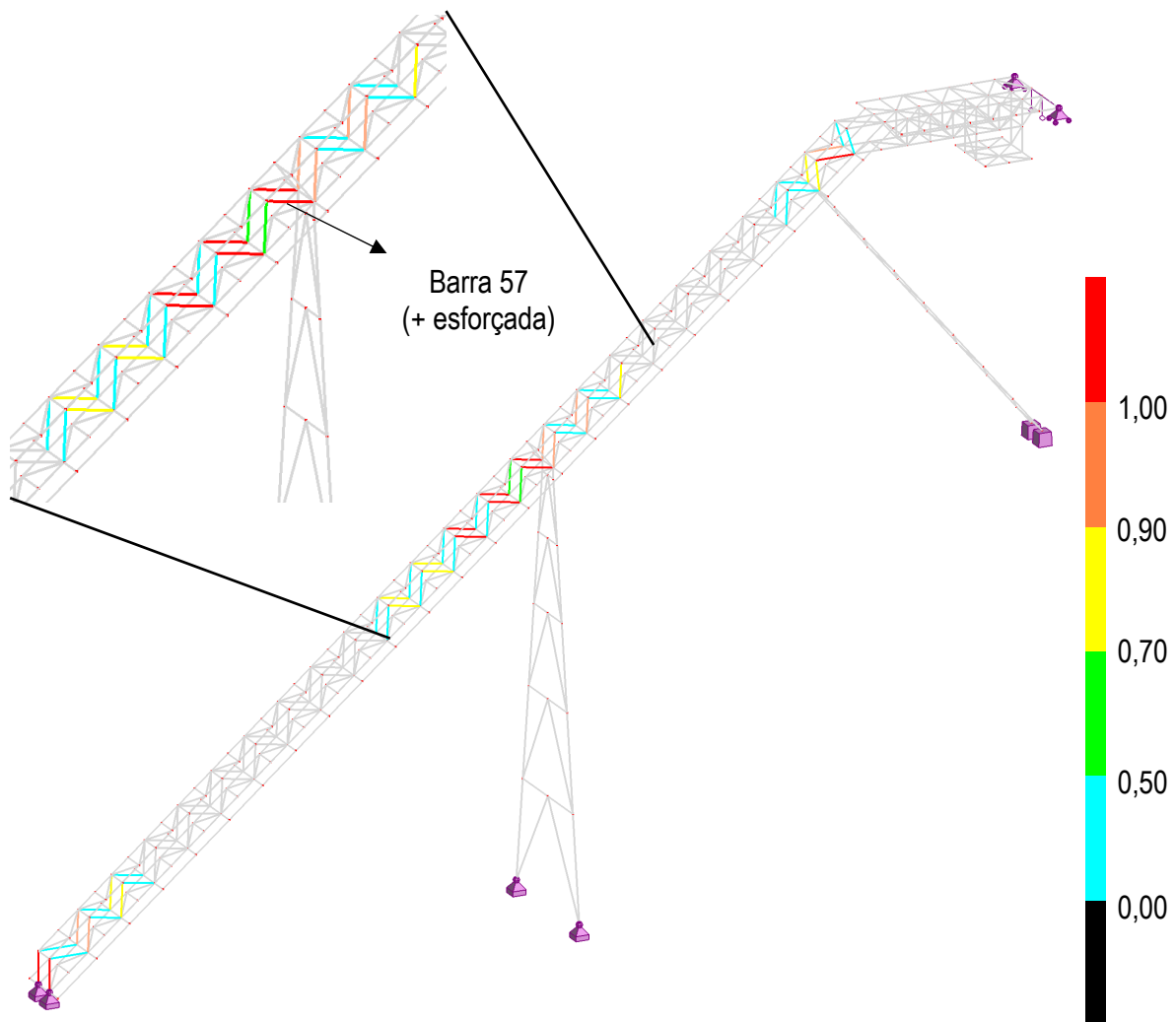


Figura 6-10 – Rácio das Barras

Relatório do dimensionamento para a barra mais solicitada:

STEEL DESIGN

CODE: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 57 C - Diagonais_57 **POINT:** 3

COORDINATE: x = 1.00 L = 1.49 m

LOADS:

Governing Load Case: 34 ELU.Pass(T+) Wzz (1+2)*1.35+4*1.20+3*1.50+(11+6)*0.90

MATERIAL:

S 235 (S 235) $f_y = 235.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: CAEP 70x7

h=7.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=7.0 cm	Ay=4.90 cm ²	Az=4.90 cm ²	Ax=9.40 cm ²
tw=0.7 cm	Iy=67.09 cm ⁴	Iz=17.50 cm ⁴	Ix=1.52 cm ⁴
tf=0.7 cm	Wely=13.55 cm ³	Welz=6.27 cm ³	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 85.37 kN

Nc,Rd = 220.83 kN

Nb,Rd = 110.23 kN

Class of section = 2



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

About z axis:

Ly = 1.49 m

Lcr,y = 1.49 m

Lamy = 55.74

Lam_y = 0.59

Xy = 0.84



Lz = 1.49 m

Lcr,z = 1.49 m

Lamz = 109.13

Lam_z = 1.16

Xz = 0.50

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

N,Ed/Nc,Rd = 0.39 < 1.00 (6.2.4.(1))

Global stability check of member:

Lambda,y = 55.74 < Lambda,max = 210.00

Lambda,z = 109.13 < Lambda,max = 210.00 STABLE

N,Ed/Nb,Rd = 0.77 < 1.00 (6.3.1.1.(1))

Section OK !!!

→ Procedimento 2 – Tabela de Cálculo

Verificação da barra mais solicitada das diagonais do Painel Vertical.

RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO

Grupo: Diagonais PV ZA	Combinação: - ELU.Sismo1y-+	$\gamma_{M0} = 1.00$
Barra: 57	Perfil: L 70 x 70 x 7	$\gamma_{M1} = 1.00$
L= 1.49 m	Material: S 235 $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$	$\gamma_{M2} = 1.25$

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ELÁSTICAS DA SECÇÃO



$h =$ 70 mm	$A =$ 9.40 cm ²	$A_{v,v} =$ 4.90 cm ²
$b =$ 70 mm	$I_u =$ 67.10 cm ⁴	$I_v =$ 17.50 cm ⁴
$t_w =$ 7 mm	$i_u =$ 2.67 cm	$i_v =$ 1.36 cm
$t_f =$ 7 mm	$W_{el,u} =$ 8.41 cm ³	$W_{el,v} =$ 8.41 cm ³
	$W_{pl,u} =$ 15.60 cm ³	$W_{pl,v} =$ 15.60 cm ³
Classe à Flexão 2	Classe à Compressão 2	Classe adoptada 2

ESFORÇOS DE CÁLCULO E RESISTENTES

$N_{T,Ed} =$ 0.00 kN	$N_{T,Rd} =$ - kN	$N_{b,u,Rd} =$ 185.54 kN
$N_{C,Ed} =$ 85.37 kN	$N_{C,Rd} =$ 220.90 kN	$N_{b,v,Rd} =$ 109.67 kN

PARAMETROS DE ENCURVADURA

Eixo y-y		Eixo z-z	
$L_u =$ 1.49 m	$\bar{\lambda}_{y,u} =$ 0.59	$L_v =$ 1.49 m	$\bar{\lambda}_{z,v} =$ 1.17
$L_{cr,u} =$ 1.49 m	$\chi_u =$ 0.84	$L_{cr,v} =$ 1.49 m	$\chi_v =$ 0.50
$\lambda_{y,u} =$ 55.81		$\lambda_{z,v} =$ 109.56	

VERIFICAÇÕES

[NP EN 1993-1-1]

Resistência da Secção

Tração

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = - \leq 1 \quad (6.2.3)$$

Compressão

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.39 \leq 1 \quad \text{OK} \quad (6.2.4)$$

Resistência à Encurvadura por Compressão

$$\lambda_{y,u} = 55.81 \leq \lambda_{max} = 210 \quad \lambda_{z,v} = 109.56 \leq \lambda_{max} = 210$$

$$N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.78 \leq 1 \quad \text{OK} \quad (6.3.1.1)$$

CONCLUSÃO: A barra cumpre todos os critérios de segurança!

◆ Comparação dos Resultados

Os resultados obtidos pelos dois procedimentos conduzem a rácios da mesma ordem de grandeza.

6.2.2.4 Longarinas

As longarinas funcionam como vigas contínuas e estão impedidas de bambearem pela grelha metálica que constitui o pavimento das passerelles.

Nas tabelas e figuras seguintes juntam-se os elementos referentes ao dimensionamento no *software "Robot"*.

Tabela 6-2 – Características Elásticas

Perfil Adotado	A cm ²	I _y cm ⁴	W _{el.y} cm ³	W _{pl.y} cm ³	i _y cm	A _{vz} cm ²	I _z cm ⁴	W _{el.z} cm ³	W _{pl.z} cm ³	i _z cm	A _{vy} cm ²
L 80 x 8	12,3	72,2	12,6	23,3	2,43	6,4	72,2	12,6	23,3	2,43	6,4

Tabela 6-3 – Esforços de Cálculo

Barra nº	Combinação	Secção (m)	N _{c,Ed} (kN)	V _{y,Ed} (kN)	V _{z,Ed} (kN)	M _{y,Ed} (kN.m)	M _{z,Ed} (kN.m)
612	ELU.Pass(T-) Wyy	si - 0,00	-1,62	0,99	0,54	0,42	0,29
		sm - 1,00	-2,76	0,02	-0,42	0,49	-0,29
		sf - 2,00	-3,90	-0,94	-1,38	-0,56	0,24

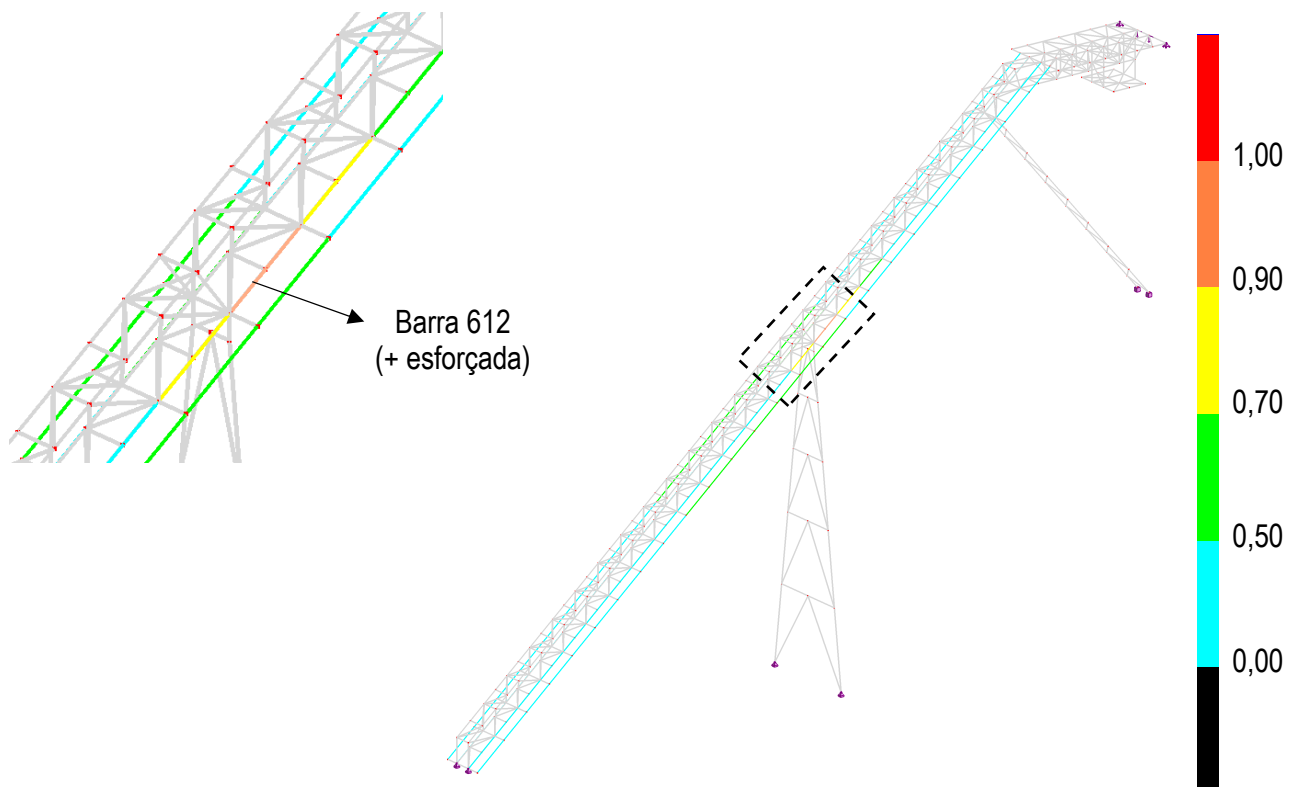


Figura 6-11 – Rácios das Barras

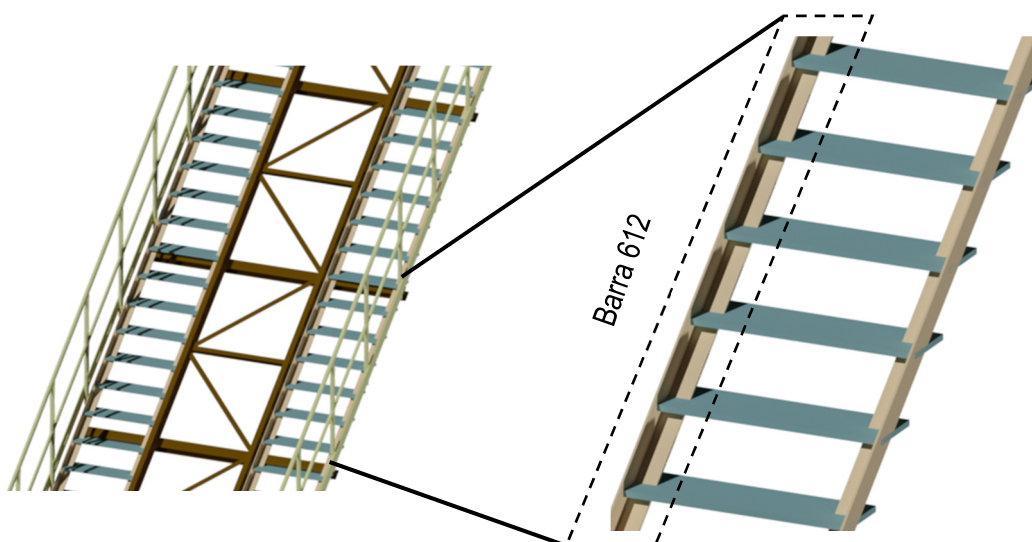


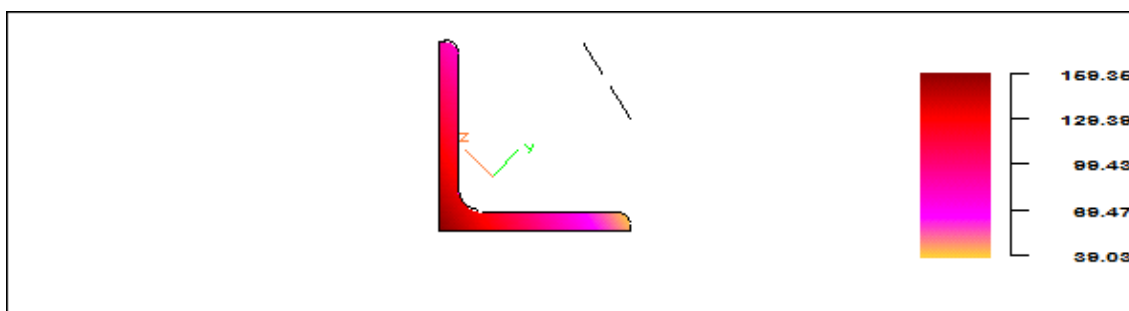
Figura 6-12 – Localização da Longarina mais solicitada

O dimensionamento da barra nº 612 foi realizado com recurso a uma análise elástica de tensões a partir do "Robot", tendo-se obtido os seguintes resultados.

STRESS ANALYSIS IN THE BAR

Section : CAEP 80x8
 Element No. : 612
 Length : 200.0 cm

CROSS SECTION



Load case : "ELU.Pass (T-) Wyy"
 Stress analysis type (hypothesis) : Normal

Internal forces taken into account : Fx Fy Fz Mx My Mz

Extreme stresses in the beam

	S_x max	S_x min	 t max	S_i max
Stresses	159.35 MPa	39.03 MPa	1.29 MPa	159.35 MPa
Relative position	0.00	0.00	0.47	0.00
Absolute position	0.0 cm	0.0 cm	0.0 cm	0.0 cm

RESULTS IN THE SECTION

Section coordinates $x/l = 0.00$ (Relative) $x = 0.0$ cm (Absolute)

Forces applied to the section

Fx = 131.30 kN **Mx** = 0.00 kN*m
Fy = 0.89 kN **My** = 0.46 kN*m
Fz = -0.65 kN **Mz** = 0.50 kN*m

Extreme stresses in the section

	S_x max	S_x min	 t_{xy} max	 t_{xz} max
Stresses	159.35 MPa	39.03 MPa	1.09 MPa	-0.02 MPa
Y local	-3.1 cm	2.8 cm	-0.0 cm	2.6 cm
Z local	-0.0 cm	-5.1 cm	-3.1 cm	-5.5 cm

	 t max	S_i max
Stresses	1.29 MPa	159.35 MPa
Y local	-0.2 cm	-3.1 cm
Z local	1.9 cm	-0.0 cm

Figura 6-13 – Análise de Tensões

Foi feita também a verificação das flechas com base na combinação de ações mais condicionante referentes aos estados limites de serviço.

Considerou-se para a flecha máxima o valor:

$$\delta_{adm} = \frac{L}{250} = \frac{2}{250} = 0,008 \text{ m} = 0,80 \text{ cm}$$

Tabela 6-4 – Verificação da Flecha

Barra nº	Combinação Condicionante	δ_v (cm)	δ_{adm} (cm)	Rácio
612	ELS.Pass(T+) Wxxp	0,24	0,80	0,30

♦ **Conclusão**

Os L80x8 cumprem as verificações de segurança.

6.2.2.5 Travessas – Painel Horizontal Superior

As travessas deste painel funcionam como colunas-viga tendo-se escolhido perfis tubulares 100x50x4 de modo a tornar mais fácil as ligações dos suportes dos rolos da Tela.

Verifica-se que a travessa a mais solicitada é a barra 379 localizada na zona de ligação entre os tramos inclinado e horizontal.

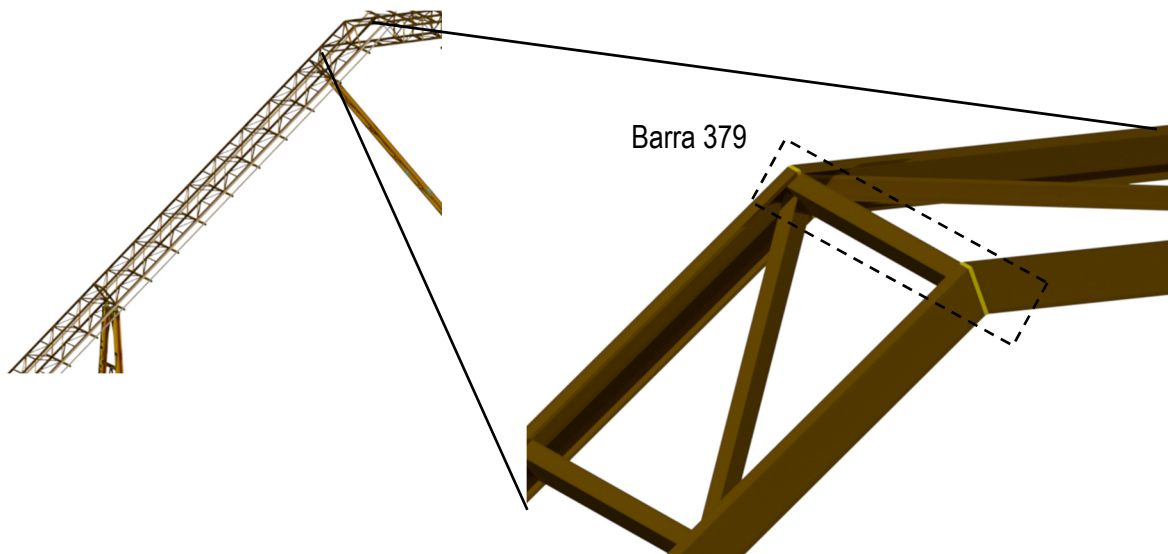


Figura 6-14 – Travessa mais solicitada

O dimensionamento desta barra foi feito também através de dois procedimentos:

- "Robot";
- Tabela de Cálculo.

→ Procedimento 1 – “Robot”

STEEL DESIGN

CODE: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 379 CV - Travessas_379 POINT: 2 COORDINATE: x = 0.50 L = 0.53 m

LOADS:

Governing Load Case: 40 ELU.Mat(T+) Wy (1+2)*1.35+4*1.50+3*0.30+(8+6)*0.90

MATERIAL:

S 235 (S 235) fy = 235.00 MPa



SECTION PARAMETERS: TREC 100x50x4

h=10.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=5.0 cm	Ay=3.76 cm ²	Az=7.52 cm ²	Ax=11.28 cm ²
tw=0.4 cm	Iy=141.80 cm ⁴	Iz=46.70 cm ⁴	Ix=112.60 cm ⁴
tf=0.4 cm	Wply=36.13 cm ³	Wplz=21.93 cm ³	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 0.76 kN	Mz,Ed = -0.30 kN*m	My,Ed = 0.36 kN*m	My,Ed,max = 0.36 kN*m
Nc,Rd = 265.08 kN	Mz,Ed,max = -0.30 kN*m	My,c,Rd = 8.49 kN*m	
Nb,Rd = 240.74 kN	Mz,c,Rd = 5.15 kN*m	MN,y,Rd = 8.49 kN*m	Tt,Ed = -0.04 kN*m
	MN,z,Rd = 5.15 kN*m	Mb,Rd = 8.49 kN*m	Class of section = 1



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

z = 1.00	Mcr = 295.03 kN*m	Curve,LT - d	XLT = 1.00
Lcr,upp=1.05 m	Lam_LT = 0.17	fi,LT = 0.50	

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

Ly = 1.05 m	Lam_y = 0.32
Lcr,y = 1.05 m	Xy = 0.97
Lamy = 29.61	kzy = 0.57



About z axis:

Lz = 1.05 m	Lam_z = 0.55
Lcr,z = 1.05 m	Xz = 0.91
Lamz = 51.60	kzz = 0.95

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{1.66} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.66} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$\tau_{ty,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot gM_0)) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{tz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot gM_0)) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

Global stability check of member:


$$\lambda_{y} = 29.61 < \lambda_{y,max} = 180.00 \quad \lambda_{z} = 51.60 < \lambda_{z,max} = 180.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM_1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM_1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM_1) = 0.08 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM_1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM_1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM_1) = 0.08 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

Section OK !!!

→ Procedimento 2 – Tabela de Cálculo

RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO							
Grupo: Travessas transição		Combinação: - ELU.Mat(T+) Wy			$\gamma_{M0} = 1.00$		
Barra:	379	Perfil: TREC 100 x 50 x 4	Secção:	sm Meio-Vão	$\gamma_{M1} = 1.00$		
L=	1.05 m	Material: S 235	f_y=	235 N/mm ²	$\gamma_{M2} = 1.25$		
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ELÁSTICAS DA SECÇÃO							
							
h=	100 mm	A=	11.28 cm ²	A _{vz} =	7.59 cm ²		
b=	50 mm	I _y =	146.92 cm ⁴	I _z =	47.92 cm ⁴		
t _w =	4 mm	i _y =	3.50 cm	i _z =	2.00 cm		
t _f =	4 mm	W _{el,y} =	29.38 cm ³	W _{el,z} =	19.17 cm ³		
		W _{pl,y} =	36.13 cm ³	W _{pl,z} =	21.93 cm ³		
Classe à Flexão	1	Classe à Compressão	1	Classe adoptada	1		
ESFORÇOS DE CÁLCULO							
N _{T,Ed} =	0.00 kN	V _{y,Ed} =	0.00 kN	M _{y,Ed} =	0.36 kN.m		
N _{c,Ed} =	0.76 kN	V _{z,Ed} =	0.00 kN	M _{z,Ed} =	-0.30 kN.m		
PARAMETROS DE ENCURVADURA							
Eixo y-y			Eixo z-z				
L _y =	1.05 m	$\bar{\lambda}_{y}$ =	0.32	L _z =	1.05 m	$\bar{\lambda}_{z}$ =	0.56
L _{cr,y} =	1.05 m	χ_{y} =	0.97	L _{cr,z} =	1.05 m	χ_{z} =	0.90
λ_{y} =	30.00	k _{yy} =	0.95	λ_{z} =	52.50	k _{zz} =	0.95
		k _{yz} =	0.57			k _{zy} =	0.57
PARAMETROS DE ENCURVADURA LATERAL							
		z _g =	B. Sup				
L _{cr} =	1.05 m	α_{LT} =	0.760	ϕ_{LT} =	0.502		
M _{cr} =	301.65 kN.m	$\bar{\lambda}_{LT}$ =	0.168	χ_{LT} =	1.000		
C1=	1.132	C2=	0.459	C3=	0.525		
ESFORÇOS RESISTENTES							
N _{c,Rd} =	265.08 kN	M _{c,y,Rd} =	8.49 kN.m	M _{c,z,Rd} =	5.15 kN.m		
N _{b,y,Rd} =	257.90 kN	M _{N,y,Rd} =	8.49 kN.m	M _{N,z,Rd} =	5.15 kN.m		
N _{b,z,Rd} =	239.86 kN	M _{b,Rd} =	8.49 kN.m	V _{c,y,Rd} =	50.06 kN		
				V _{c,z,Rd} =	102.98 kN		

VERIFICAÇÕES

[NP EN 1993-1-1]

Resistência da Secção

Tração - (6.2.3)

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = \text{ } \leq 1$$

Compressão - (6.2.4)

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.00 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Momento Fletor - (6.2.5)

$$M_{y,Ed}/M_{c,y,Rd} = 0.04 \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$M_{z,Ed}/M_{c,z,Rd} = 0.06 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Esforço Transverso Plástico - (6.2.6)

$$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} = 0.00 \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} = 0.00 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Esforço Transverso Elástico - (6.2.6)

$$y - (\tau_{Ed} * 3^{0.5} * \gamma_{M0})/f_y = 0.01 \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$z - (\tau_{Ed} * 3^{0.5} * \gamma_{M0})/f_y = 0.01 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Flexão com Esforço Transverso - (6.2.8)

$$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} = 0.00 < 0,5 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{y,Ed}/M_{V,y,Rd} = 0.04 \leq 1 \quad \text{OK}$$

VEd sem significado $M_{V,y,Rd} = \text{N.A. kN.m}$

$$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} = 0.00 < 0,5 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{z,Ed}/M_{V,z,Rd} = 0.06 \leq 1 \quad \text{OK}$$

VEd sem significado $M_{V,z,Rd} = \text{N.A. kN.m}$

Flexão Composta - (6.2.9)

$$N_{Ed}/N_{pl,Rd} = 0.00 \leq 0,25 \quad \text{Verifica}$$

$$N_{Ed}/h_w * t_w * f_y = 0.01 \leq 0,5 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} = 0.04 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Redução de MRd N.A. $M_{N,y,Rd} = \text{N.A. kN.m}$

$$N_{Ed}/h_w * t_w * f_y = 0.01 \leq 1 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} = 0.06 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Redução de MRd N.A. $M_{N,z,Rd} = \text{N.A. kN.m}$

Flexão Composta Desviada - (6.2.9)

$$\alpha = 1.66 \quad \beta = 1.66 \quad \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta = 0.01 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Figura 6-16 – Relatório da Barra nº 379 – 2/3

Resistência da Barra

Resistência à Encurvadura - (6.3.2.1)

$$M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd} = 0.04 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Fatores de Interação

$$k_{yy} = 0.950$$

$$k_{yz} = 0.571$$

$$k_{zy} = 0.570$$

$$k_{zz} = 0.951$$

Coeficientes de Momento Mniforme Equivalente

$$C_{my} = 0.95$$

$$C_{mz} = 0.95$$

$$C_{mLT} = 0.95$$

$$\lambda_{y} = 30.00 \leq \lambda_{,max} = 180$$

$$\lambda_{z} = 52.50 \leq \lambda_{,max} = 180$$

Resistência à Encurvadura por Flexão Composta com Compressão "Coluna-Viga" (6.3.3) - Anexo B

$$N_{ed}/N_{y,Rd} = 0.00$$

+

$$k_{yy}[M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd}] = 0.04$$

+

$$k_{yz}[M_{z,Ed}/M_{z,Rd}] = 0.03$$

=

$$(6.61) \quad 0.08 \leq 1$$

OK

$$N_{ed}/N_{z,Rd} = 0.00$$

+

$$k_{zy}[M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd}] = 0.03$$

+

$$k_{zz}[M_{z,Ed}/M_{z,Rd}] = 0.06$$

=

$$(6.62) \quad 0.08 \leq 1$$

OK

CONCLUSÃO: A barra cumpre todos os critérios de segurança!

página 3/3

Figura 6-17 – Relatório da barra nº 379 – 3/3

◆ **Comparação de Resultados**

Nas tabelas seguintes indicam-se os resultados obtidos.

Tabela 6-5 – Secção Transversal

Estado Limite Último	"Robot"	Tabela de Cálculo	Desvio
Compressão	0,00	0,00	0,00
Flexão	y-y	0,04	0,00
	z-z	0,06	0,00
Flexão Desviada	0,01	0,01	0,01

Tabela 6-6 – Encurvadura por Compressão

Parâmetros	“Robot”	Tabela de Cálculo	Desvio
$\bar{\lambda}_y$	0,32	0,32	0,00
$\bar{\lambda}_z$	0,55	0,56	0,01
χ_y	0,97	0,97	0,00
χ_z	0,91	0,90	0,01
$N_{c,Ed}/N_{b,z,Rd}$	0,00	0,00	0,00

Tabela 6-7 – Encurvadura Lateral

Parâmetros	“Robot”	Tabela de Cálculo	Desvio
M_{cr} (kN.m)	53,87	50,89	2,98
$\bar{\lambda}_{LT}$	0,56	0,58	0,02
χ_{LT}	0,74	0,72	0,02
$M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd}$	0,07	0,06	0,01

Tabela 6-8 – Encurvadura por Flexão Composta com Compressão

Parâmetros	“Robot”	Tabela de Cálculo	Desvio
K_{yy}	0,95	0,95	0,00
K_{yz}	0,57	0,57	0,00
K_{zy}	0,57	0,57	0,00
K_{zz}	0,95	0,95	0,00
Eq. 6.61	0,08	0,08	0,00
Eq 6.62	0,08	0,08	0,00

Foi feita a verificação da flecha para a barra 379 que é a mais condicionante.

$$\delta_{adm} = \frac{L}{250} = \frac{1,05}{250} = 0,0042 \text{ m} = 0,42 \text{ cm}$$

Tabela 6-9 – Verificação da Flecha

Barra nº	Combinação condicionante	δ_v (cm)	δ_{adm} (cm)	Rácio	Verificação
379	ELS.Pass(T+) Wxyp	0,03	0,42	0,06	OK!

◆ Conclusão

Os perfis escolhidos para todas as travessas respeitam as verificações de segurança aos estados limites últimos e de serviço.

6.2.2.6 Travessas – Painel Horizontal Inferior

No dimensionamento destas travessas consideraram-se dois grupos:

- as principais sujeitas a esforços de flexão e corte;
- as secundárias em que os esforços axiais são condicionantes.

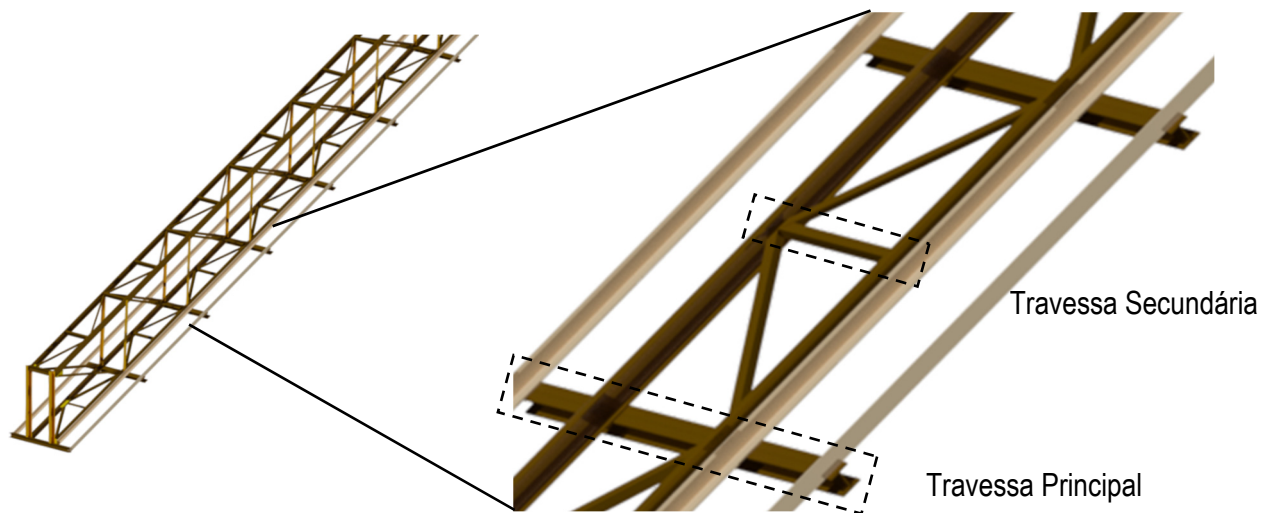


Figura 6-18 – Travessas

➤ Travessas Principais

Para estas barras o dimensionamento foi realizado na Tabela de Cálculo e no software “SemiComp+”.

A travessa mais solicitada está dividida em três barras conforme se mostra na Figura 6-19.

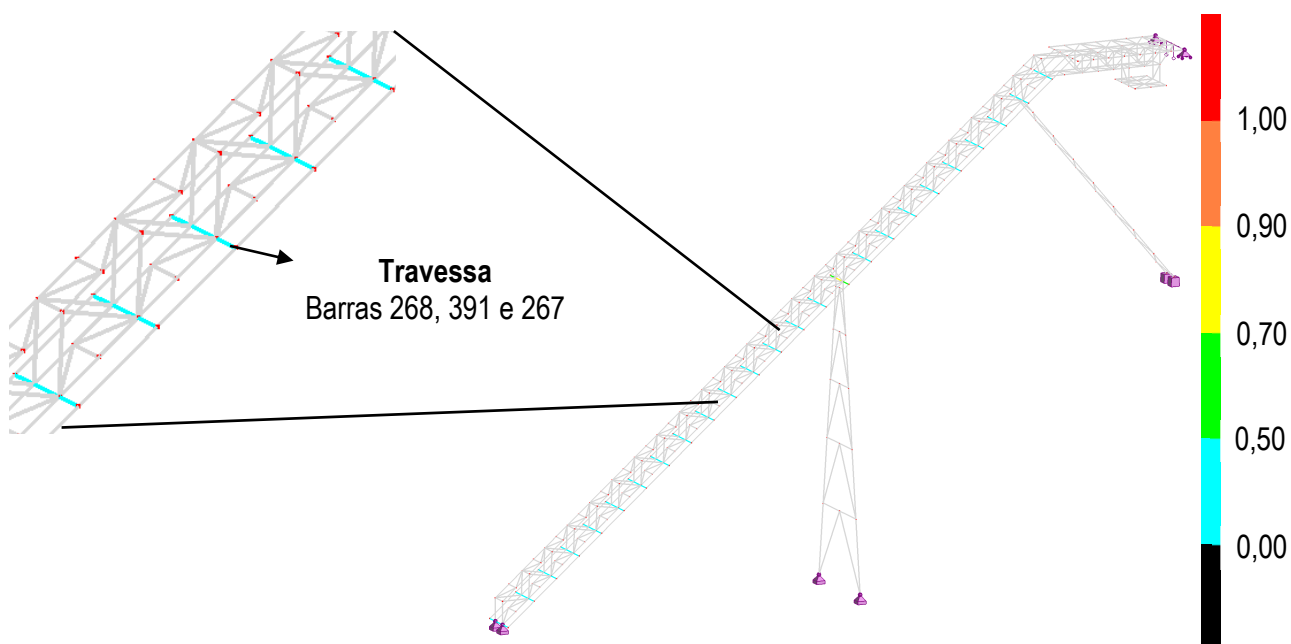


Figura 6-19 – Travessa Principal

Junta-se os elementos referentes ao cálculo da travessa principal mais solicitada.

Tabela 6-10 – Características Elásticas - HEB 100

Perfil	A cm ²	I _y cm ⁴	W _{el,y} cm ³	W _{pl,y} cm ³	i _y cm	A _{vy} cm ²	I _z cm ⁴	W _{el,z} cm ³	W _{pl,z} cm ³	i _z cm	A _{vz} cm ²	I _t cm ⁴	I _w cm ⁶
HEB 100	26,04	449,5	89,91	104,2	4,16	17,0	167,3	33,45	51,42	2,53	9,04	9,25	3375

Tabela 6-11 – Esforços de Cálculo

Barra nº	Combinação Condicionante	Secção (m)	V _{y,Ed} (kN)	V _{z,Ed} (kN)	M _{y,Ed} (kN.m)	M _{z,Ed} (kN.m)
268	ELU.Pass(T+) Wy	si - 0,00	-8,22	2,35	0,00	2,49
		sm - 0,41	-8,29	2,43	-0,97	-0,86
		sf - 0,81	-39,68	4,50	-1,99	-2,87
391	ELU.Pass(T+) Wy	si - 0,00	0,58	0,11	-1,99	-1,00
		sm - 0,53	0,67	0,00	-1,96	-1,32
		sf - 1,05	0,76	-0,11	-1,99	-1,70
267	ELU.Pass(T+) Wy	si - 0,00	32,89	-4,47	-1,99	-2,00
		sm - 0,41	5,99	-2,43	-0,97	-0,58
		sf - 0,81	5,92	-2,35	0,00	1,83

→ Procedimento 1 – Tabela de Cálculo

Nas tabelas 6-12 e 6-13 estão indicadas as verificações realizadas no cálculo das secções desta travessa.

Tabela 6-12 – Verificação ao Esforço Transverso.

Travessa (Barras)	Encurvadura devido ao Esforço Transverso	Eixo y-y		Eixo z-z	
		V _{pl,y,Rd}	Rácio	V _{pl,z,Rd}	Rácio
		kN	V _{y,Ed} / V _{pl,y,Rd}	kN	V _{z,Ed} / V _{pl,z,Rd}
268	$h_w/t_w \leq 72\varepsilon/\eta$ 13 < 60 O.K.	230,65	0,17	122,65	0,04
391	13 < 60 O.K.	230,65	0,00	122,65	0,00
267	13 < 60. O.K.	230,65	0,14	122,65	0,04

6. Dimensionamento

Tabela 6-13 – Verificação à Flexão

Barra	Eixo y-y			Eixo z-z			Flexão Desviada		
	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} < 0,5$	$M_{pl,y,Rd}$ kN.m	Rácio $\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,y,Rd}} < 0,5$	$M_{pl,z,Rd}$ kN.m	Rácio $\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}}$	α	β	Rácio
268	V_{Ed} sem significado	24,49	0,08	V_{Ed} sem significado	12,08	0,24	2	1	0,24
391	V_{Ed} sem significado	24,49	0,08	V_{Ed} sem significado	12,08	0,14	2	1	0,15
267	V_{Ed} sem significado	24,49	0,08	V_{Ed} sem significado	12,08	0,17	2	1	0,17

Para a verificação ao bambeamento foi necessário também determinar os momentos críticos.

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(KL)^2} \left\{ \left[\left(\frac{K}{K_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(KL)^2 G I_t}{\pi^2 E I_z} + (C_2 z_g)^2 \right]^{0,5} - C_2 z_g \right\} \quad (6-2)$$

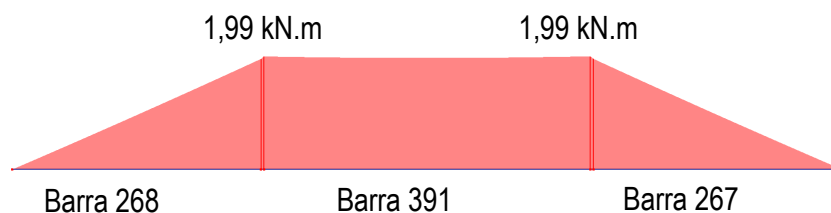
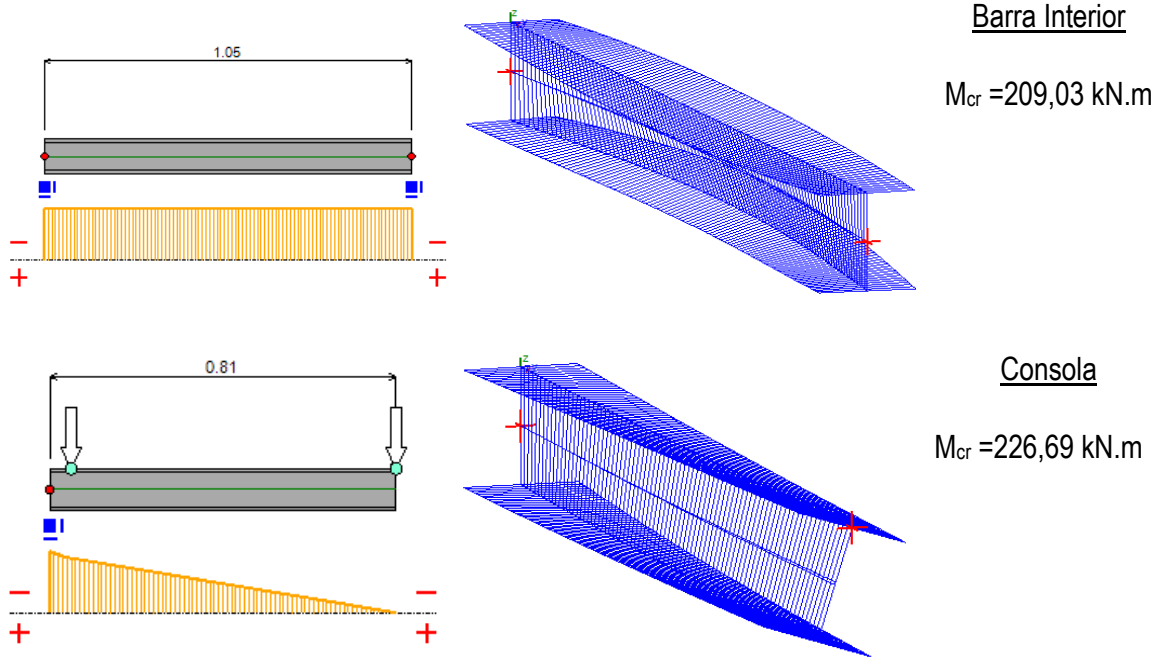


Figura 6-20 – Diagrama de Momentos $M_{y,Ed}$

Tabela 6-14 – Momentos Críticos – Cálculo Analítico

Barra	L_{cr} (m)	Rotação em z-z	Permite empenamento	KL	K_w	C_1	C_2	M_{cr} kN.m
268	0,81	sim	sim	1,0	1,0	1,05	0,43	226,21
391	1,05	sim	sim	1,0	1,0	1,000	0,00	208,52
267	0,81	sim	sim	1,0	1,0	1,05	0,43	226,21

Determinação dos momentos críticos com recurso ao *software* “LTBeamN” considerando que as ligações do troço em consola cumprem as condições indicadas nos modelos:



Nota: Estes resultados confirmam os que foram obtidos por via analítica.

Na tabela 8.16 estão indicadas todas as outras informações da verificação de encurvadura lateral das três barras que compõem a travessa.

Tabela 6-15 – Bambeamento

Barra	L_{cr} (m)	M_{cr} (kN.m)	$\bar{\lambda}_{LT}$	χ_{LT}	$M_{b,y,Rd}$ (kN.m)	Rácio
268	0,81	226,21	0,33	0,97	23,77	0,08
391	1,05	208,52	0,34	0,97	23,69	0,08
267	0,81	226,21	0,33	0,97	23,77	0,08

→ Procedimento 2 – “SemiComp+”

SEMICOMP Cross-Section Check			
Choose method EN 1993-1-1 (elastic Resistance) ▾			
$N_{Ed} = 0.000$ kN	$M_{y,Ed} = 1.990$ kNm	$V_{z,Ed} = 4.500$ kN	Perform cross-section checks
$M_{z,Ed} = 2.870$ kNm	$V_{y,Ed} = -39.680$ kN		
<i>Reference values for classification</i>			
$c/t_w = 9.333$	$\alpha_{web} = 0.500$	$\psi_{web} = -1.000$	$\varepsilon = 1.000$
$c/t_f = 3.500$	$\alpha_{flange} = 1.000$	$\psi_{flange} = 0.444$	$\varepsilon_{mod,c/3/4} = \text{NaN}$
<i>Boundaries</i>	Class 1	Class 2	Class 3
$c/t_w \leq c/t_{w,max} =$	72.000	83.000	124.000
$c/t_f \leq c/t_{f,max} =$	9.000	10.000	14.709
Cross section class =	1		
Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations.			
$M_{pl,y,Rd} = 24.49$ kNm	$M_{pl,z,Rd} = 12.08$ kNm	$V_{pl,z,Rd} = 122.60$ kN	
$M_{el,y,Rd} = 21.13$ kNm	$M_{el,z,Rd} = 7.86$ kNm	$V_{pl,y,Rd} = 271.35$ kN	
$N_{Rd} = 611.85$ kN			
EN 1993-1-1, 6.2.3 / 6.2.4			
<i>Tension or compression</i>			
$U_{(6.5)/(6.9)} = 0.000$	$\leq 1,0$	ok	
EN 1993-1-1, 6.2.5			
<i>Bending moment</i>			
$U_{strong A.} = 0.081$	$\leq 1,0$	ok	
$U_{weak A.} = 0.238$	$\leq 1,0$	ok	
EN 1993-1-1, 6.2.6			
<i>Shear</i>			
$U_{z-plastic} = 0.037$	$\leq 1,0$	ok	$U_{y-plastic} = 0.146$
$U_{z-elastic} = 0.064$	$\leq 1,0$	ok	$U_{y-elastic} = 0.219$
$h_w/t_w = 14.667$	$\leq 72\varepsilon/\eta = 60.000$	ok	
EN 1993-1-1, 6.2.9			
<i>Bending and axial force</i>			
$U_{(6.41)/(6.42)} = 0.244$	$\leq 1,0$	ok	$UF = 0.263$
Comment: Shear Interaction is not considered within this software tool. If the utilization for shear is higher than 0.5, an additional check for shear interaction is necessary.			

Figura 6-21 – Verificação da Secção – Barra 268 (Consola)

SEMICOMP Member Check

Section classification for member design check *(based on 1. order cross-section forces)*
Reference values for classification in the worst section along the member

$c/t_w =$ 9.333	$\alpha_{web} =$ 0.500	$\psi_{web} =$ -1.000	$\varepsilon =$ 1.000
$c/t_f =$ 3.500	$\alpha_{flange} =$ 1.000	$\psi_{flange} =$ 0.444	

Boundaries

	Class 1	Class 2	Class 3
$c/t_w \leq c/t_{w,max} =$	72.000	83.000	124.000
$c/t_f \leq c/t_{f,max} =$	9.000	10.000	14.709

Member class = 1

Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations. The user should check if parts of member are Class 4 in the "Additional info"-sheet.

Member Check

$N_{Rd} =$ 611.849 kN	$M_{pl,y,Rd} =$ 24.490 kNm	$N_{Ed} =$ 0.000 kN
$M_{y,Rd} =$ 24.490 kNm	$M_{pl,z,Rd} =$ 12.084 kNm	$M_{y,Ed,max} =$ 1.990 kNm
$M_{z,Rd} =$ 12.084 kNm	$M_{el,y,Rd} =$ 21.129 kNm	$M_{z,Ed,max} =$ 2.870 kNm
	$M_{el,z,Rd} =$ 7.862 kNm	

<i>Strong axis buckling</i>	<i>Weak axis buckling</i>	<i>Lateral torsional buckling</i>
$L_{cr,y} =$ 0.810 m	$L_{cr,z} =$ 0.810 m	$M_{cr} =$ 226.210 kNm
$N_{cr,y} =$ 14201.111 kN	$N_{cr,z} =$ 5284.118 kN	$\alpha_{LT} =$ 0.34 [-]
$\alpha_y =$ 0.34 [-]	$\alpha_z =$ 0.49 [-]	$\lambda_{LT} =$ 0.329 [-]
$\lambda_y =$ 0.208 [-]	$\lambda_z =$ 0.340 [-]	$\chi_{LT,mod} =$ 1.000 [-]
$\chi_y =$ 0.997 [-]	$\chi_z =$ 0.928 [-]	$f_{mod} =$ 0.931 [-]

EN 1993-1-1, 6.3.3
Uniform member in bending and axial compression

Eq. (6.61): $U =$ 0.000 $\leq 1,0$ ok	<i>Global interaction factors</i>
Eq. (6.62): $U =$ 0.000 $\leq 1,0$ ok	

$k_{yy} =$ 0.000
$k_{yz} =$ 0.000
$k_{zy} =$ 0.000
$k_{zz} =$ 0.000

Cross-section check at each end of the member

Left end: $U =$ 0.244 $\leq 1,0$ ok	$UF =$ 0.263
Right end: $U =$ 0.206 $\leq 1,0$ ok	$UF =$ 0.206

Additional member checks

EN 1993-1-1, 6.3.1
Strong axis flexural buckling check
 Eq. (6.46): $N_{Ed}/N_{b,Rd} =$ 0.000 $\leq 1,0$ ok

Weak axis flexural buckling check
 Eq. (6.46): $N_{Ed}/N_{b,Rd} =$ 0.000 $\leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.3.2
Lateral torsional buckling
 Eq. (6.54): $M_{Ed}/M_{b,Rd} =$ 0.081 $\leq 1,0$ ok

Figura 6-22 – Verificação do Elemento – Barra nº 268 (Consola)

SEMICOMP Cross-Section Check

Choose method EN 1993-1-1 (elastic Resistance)

Perform cross-section checks

$N_{Ed} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="0.000"/> kN	$V_{z,Ed} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="-0.110"/> kN
$M_{y,Ed} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="1.990"/> kNm	$V_{y,Ed} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="0.760"/> kN
$M_{z,Ed} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="1.700"/> kNm		

Reference values for classification

$c/t_w =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="9.333"/>	$\alpha_{web} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="0.500"/>	$\psi_{web} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="-1.000"/>	$\varepsilon =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="1.000"/>
$c/t_f =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="3.500"/>	$\alpha_{flange} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="1.000"/>	$\psi_{flange} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="0.512"/>	$\varepsilon_{mod,c3/4} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="NaN"/>

Boundaries

	Class 1	Class 2	Class 3
$c/t_w \leq c/t_{w,max} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="72.000"/>	<input style="width: 80%;" type="text" value="83.000"/>	<input style="width: 80%;" type="text" value="124.000"/>
$c/t_f \leq c/t_{f,max} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="9.000"/>	<input style="width: 80%;" type="text" value="10.000"/>	<input style="width: 80%;" type="text" value="14.561"/>

Cross section class = 1

Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations.

$M_{pl,y,Rd} =$	$M_{pl,z,Rd} =$	$V_{pl,z,Rd} =$
<input style="width: 80%;" type="text" value="24.49"/> kNm	<input style="width: 80%;" type="text" value="12.08"/> kNm	<input style="width: 80%;" type="text" value="122.60"/> kN
$M_{el,y,Rd} =$	$M_{el,z,Rd} =$	$V_{pl,y,Rd} =$
<input style="width: 80%;" type="text" value="21.13"/> kNm	<input style="width: 80%;" type="text" value="7.86"/> kNm	<input style="width: 80%;" type="text" value="271.35"/> kN
$N_{Rd} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="611.85"/> kN	

EN 1993-1-1, 6.2.3 / 6.2.4
Tension or compression

$U_{(6.5)/(6.9)} =$ $\leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.5
Bending moment

$U_{strong A.} =$ $\leq 1,0$ ok

$U_{weak A.} =$ $\leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.6
Shear

$U_{z-plastic} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="0.001"/> $\leq 1,0$	ok	$U_{y-plastic} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="0.003"/> $\leq 1,0$	ok
$U_{z-elastic} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="0.002"/> $\leq 1,0$	ok	$U_{y-elastic} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="0.004"/> $\leq 1,0$	ok
$h_w/t_w =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="14.667"/> $\leq 72\varepsilon l \eta =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="60.000"/>	ok		

EN 1993-1-1, 6.2.9
Bending and axial force

$U_{(6.41)/(6.42)} =$ $\leq 1,0$ ok $UF =$

Comment: Shear Interaction is not considered within this software tool. If the utilization for shear is higher that 0.5, an additional check for shear interaction is necessary.

Figura 6-23 – Verificação da Secção – Barra 391 (Troço interior)

SEMICOMP Member Check			
Section classification for member design check (based on 1. order cross-section forces)			
Reference values for classification in the worst section along the member			
$c/t_w =$	9.333	$\alpha_{web} =$	0.500
$c/t_f =$	3.500	$\alpha_{flange} =$	1.000
		$\psi_{web} =$	-1.000
		$\psi_{flange} =$	0.512
		$\epsilon =$	1.000
Boundaries			
	Class 1	Class 2	Class 3
$c/t_w \leq c/t_{w,max} =$	72.000	83.000	124.000
$c/t_f \leq c/t_{f,max} =$	9.000	10.000	14.561
Member class = 1			
Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations. The user should check if parts of member are Class 4 in the "Additional info"-sheet.			
Member Check			
$N_{Rd} =$	611.849 kN	$M_{pl,y,Rd} =$	24.490 kNm
$M_{y,Rd} =$	24.490 kNm	$M_{pl,z,Rd} =$	12.084 kNm
$M_{z,Rd} =$	12.084 kNm	$M_{el,y,Rd} =$	21.129 kNm
		$M_{el,z,Rd} =$	7.862 kNm
		$N_{Ed} =$	0.000 kN
		$M_{y,Ed,max} =$	1.990 kNm
		$M_{z,Ed,max} =$	1.700 kNm
Strong axis buckling		Weak axis buckling	
$L_{cr,y} =$	1.050 m	$L_{cr,z} =$	1.050 m
$N_{cr,y} =$	8451.110 kN	$N_{cr,z} =$	3144.590 kN
$\alpha_y =$	0.34 [-]	$\alpha_z =$	0.49 [-]
$\lambda_y =$	0.269 [-]	$\lambda_z =$	0.441 [-]
$\chi_y =$	0.975 [-]	$\chi_z =$	0.875 [-]
Lateral torsional buckling			
		$M_{cr} =$	208.520 kNm
		$\alpha_{LT} =$	0.34 [-]
		$\lambda_{LT} =$	0.343 [-]
		$\chi_{LT,mod} =$	1.000 [-]
		$f_{mod} =$	1.000 [-]
EN 1993-1-1, 6.3.3			
Uniform member in bending and axial compression		Global interaction factors	
Eq. (6.61):	$U = 0.000 \leq 1,0$ ok	$k_{yy} =$	0.000
Eq. (6.62):	$U = 0.000 \leq 1,0$ ok	$k_{yz} =$	0.000
		$k_{zy} =$	0.000
		$k_{zz} =$	0.000
Cross-section check at each end of the member			
Left end:	$U = 0.089 \leq 1,0$ ok	$UF =$	0.133
Right end:	$U = 0.147 \leq 1,0$ ok	$UF =$	0.178
Additional member checks			
EN 1993-1-1, 6.3.1			
Strong axis flexural buckling check			
Eq. (6.46):	$N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.000 \leq 1,0$ ok		
Weak axis flexural buckling check			
Eq. (6.46):	$N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.000 \leq 1,0$ ok		
EN 1993-1-1, 6.3.2			
Lateral torsional buckling			
Eq. (6.54):	$M_{Ed}/M_{b,Rd} = 0.081 \leq 1,0$ ok		

Figura 6-24 – Verificação do Elemento – Barra nº 391 (Troço interior)

Comparação dos Resultados

Tabela 6-16 – Secção Transversal Barra 268 (Consola)

Estado Limite Último	Tabela de Cálculo	“SemiComp+”	Desvio	
Esforço Transverso	y-y	0,17	0,15	0,02
	z-z	0,04	0,04	0,00
Flexão	y-y	0,08	0,08	0,00
	z-z	0,24	0,24	0,00
Flexão Desviada		0,24	0,24	0,00

Tabela 6-17 – Encurvadura Lateral Barra 268 (Consola)

	Tabela de Cálculo	“SemiComp+”	Desvio
M_{cr} (kN.m)	226,21	226,21	-
$\bar{\lambda}_{LT}$	0,33	0,33	0,00
χ_{LT}	0,97	1,00 (*)	0,03
$M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd}$	0,08	0,08	0,00

Tabela 6-18 – Secção Transversal Barra 391 (Troço interior)

Estado Limite Último	Tabela de Cálculo	“SemiComp+”	Desvio	
Esforço Transverso	y-y	0,00	0,00	0,00
	z-z	0,00	0,00	0,00
Flexão	y-y	0,08	0,08	0,00
	z-z	0,14	0,14	0,00
Flexão Desviada		0,15	0,15	0,00

Tabela 6-19 – Encurvadura Lateral Barra 391 (Troço interior)

	Tabela de Cálculo	“SemiComp+”	Desvio
M_{cr} (kN.m)	208,52	226,21	17,69
$\bar{\lambda}_{LT}$	0,34	0,34	0,00
χ_{LT}	0,97	1,00 (*)	0,03
$M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd}$	0,08	0,08	0,00

(*) – Embora $\bar{\lambda}_{LT}$ sejam iguais nos 2 procedimentos o software “Semicomp+”, utiliza para a determinação do χ_{LT} “método detalhado”.

Em relação aos estados limites de serviço consideraram-se para as flechas máximas os seguintes valores:

$$\text{Barra 268 (Consola)} \quad \delta_{adm} = \frac{2L}{250} = \frac{2 \cdot 0,81}{250} = 0,0065 \text{ m} = 0,65 \text{ cm}$$

$$\text{Barra 391 (Troço interior)} \quad \delta_{adm} = \frac{L}{250} = \frac{1,05}{250} = 0,0042 \text{ m} = 0,42 \text{ cm}$$

Tabela 6-20 – Verificação das Flechas

Barra nº	Combinação condicionante	δ_v (cm)	δ_{adm} (cm)	Rácio
268	ELS.Pass(T+) Wy	0,10	0,65	0,15
391	ELS.Pass(T+) Wy	0,10	0,42	0,24

◆ Conclusão

O perfil HEB 100 está pois de acordo com os critérios de segurança regulamentares

Travessas Secundárias

Os resultados do dimensionamento para estas barras estão indicados no ANEXO IV tendo-se obtido perfis L 40x4.

6.2.2.7 Cordões

Escolheram-se para os cordões da viga principal em caixão perfis UNP 120 que foram dimensionados à flexão composta com tração e ou compressão através do “Robot” e da Tabela de Cálculo.

Os comprimentos de encurvadura nos dois planos principais de inércia estão indicados na figura.

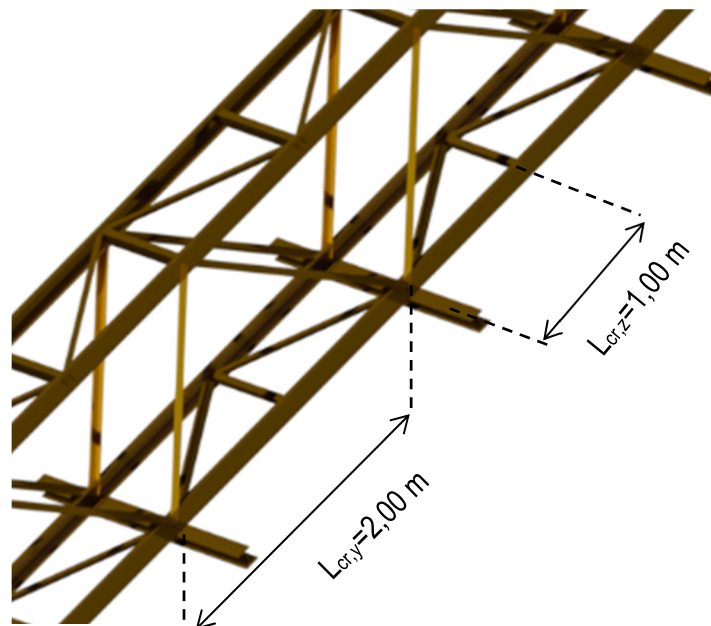


Figura 6-25 – Comprimentos de Encurvadura

→ Procedimento 1 – “Robot”

Através deste *software* obtiveram-se para as diferentes barras os rácios indicados no gráfico da Figura 6-26.

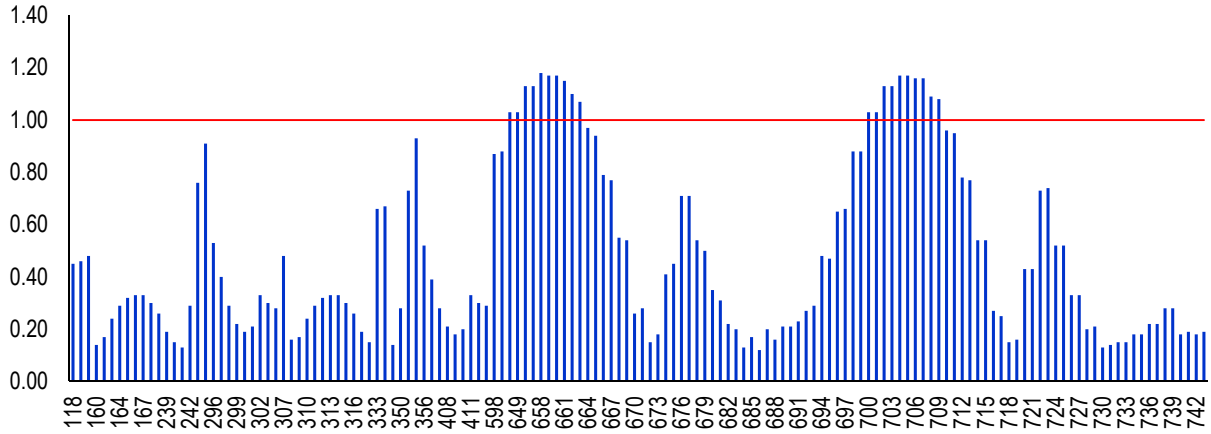


Figura 6-26 – Rácios - Cordões

Juntam-se todos os elementos referentes ao dimensionamento da barra mais esforçada.

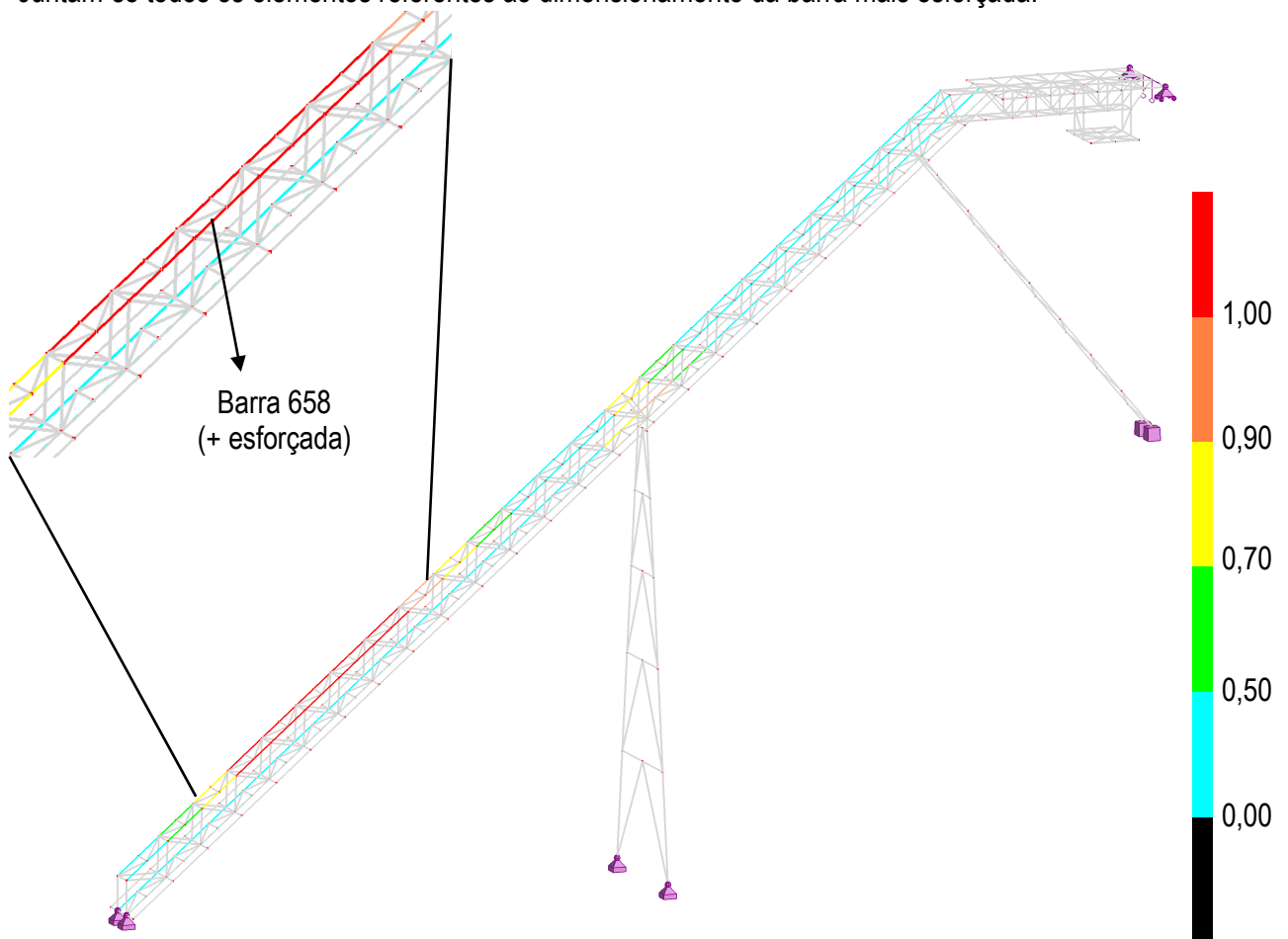


Figura 6-27 – Rácios das barras

STEEL DESIGN

CODE: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Member Verification

MEMBER: 658 CV - Cordões Superiores Caixa_658 **POINT:** 1 **COORDINATE:** x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 28 ELU.Pass(T+) Wy (1+2)*1.35+4*1.20+3*1.50+(8+6)*0.90

MATERIAL:

S 235 (S 235) fy = 235.00 MPa



SECTION PARAMETERS: UPN 140

h=14.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=6.0 cm	Ay=13.27 cm ²	Az=9.97 cm ²	Ax=20.27 cm ²
tw=0.7 cm	Iy=604.67 cm ⁴	Iz=62.51 cm ⁴	Ix=5.25 cm ⁴
tf=1.0 cm	Wply=102.75 cm ³	Wplz=28.35 cm ³	Class of section = 1

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 312.73 kN	My,Ed = 0.86 kN*m	Mz,Ed = 0.43 kN*m	Vy,Ed = 0.69 kN
Nc,Rd = 476.33 kN	My,Ed,max = 1.56 kN*m	Mz,Ed,max = -0.49 kN*m	Vy,T,Rd = 180.03 kN
Nb,Rd = 372.30 kN	My,c,Rd = 24.15 kN*m	Mz,c,Rd = 6.66 kN*m	Vz,Ed = 0.78 kN
	MN,y,Rd = 13.74 kN*m	MN,z,Rd = 3.79 kN*m	Vz,T,Rd = 135.26 kN
	Mb,Rd = 20.30 kN*m		Tt,Ed = -0.00 kN*m



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

z = 1.00	Mcr = 141.09 kN*m	Curve,LT - d	XLT = 0.84
Lcr,upp=1.00 m	Lam_LT = 0.41	fi,LT = 0.67	

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

Ly = 1.00 m	Lam_y = 0.39
Lcr,y = 2.00 m	Xy = 0.90
Lamy = 36.62	kzy = 0.91



About z axis:

Lz = 1.00 m	Lam_z = 0.61
Lcr,z = 1.00 m	Xz = 0.78
Lamz = 56.94	kzz = 0.61

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.66 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{1.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.18 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{xy,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{xz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

Global stability check of member:

$$\lambda_{y} = 36.62 < \lambda_{y,max} = 180.00 \quad \lambda_{z} = 56.94 < \lambda_{z,max} = 180.00 \quad \text{STABLE}$$


$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.08 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.83 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.95 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

Section OK !!!

→ Procedimento 2 – Tabela de Cálculo

RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO							
Grupo: Cordões		Combinação: - ELU.Mat(T+) Wy			$\gamma_{M0} = 1.00$		
Barra: 658		Perfil: UPN 140	Secção: si Inicial			$\gamma_{M1} = 1.00$	
L= 1.00 m		Material: S 235	f_y= 235 N/mm ²			$\gamma_{M2} = 1.25$	
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ELÁSTICAS DA SECÇÃO							
h=	140 mm	A=	20.40 cm ²	A _{vz} =	10.41 cm ²		
b=	60 mm	I _y =	605.00 cm ⁴	I _z =	62.70 cm ⁴		
t _w =	7 mm	i _y =	5.45 cm	i _z =	1.75 cm		
t _f =	10 mm	W _{el,y} =	86.40 cm ³	W _{el,z} =	14.80 cm ³		
		W _{pl,y} =	103.00 cm ³	W _{pl,z} =	28.30 cm ³		
Classe à Flexão	1	Classe à Compressão	1	Classe adoptada	1		
ESFORÇOS DE CÁLCULO							
N _{T,Ed} =	0.00 kN	V _{y,Ed} =	0.69 kN	M _{y,Ed} =	0.86 kN.m		
N _{c,Ed} =	312.73 kN	V _{z,Ed} =	0.78 kN	M _{z,Ed} =	0.43 kN.m		
PARAMETROS DE ENCURVADURA							
Eixo y-y			Eixo z-z				
L _y =	1.00 m	$\bar{\lambda}_{y}$ =	0.39	L _z =	1.00 m	$\bar{\lambda}_{z}$ =	0.61
L _{cr,y} =	2.00 m	χ_{y} =	0.90	L _{cr,z} =	1.00 m	χ_{z} =	0.78
λ_{y} =	36.70	k _{yy} =	0.93	λ_{z} =	57.14	k _{zz} =	0.61
		k _{yz} =	0.36			k _{zy} =	0.91
PARAMETROS DE ENCURVADURA LATERAL							
		z _g =	B. Sup				
L _{cr} =	1.00 m	α_{LT} =	0.760	ϕ_{LT} =	0.676		
M _{cr} =	133.67 kN.m	$\bar{\lambda}_{LT}$ =	0.426	χ_{LT} =	0.832		
C1=	1.286	C2=	0.000	C3=	0.993		
ESFORÇOS RESISTENTES							
N _{c,Rd} =	479.40 kN	M _{c,y,Rd} =	24.21 kN.m	M _{c,z,Rd} =	6.65 kN.m		
N _{b,y,Rd} =	432.50 kN	M _{N,y,Rd} =	10.60 kN.m	M _{N,z,Rd} =	5.54 kN.m		
N _{b,z,Rd} =	374.08 kN	M _{b,Rd} =	20.14 kN.m				
				V _{c,y,Rd} =	135.54 kN		
				V _{c,z,Rd} =	141.24 kN		

VERIFICAÇÕES

[NP EN 1993-1-1]

Resistência da Secção

Tração - (6.2.3)

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = \text{0.00} \leq 1$$

Compressão - (6.2.4)

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = \text{0.65} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Momento Fletor - (6.2.5)

$$M_{y,Ed}/M_{c,y,Rd} = \text{0.04} \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$M_{z,Ed}/M_{c,z,Rd} = \text{0.06} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Esforço Transverso Plástico - (6.2.6)

$$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} = \text{0.01} \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} = \text{0.01} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Esforço Transverso Elástico - (6.2.6)

$$y - (\tau_{Ed} * 3^{0.5} * \gamma_{M0})/f_y = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$z - (\tau_{Ed} * 3^{0.5} * \gamma_{M0})/f_y = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Flexão com Esforço Transverso - (6.2.8)

$$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} = \text{0.01} < 0,5 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{y,Ed}/M_{V,y,Rd} = \text{0.04} \leq 1 \quad \text{OK}$$

VEd sem significado $M_{V,y,Rd} = \text{N.A. kN.m}$

$$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} = \text{0.01} < 0,5 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{z,Ed}/M_{V,z,Rd} = \text{0.06} \leq 1 \quad \text{OK}$$

VEd sem significado $M_{V,z,Rd} = \text{N.A. kN.m}$

Flexão Composta - (6.2.9)

$$N_{Ed}/N_{pl,Rd} = \text{0.65} \leq 0,25 \quad \text{Verifica}$$

$$N_{Ed}/h_w \cdot t_w \cdot f_y = \text{1.58} \leq 0,5 \quad \text{N.Verifica}$$

$$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} = \text{0.08} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Calcular MRd Reduzido $M_{N,y,Rd} = \text{10.60 kN.m}$

$$N_{Ed}/h_w \cdot t_w \cdot f_y = \text{1.58} \leq 1 \quad \text{N.Verifica}$$

$$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} = \text{0.08} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Calcular MRd Reduzido $M_{N,z,Rd} = \text{5.54 kN.m}$

Flexão Composta Desviada - (6.2.9)

$$\alpha = 1.00 \quad \beta = 1.00 \quad \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta = \text{0.16} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Figura 6-29 – Relatório da Barra 658 – 2/3

Resistência da Barra

Resistência à Encurvadura - (6.3.2.1)

$$M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd} = 0.08 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Fatores de Interação

$$k_{yy} = 0.934$$

$$k_{yz} = 0.364$$

$$k_{zy} = 0.911$$

$$k_{zz} = 0.606$$

Coeficientes de Momento Mniforme Equivalente

$$C_{my} = 0.82$$

$$C_{mz} = 0.40$$

$$C_{mLT} = 0.82$$

$$\lambda_{yy} = 36.70 \leq \lambda_{max} = 180$$

$$\lambda_{zz} = 57.14 \leq \lambda_{max} = 180$$

Resistência à Encurvadura por Flexão Composta com Compressão "Coluna-Viga" (6.3.3) - Anexo B

$$N_{ed}/N_{y,Rd} = 0.72$$

$$N_{ed}/N_{z,Rd} = 0.84$$

+

$$k_{yy}[M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd}] = 0.07$$

$$k_{zy}[M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd}] = 0.03$$

+

$$k_{yz}[M_{z,Ed}/M_{z,Rd}] = 0.03$$

$$k_{zz}[M_{z,Ed}/M_{z,Rd}] = 0.04$$

=

$$(6.61) \quad 0.82 \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$(6.62) \quad 0.95 \leq 1 \quad \text{OK}$$

CONCLUSÃO: A barra cumpre todos os critérios de segurança!

página 3/3

Figura 6-30 – Relatório da Barra 658 – 3/3

Comparação de Resultados

Tabela 6-21 – Secção Transversal - Barra 658

Estado Limite Último	"Robot"	Tabela de Cálculo	Desvio
Compressão	0,66	0,65	0,01
Esforço Transverso	y-y	0,00	0,01
	z-z	0,01	0,00
Flexão	y-y	0,11	0,08
	z-z	0,13	0,08
Flexão Desviada	0,18	0,16	0,02

Tabela 6-22 – Encurvadura por Compressão – Barra 658

Parâmetros	“Robot”	Tabela de Cálculo	Desvio
$\bar{\lambda}_y$	0,39	0,39	0,00
$\bar{\lambda}_z$	0,61	0,61	0,00
χ_y	0,90	0,90	0,00
χ_z	0,78	0,78	0,00
$N_{c,Ed}/N_{b,z,Rd}$	0,84	0,84	0,00

Tabela 6-23 – Encurvadura Lateral Barra 658

Parâmetros	“Robot”	Tabela de Cálculo	Desvio
M_{cr} (kN.m)	141,09	133,67	7,42
$\bar{\lambda}_{LT}$	0,41	0,43	0,02
χ_{LT}	0,84	0,83	0,01
$M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd}$	0,08	0,08	0,00

Tabela 6-24 - Encurvadura por Flexão Composta com Compressão – Barra 658

Parâmetros	“Robot”	Tabela de Cálculo	Desvio
K_{yy}	0,95	0,94	0,01
K_{yz}	0,57	0,36	0,21
K_{zy}	0,91	0,91	0,00
K_{zz}	0,61	0,61	0,00
Eq. 6.61	0,83	0,82	0,01
Eq 6.62	0,95	0,95	0,00

A verificação da flecha máxima conduziu aos seguintes valores:

$$\begin{aligned} \text{Eixo y-y} \quad \delta_{adm,y} &= \frac{L}{250} = \frac{1}{250} = 0,004 \text{ m} \\ \text{Eixo z-z} \quad \delta_{adm,z} &= \frac{L}{250} = \frac{2}{250} = 0,008 \text{ m} = 0,8 \text{ cm} \end{aligned}$$

Barra nº	Combinação Condicionante	δ_v (cm)	δ_{adm} (cm)	Rácio
658	Eixo y-y ELS.Pass(T+) Wy	0,005	0,40	0,01
	Eixo z-z ELS.Pass(T+) Wzz	0,009	0,80	0,01

◆ Conclusão

O perfil escolhido UNP 140 cumpre as condições de segurança regulamentares para todas as barras.

6.2.3 Viga Trelaçada Espacial – Tramo Horizontal

Na figura seguinte apresenta-se o Tramo Horizontal desta viga.

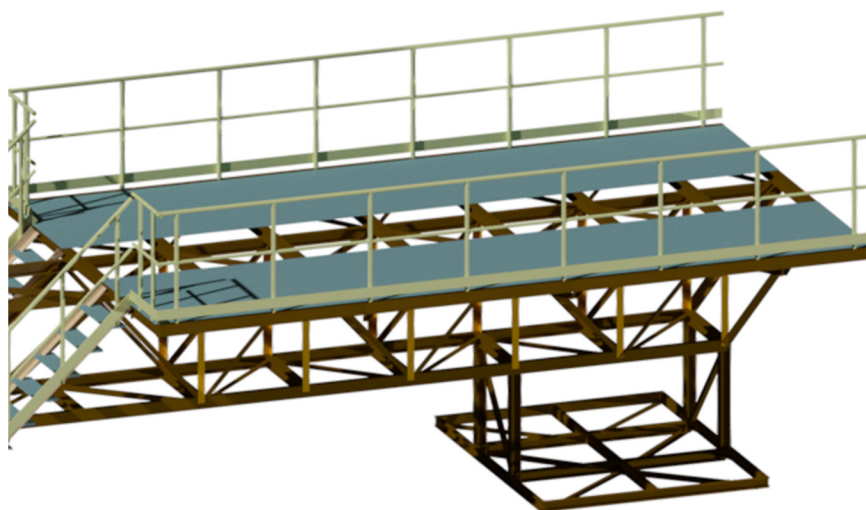


Figura 6-31 – Tramo Horizontal

As barras desta viga foram divididas em grupos de diagonais, prumos, travessas, longarinas e cordões. Uma vez que o processo de dimensionamento da maioria destas barras é semelhante às barras do Tramo Inclinado, apenas é apresentado o dimensionamento das Longarinas e das Travessas do painel, sendo os restantes grupos de barras apresentados nos ANEXOS V a XI. O dimensionamento foi realizado através do “Robot” e da Tabela de Cálculo.

O dimensionamento destes grupos resultou nos seguintes perfis:

- Perfis L50x5 – Diagonais Painel Horizontal Superior;
- Perfis L40x4 – Diagonais Painel Horizontal Inferior;
- Perfis L60x6 – Diagonais Painéis Verticais;
- Perfis HEB 100 – Travessas Painel Horizontal Superior;
- Perfis L60x6 – Prumos Painéis Verticais;
- Perfis L50x5 – Diagonais da Passerelle;
- Perfis UNP120 – Cordões.

6.2.3.1 Longarinas

Para as longarinas do Tramo Horizontal foram adotadas as mesmas verificações do Tramo Inclinado, e o seu dimensionamento feito no “Robot” e na *Tabela de Cálculo*.

→ Procedimento 1 – “Robot”

Atribui-se para as longarinas perfis UNP 120 e o dimensionamento resumido nas Tabela 6-25 Tabela 6-26.

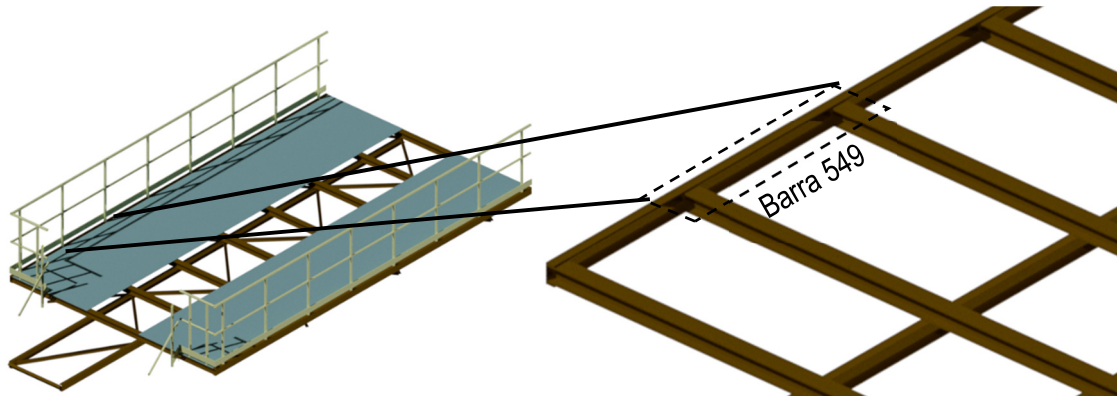


Figura 6-32 – Longarina mais solicitada

Tabela 6-25 – Características Elásticas

Perfil	A cm ²	I _y cm ⁴	W _{el,y} cm ³	W _{pl,y} cm ³	i _y cm	A _{vz} cm ²	I _z cm ⁴	W _{el,z} cm ³	W _{pl,z} cm ³	i _z cm	A _{vy} cm ²
UNP 120	17,0	364	60,7	72,6	4,62	8,8	43,2	11,1	21,2	1,59	8,2

Tabela 6-26 – Esforços de Cálculo

Barra	Combinação Condicionante	Secção (m)	N _{c,Ed} (kN)	V _{y,Ed} (kN)	V _{z,Ed} (kN)	M _{y,Ed} (kN.m)	M _{z,Ed} (kN.m)
549	ELU.Pass(T+) Wyy	si - 0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		sm - 0,53	0,00	0,32	-1,72	-0,46	-0,08
		sf - 1,06	0,00	0,64	-3,44	-1,82	-0,34

STEEL DESIGN

CODE: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Code Group Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 549 CV - Longarinas - y_549 **POINT:** 3 **COORDINATE:** x = 1.00 L = 1.06 m

LOADS:

Governing Load Case: 30 ELU.Pass(T+) Wyy (1+2)*1.35+4*1.20+3*1.50+(9+6)*0.90

MATERIAL:

S235 (S235) fy = 235.00 MPa



SECTION PARAMETERS: UPN 120

h=12.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=5.5 cm	Ay=11.00 cm ²	Az=8.42 cm ²	Ax=16.88 cm ²
tw=0.7 cm	Iy=364.25 cm ⁴	Iz=43.08 cm ⁴	Ix=3.77 cm ⁴
tf=0.9 cm	Wply=72.69 cm ³	Wplz=21.30 cm ³	Class of section = 1

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

My,Ed = -1.82 kN*m	Mz,Ed = -0.34 kN*m	Vy,Ed = 0.64 kN
My,pl,Rd = 17.08 kN*m	Mz,pl,Rd = 5.01 kN*m	Vy,c,Rd = 149.31 kN
My,c,Rd = 17.08 kN*m	Mz,c,Rd = 5.01 kN*m	Vz,Ed = -3.44 kN
		Vz,c,Rd = 114.31 kN



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:



About z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{1.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.17 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,c,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.03 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

Global stability check of member:

$$M_{y,Ed}/(XLT * M_{y,Rk}/gM1) + M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.17 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

Section OK !!!

Figura 6-33 – Verificação da Longarina

→ Procedimento 2 – Tabela de Cálculo


RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO							
Grupo: Longarinas PH Sup TH		Combinação: - ELU.Pass(T+) Wyy			$\gamma_{M0} = 1.00$		
Barra:	549	Perfil: UPN 120	Secção: sf	Final	$\gamma_{M1} = 1.00$		
L=	1.06 m	Material: S 235	f_y=	235 N/mm ²	$\gamma_{M2} = 1.25$		
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ELÁSTICAS DA SECÇÃO							
							
h=	120 mm	A=	17.00 cm ²	A _{vz} =	8.80 cm ²		
b=	55 mm	I _y =	364.00 cm ⁴	I _z =	43.20 cm ⁴		
t _w =	7 mm	i _y =	4.62 cm	i _z =	1.59 cm		
t _f =	9 mm	W _{el,y} =	60.70 cm ³	W _{el,z} =	11.10 cm ³		
		W _{pl,y} =	72.60 cm ³	W _{pl,z} =	21.20 cm ³		
Classe à Flexão	1	Classe à Compressão	1	Classe adoptada	1		
ESFORÇOS DE CÁLCULO							
N _{T,Ed} =	0.00 kN	V _{y,Ed} =	0.64 kN	M _{y,Ed} =	-1.82 kN.m		
N _{c,Ed} =	0.00 kN	V _{z,Ed} =	-3.44 kN	M _{z,Ed} =	-0.34 kN.m		
PARAMETROS DE ENCURVADURA							
Eixo y-y			Eixo z-z				
L _y =	1.06 m	$\bar{\lambda}_{y}$ =	0.24	L _z =	1.06 m	$\bar{\lambda}_{z}$ =	0.71
L _{cr,y} =	1.06 m	χ_{y} =	0.99	L _{cr,z} =	1.06 m	χ_{z} =	0.78
λ_{y} =	22.94	k _{zy} =	0.24	λ_{z} =	66.67	k _{zz} =	0.40
PARAMETROS DE ENCURVADURA LATERAL							
		z _g =	B. Sup				
L _{cr} =	1.06 m	α_{LT} =	0.490	ϕ_{LT} =	0.760		
M _{cr} =	50.89 kN.m	$\bar{\lambda}_{LT}$ =	0.579	χ_{LT} =	0.798		
C1=	1.132	C2=	0.459	C3=	0.525		
ESFORÇOS RESISTENTES							
N _{c,Rd} =	399.50 kN	M _{c,y,Rd} =	17.06 kN.m	M _{c,z,Rd} =	4.98 kN.m		
N _{b,y,Rd} =	395.58 kN	M _{N,y,Rd} =	17.061 kN.m	M _{N,z,Rd} =	4.98 kN.m		
N _{b,z,Rd} =	310.83 kN	M _{b,Rd} =	13.61 kN.m				
				V _{c,y,Rd} =	134.32 kN		
				V _{c,z,Rd} =	119.40 kN		

Figura 6-34 – Relatório da Barra 549 – 1/2

VERIFICAÇÕES		[NP EN 1993-1-1]	
Resistência da Secção			
<i>Tração - (6.2.3)</i>			
$N_{Ed}/N_{c,Rd} =$	0.00 ≤ 1	OK	
<i>Compressão - (6.2.4)</i>			
$N_{Ed}/N_{c,Rd} =$	0.00 ≤ 1	OK	
<i>Momento Fletor - (6.2.5)</i>			
$M_{y,Ed}/M_{c,y,Rd} =$	0.11 ≤ 1	OK	
$M_{z,Ed}/M_{c,z,Rd} =$	0.07 ≤ 1	OK	
<i>Esforço Transverso Plástico - (6.2.6)</i>		<i>Esforço Transverso Elástico - (6.2.6)</i>	
$V_{y,Ed}/N_{c,y,Rd} =$	0.00 ≤ 1	OK	$y - (T_{Ed} * 3^{0,5} * \gamma_{M0})/f_y$ 0.00 ≤ 1 OK
$V_{z,Ed}/N_{c,z,Rd} =$	0.03 ≤ 1	OK	$z - (T_{Ed} * 3^{0,5} * \gamma_{M0})/f_y$ 0.04 ≤ 1 OK
<i>Flexão com Esforço Transverso - (6.2.8)</i>			
$V_{z,Ed}/N_{c,z,Rd} =$	0.03 < 0,5	Verifica	VEd sem significado $M_{V,y,Rd} =$ N.A. kN.m
$M_{y,Ed}/M_{V,y,Rd} =$	0.11 ≤ 1	OK	
$V_{y,Ed}/N_{c,y,Rd} =$	0.00 < 0,5	Verifica	VEd sem significado $M_{V,z,Rd} =$ N.A. kN.m
$M_{z,Ed}/M_{V,z,Rd} =$	0.07 ≤ 1	OK	
<i>Flexão Composta - (6.2.9)</i>			
$N_{Ed}/N_{pl,Rd} =$	0.00 ≤ 0,25	Verifica	Redução de MRd N.A. $M_{N,y,Rd} =$ N.A. kN.m
$N_{Ed}/h_w * t_w * f_y =$	0.00 ≤ 0,5	Verifica	
$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} =$	0.11 ≤ 1	OK	
$N_{Ed}/h_w * t_w * f_y =$	0.00 ≤ 1	Verifica	Redução de MRd N.A. $M_{N,z,Rd} =$ N.A. kN.m
$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} =$	0.07 ≤ 1	OK	
<i>Flexão Composta Desviada - (6.2.9)</i>			
$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta$	0.08 ≤ 1	OK	
Resistência à Encurvadura por Compressão			
$\lambda_{y} =$	22.94 ≤ $\lambda_{,max} = 210$		$\lambda_{z} =$ 66.67 ≤ $\lambda_{,max} = 210$
$\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} =$	0.17 ≤ 1	OK	(6.3.3)
CONCLUSÃO: A barra cumpre todos os critérios de segurança!			

Figura 6-35 – Relatório da Barra 549) – 2/2

Comparação de Resultados

Tabela 6-27 – Secção Transversal – Barra 549

Estado Limite Último	Tabela de Cálculo	“Robot”	Desvio
Esforço Transverso	y-y	0,01	0,00
	z-z	0,03	0,03
Flexão	y-y	0,11	-
	z-z	0,07	-
Flexão Desviada		0,17	0,00

A verificação aos estados limites de serviço conduziu aos seguintes valores:

$$\delta_{adm} = \frac{L}{250} = \frac{1,06}{250} = 0,0042 \text{ m} = 0,42 \text{ cm}$$

Tabela 6-28 – Rácios

Barra nº	Combinação condicionante	δ_v (cm)	δ_{adm} (cm)	Rácio
549	ELS.Pass(T+) Wxyp	0,02	0,42	0,05

◆ Conclusão

O perfil UNP 120 satisfaz as verificações regulamentares.

6.2.3.2 Travessas - Painel Horizontal Inferior

As travessas deste grupo foram verificadas segundo os critérios impostos pelo EC3 para as barras comprimidos e os resultados constam da Tabela 8 - 30.

Tabela 6-29 – Verificação das Travessas

Member	Section	Material	Lav	Laz	Ratio	Case
82 C-Diagonais	OK HEB 100	S235	25.27	41.43	0.01	77 ELU Sismo1y--
84 C-Diagonais	OK HEB 100	S235	25.27	41.43	0.01	31 ELU.Pass(T-) Wyy
86 C-Diagonais	OK HEB 100	S235	25.27	41.43	0.01	53 ELU.Wy (T-)
88 C-Diagonais	OK HEB 100	S235	25.27	41.43	0.02	31 ELU.Pass(T-) Wyy
90 C-Diagonais	OK HEB 100	S235	25.27	41.43	0.01	53 ELU.Wy (T-)
92 C-Diagonais	OK HEB 100	S235	25.27	41.43	0.02	31 ELU.Pass(T-) Wyy
818 C-Diagonais	OK HEB 100	S235	25.27	41.43	0.01	53 ELU.Wy (T-)

6.2.4 Quadros Rígidos

Os quadros rígidos são formados por perfis HEB 100 e foram calculados como colunas-viga, tendo-se considerado como premissa de partida esbeltezas inferiores a 180 para todas as barras que os constituem.

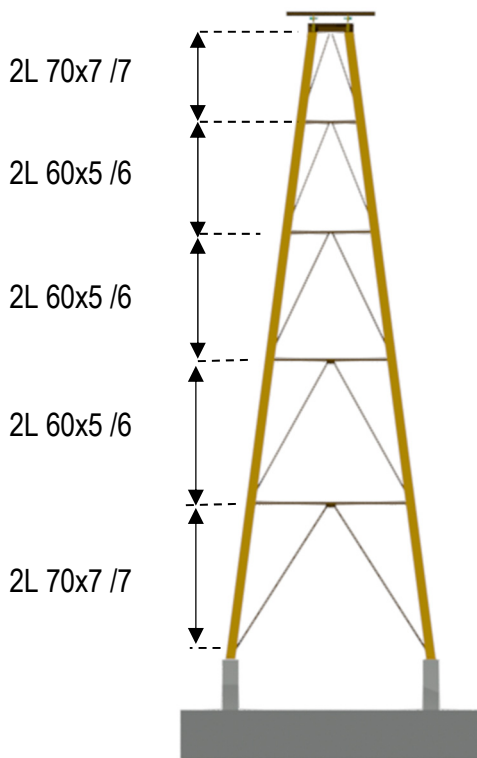
No ANEXO XIII estão indicados os resultados do dimensionamento destas barras.

6.2.5 Pilar

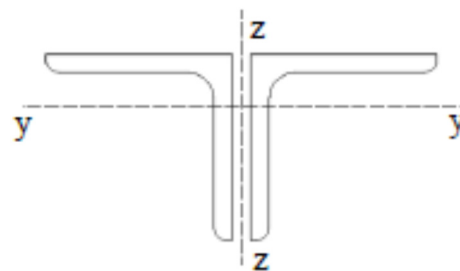
6.2.5.1 Diagonais

As diagonais do pilar são constituídas por cantoneiras duplas e estão sujeitas a esforços axiais.

Os comprimentos críticos destas barras nos dois planos principais são iguais ao comprimento real das mesmas. Considerou-se no dimensionamento destas barras esbeltezas inferiores a 210.



Consideraram-se para as diferentes barras interiores as secções indicadas na figura.



Secção Tipo de uma Cantoneira Dupla.

Figura 6-36 – Barras Interiores

As cantoneiras adotadas nas diagonais do pilar são classificadas segundo o EC3 como “Elementos compostos com cordas pouco afastadas”. Para estes elementos funcionarem em conjunto o EC3 impõe que os mesmos sejam ligados por meio de presilhas (barras) com afastamentos máximos de $15 i_{min}$.

Tabela 6-30 – Afastamentos Máximos das Presilhas

Secção	Raio de giração mínimo i_{min} (cm)	Afastamento máximo (cm)
2L 60x6 /5	1,80	27,00
2L 70x7 /7	2,10	31,50

O dimensionamento foi realizado com base nos dois procedimentos seguintes.

→ Procedimento 1 – “Robot”

Para as cantoneiras com os perfis indicados verifica-se que todas as barras têm rácios inferiores à unidade.

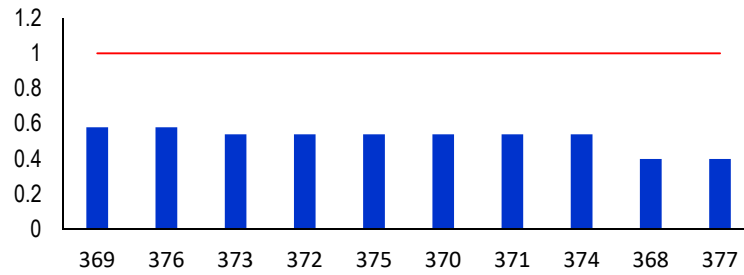


Figura 6-37 – Rácios – Diagonais 2L 60x6 /6 e 2L 70x7 /7

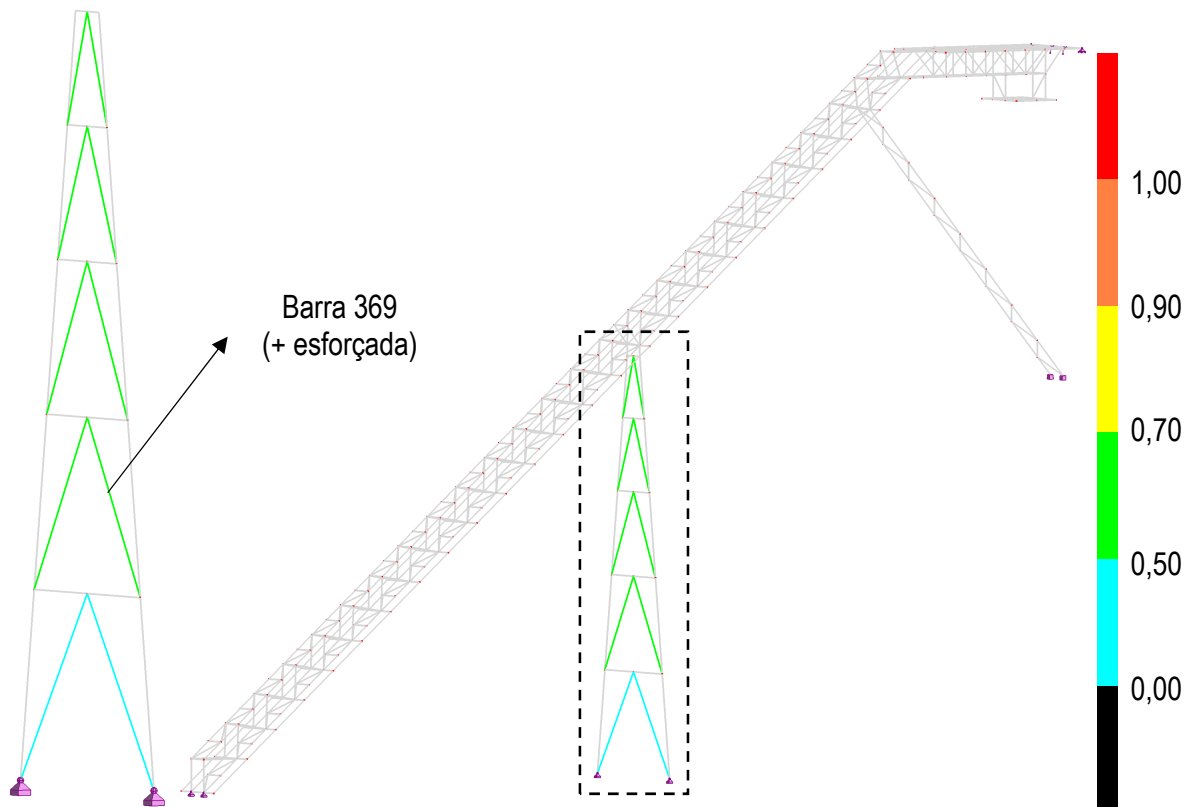


Figura 6-38 – Rácios – Diagonais

STEEL DESIGN

CODE: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 369 C - Diagonais Pilar_369 **POINT:** 1 **COORDINATE:** x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 55 ELU.Wyy (T-) (1+2)*1.35+4*1.20+3*0.30+9*1.50+5*0.90

MATERIAL:

S 235 (S 235) $f_y = 235.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: DCED 60x5

h=6.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=12.5 cm	Ay=7.50 cm ²	Az=7.20 cm ²	Ax=13.82 cm ²
tw=0.6 cm	Iy=45.60 cm ⁴	Iz=97.60 cm ⁴	Ix=1.79 cm ⁴
tf=0.6 cm	Wely=10.60 cm ³	Welz=15.62 cm ³	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 20.15 kN

Nc,Rd = 324.71 kN

Nb,Rd = 34.80 kN

Class of section = 2



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

Ly = 4.92 m Lam_y = 2.88
 Lcr,y = 4.92 m Xy = 0.11
 Lamy = 270.70



About z axis:

Lz = 4.92 m Lam_z = 1.97
 Lcr,z = 4.92 m Xz = 0.22
 Lamz = 185.03

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.06 < 1.00$ (6.2.4.(1))

Global stability check of member:

$\lambda_{y} = 270.70 > \lambda_{max} = 210.00$ $\lambda_{z} = 185.03 < \lambda_{max} = 210.00$ **INSTABLE**

$N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.58 < 1.00$ (6.3.1.1.(1))

Instability !!!

Figura 6-39 – Verificação da Diagonal mais solicitada

Embora a esbelteza seja superior a 210 a diagonal verifica a segurança.

→ Procedimento 2 – Tabela de Cálculo

RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO

Grupo: Diagonais Pilar	Combinação: - ELU.Wyy (T-)	$\gamma_{M0} = 1.00$
Barra: 369	Perfil: DCED 60 x 5	$\gamma_{M1} = 1.00$
L= 4.92 m	Material: S 235 $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$	$\gamma_{M2} = 1.25$

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ELÁSTICAS DA SECÇÃO



$h =$ 60 mm	$A =$ 13.82 cm ²	$A_{wv} =$ 7.20 cm ²
$b =$ 125 mm	$I_y =$ 45.58 cm ⁴	$I_z =$ 97.45 cm ⁴
$t_w =$ 6 mm	$i_y =$ 1.80 cm	$i_z =$ 2.70 cm
$t_f =$ 6 mm	$W_{el,y} =$ 10.57 cm ³	$W_{el,z} =$ 15.59 cm ³
	$W_{pl,y} =$ 10.57 cm ³	$W_{pl,z} =$ 15.59 cm ³
Classe à Flexão 2	Classe à Compressão 2	Classe adoptada 2

ESFORÇOS DE CÁLCULO E RESISTENTES

$N_{T,Ed} =$ 0.00 kN	$N_{T,Rd} =$ - kN	$N_{b,y,Rd} =$ 34.17 kN
$N_{C,Ed} =$ 20.15 kN	$N_{C,Rd} =$ 324.77 kN	$N_{b,z,Rd} =$ 71.76 kN

PARAMETROS DE ENCURVADURA

Eixo y-y		Eixo z-z	
$L_y =$ 4.92 m	$\bar{\lambda}_{y,y} =$ 2.91	$L_z =$ 4.92 m	$\bar{\lambda}_{y,z} =$ 1.94
$L_{cr,y} =$ 4.92 m	$\chi_y =$ 0.11	$L_{cr,z} =$ 4.92 m	$\chi_z =$ 0.22
$\lambda_{y,y} =$ 273.33		$\lambda_{y,z} =$ 182.22	

VERIFICAÇÕES

[NP EN 1993-1-1]

Resistência da Secção

Tração

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = - \leq 1 \quad (6.2.3)$$

Compressão

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.06 \leq 1 \quad \text{OK} \quad (6.2.4)$$

Resistência à Encurvadura por Compressão

$$\lambda_{y,y} = 273.33 \leq \lambda_{y,max} = 210 \quad \lambda_{y,z} = 182.22 \leq \lambda_{y,max} = 210$$

$$N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.59 \leq 1 \quad \text{OK} \quad (6.3.1.1)$$

CONCLUSÃO: A barra cumpre todos os critérios de segurança!

◆ Comparação de resultados

Os resultados obtidos nos dois procedimentos conduzem a valores da mesma ordem de grandeza.

6.2.5.2 Travessas

As barras pertencentes a este grupo estão sujeitas fundamentalmente a esforços axiais tendo-se imposto esbeltezas inferiores a 210.

Consideraram-se para comprimentos de encurvadura no plano de menor inércia metade do comprimento da barra e no outro plano o comprimento total da barra.

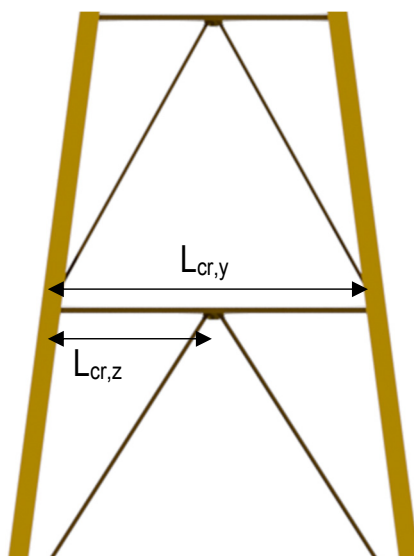


Figura 6-40 – Comprimentos de Encurvadura

Escolheram-se perfis UNP 100 para estas barras e o dimensionamento foi também realizado com recurso ao “Robot” e à Tabela de Cálculo.

→ Procedimento 1 – “Robot”

Verifica-se que todas as barras têm rácios bastante inferiores à unidade mas não se escolheram perfis mais aligeirados por razões de esbelteza.

Tabela 6-31 – Rácios das Travessas

Member	Section	Material	Lav	Laz	Ratio	Case
362 C-Travessas	OK UPN 100	S235	26.81	35.56	0.16	53 ELU.Wy (T-)
364 C-Travessas	OK UPN 100	S235	45.54	60.42	0.06	55 ELU.Wyy (T-)
365 C-Travessas	OK UPN 100	S235	67.62	89.72	0.07	52 ELU.Wy (T+)
366 C-Travessas	OK UPN 100	S235	93.05	123.45	0.10	55 ELU.Wyy (T-)
367 C-Travessas	OK UPN 100	S235	121.83	161.63	0.17	52 ELU.Wy (T+)

→ Procedimento 2 – Tabela de Cálculo

Junta-se na tabela seguinte os resultados dos cálculos realizados.

Barra	N _{c,Ed} (kN)	Eixo y-y				Eixo z-z				de Encurvadur vaulur	Rácio N _{c,Ed} /N _{b,Rd} ≤ 1
		L _{cr,y} (m)	λ _y	χ _y	N _{b,y,Rd} (kN)	L _{cr,z} (m)	λ _z	χ _z	N _{b,z,Rd} (kN)		
362	44,88	1,05	27	0,96	303,4	0,53	35,71	0,91	287,96	z - z	0.16
364	14,28	1,78	46	0,85	270,1	0,89	60,54	0,76	240,65	z - z	0.06
365	12,41	2,65	68	0,71	225,6	1,33	90,14	0,56	178,78	z - z	0.07
366	12,01	3,65	93	0,54	172,4	1,83	124,15	0,38	120,43	z - z	0.10
367	13,49	4,77	122	0,39	123,5	2,39	162,24	0,25	79,61	z - z	0.17

◆ **Comparação de Resultados**

Tambem nestas barras os rácios de dimensionamento realizados nos dois procedimentos conduziram a valores indênticos.

6.2.5.3 Cordões

As barras dos cordões do pilar são perfis HEB 300 sujeitos à flexão composta com compressão/tração e as combinações condicionantes mostram que estas barras devem ser dimensionadas como colunas-viga. Os cálculos foram feitos no “Robot”, no “A3C” e na Tabela de Cálculo.

Na Figura 6-41 indicam-se os comprimentos de encurvadura considerados para estas barras.

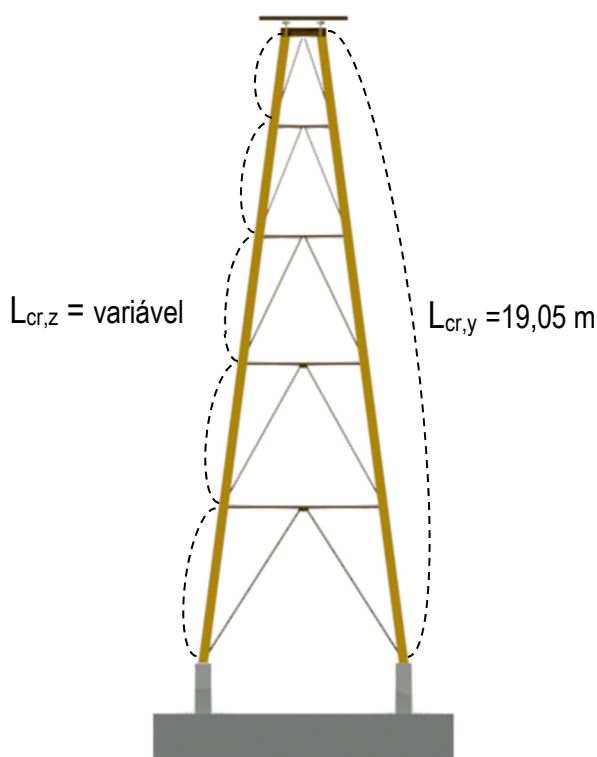


Figura 6-41 – Comprimentos de Encurvadura

→ Procedimento 1 – “Robot”

Os rácios de dimensionamento obtidos nestas barras são os indicados na figura seguinte:

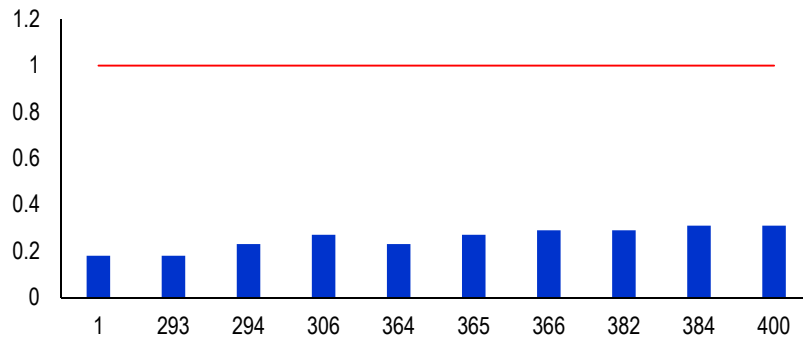


Figura 6-42 – Rácios – Cordões HEB 300

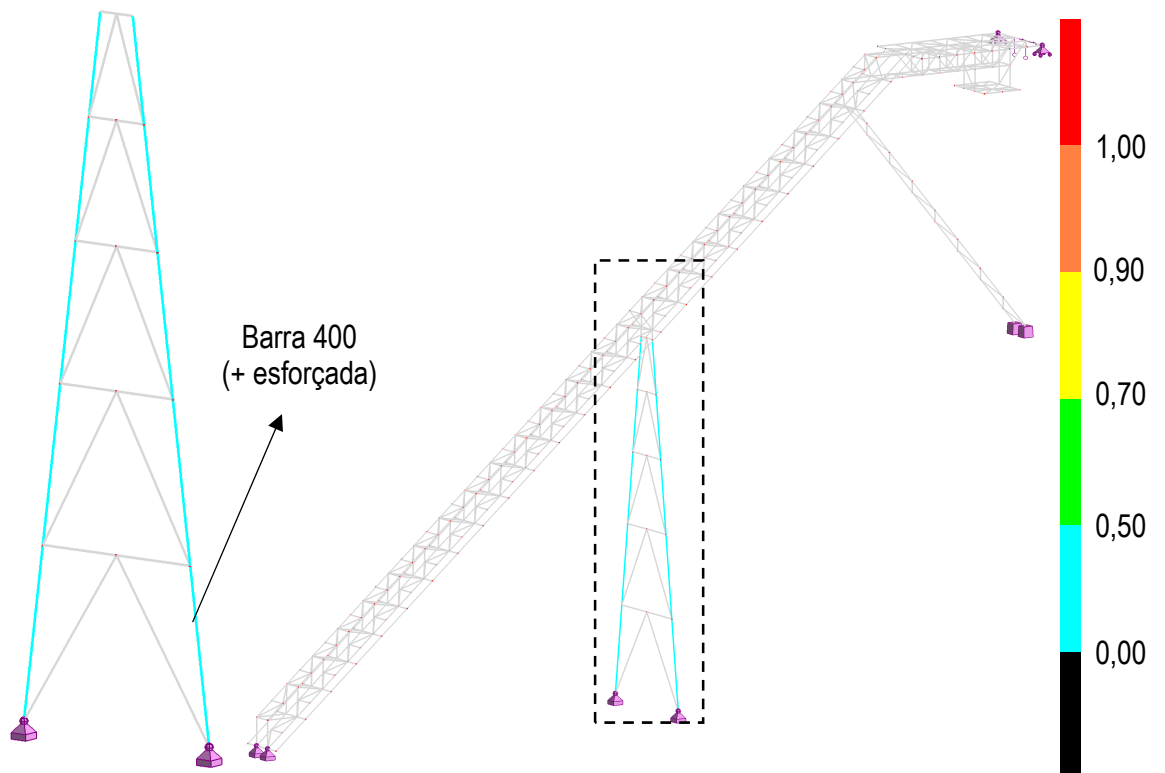


Figura 6-43 – Rácios das Barras

STEEL DESIGN

CODE: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Member Verification

MEMBER: 400 CV - Pilar_400 **POINT:** 3 **COORDINATE:** x = 1.00 L = 4.72 m

LOADS:

Governing Load Case: 55 ELU.Wyy (T-) (1+2)*1.35+4*1.20+3*0.30+9*1.50+5*0.90

MATERIAL: S 235 (S 235) fy = 235.00 MPa



SECTION PARAMETERS: HEB 300

h=30.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=30.0 cm	Ay=126.20 cm ²	Az=47.43 cm ²	Ax=149.08 cm ²
tw=1.1 cm	Iy=25165.70 cm ⁴	Iz=8562.83 cm ⁴	Ix=186.00 cm ⁴
tf=1.9 cm	Wply=1868.80 cm ³	Wplz=870.16 cm ³	Class of section = 1

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 344.87 kN	My,Ed = 0.00 kN*m		Vy,Ed = -0.68 kN
Nc,Rd = 3503.33 kN	My,Ed,max = 0.06 kN*m	Mz,Ed,max = -1.13 kN*m	Vy,T,Rd = 1711.94 kN
Nb,Rd = 1123.31 kN	My,c,Rd = 439.17 kN*m	Mz,c,Rd = 204.49 kN*m	Vz,Ed = -0.01 kN
	MN,y,Rd = 439.17 kN*m		Vz,T,Rd = 643.43 kN
	Mb,Rd = 392.25 kN*m		Tt,Ed = 0.01 kN*m



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

z = 1.00	Mcr = 1254.91 kN*m	Curve,LT - a	XLT = 0.89
Lcr,upp=4.72 m	Lam_LT = 0.59	fi,LT = 0.72	

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

Ly = 4.72 m	Lam_y = 1.56
Lcr,y = 19.05 m	Xy = 0.32
Lamy = 146.62	ky = 0.77



About z axis:

Lz = 4.72 m	Lam_z = 0.66
Lcr,z = 4.72 m	Xz = 0.75
Lamz = 62.34	kzy = 0.98

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.10 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.5.(1))$$

$$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(2))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{t,y,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}) \cdot gM0) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{t,z,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}) \cdot gM0) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

Global stability check of member:

$$\lambda_{y} = 146.62 < \lambda_{y,max} = 180.00 \quad \lambda_{z} = 62.34 < \lambda_{z,max} = 180.00 \quad \text{STABLE}$$

$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.31 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.14 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

Section OK !!!

Figura 6-44 – Verificação do Cordão mais solicitado

→ Procedimento 2 – “A3C”

A3C v 2.50			ctim
I - PARAMETERS			
I.1 - General parameters			
Element type :	Steel element		
Span length of the member :	L = 4.72 m		
Buckling length :	$L_{cr,y} = 19.05$ m		
Orientation :	Horizontal		
Supports :	Simply supported		
Bending axis :	Bi-axial		
II - INTERNAL FORCES UNDER ULS COMBINATIONS			
- ULS01 (Auto) = G			
Normal force :	$N_{Ed} = 344$ kN		
Maximum shear force :	$ V_{z,Ed} _{max} = 0.249$ kN (x = 0 m)		
	$ V_{y,Ed} _{max} = 0.861$ kN (x = 0 m)		
Maximum bending moment :	$ M_{y,Ed} _{max} = 0.309$ kNm (x = 2.4544 m)		
	$ M_{z,Ed} _{max} = 1.158$ kNm (x = 2.7376 m)		
IV - ULTIMATE LIMIT STATES (ULS)			
IV.1 - ULS Verifications			
- COMBINATION: ULS01 (Auto) = G			
- Resistance of cross-sections			
Section class :	1		
Resistance of the cross-section to axial force :	$\Gamma_{N,max} = 0.098 < 1 \Rightarrow Satisfied$		
Resistance of the cross-section to shear force			
at x = 0 m :	$\Gamma_{Vz,max} = 0 < 1 \Rightarrow Satisfied$		
at x = 0 m :	$\Gamma_{Vy,max} = 0 < 1 \Rightarrow Satisfied$		
Resistance of the cross-section to bending moment			
at x = 2.4544 m :	$\Gamma_{My,max} = 0 < 1 \Rightarrow Satisfied$		
at x = 2.7376 m :	$\Gamma_{Mz,max} = 0.006 < 1 \Rightarrow Satisfied$		
Resistance of the cross-section to combined actions M-N			
at x = 2.4544 m :	$\Gamma_{MyN,max} = 0 < 1 \Rightarrow Satisfied$		
at x = 2.7376 m :	$\Gamma_{MzN,max} = 0.006 < 1 \Rightarrow Satisfied$		
at x = 2.7376 m :	$\Gamma_{MyMzN,max} = 0.006 < 1 \Rightarrow Satisfied$		
Resistance of the cross-section to combined actions M-V			
at x = 2.4544 m :	$\Gamma_{MyVz,max} = 0 < 1 \Rightarrow Satisfied$		
at x = 2.7376 m :	$\Gamma_{MzVy,max} = 0.006 < 1 \Rightarrow Satisfied$		
Resistance of the cross-section to combined actions M-N-V			
at x = 2.4544 m :	$\Gamma_{MyNVz,max} = 0 < 1 \Rightarrow Satisfied$		
at x = 2.7376 m :	$\Gamma_{MzNVy,max} = 0.006 < 1 \Rightarrow Satisfied$		
at x = 2.7376 m :	$\Gamma_{MyMzNV,max} = 0.006 < 1 \Rightarrow Satisfied$		


Figura 6-45 – Verificação da Barra 400 – 1/2

- Web resistance	
No verification required because: $h_w / t_w < 72\varepsilon / \eta$ ($\eta = 1.2$)	
- Member resistance - Flexural buckling about the major axis	
Axial force:	$N_{Ed} = 344$ kN
Buckling curve about the major axis:	b
Imperfection factor	$\alpha_y = 0.34$
Buckling length:	$L_{cr,y} = 19.05$ m
Elastic flexural buckling force about the y-y axis:	$N_{cr,y} = 1437.268$ kN
Non-dimensional slenderness:	$\lambda_y = 1.561 > 0.2$
Reduction factor:	$\chi_y = 0.321$
Buckling resistance:	$N_{by,Rd} = 1123.31$ kN
Criterion:	$\Gamma_{by} = 0.306 < 1 \Rightarrow Satisfied$
- Member resistance - Flexural buckling about the minor axis	
Axial force:	$N_{Ed} = 344$ kN
Buckling curve about the minor axis:	c
Imperfection factor	$\alpha_z = 0.49$
Buckling length:	$L_{cr,z} = 4.72$ m
Elastic flexural buckling force about the z-z axis:	$N_{cr,z} = 7966.224$ kN
Non-dimensional slenderness:	$\lambda_z = 0.663 > 0.2$
Reduction factor:	$\chi_z = 0.747$
Buckling resistance:	$N_{bz,Rd} = 2618.231$ kN
Criterion:	$\Gamma_{bz} = 0.131 < 1 \Rightarrow Satisfied$
- Member resistance - Lateral torsional buckling	
LTB is calculated by using:	EN 1993-1-1 § 6.3.2.3
LT buckling curve:	b
Imperfection factor	$\alpha_{LT} = 0.34$
Factor	$\beta = 0.75$
Limit relative slenderness:	$\lambda_{LT,0} = 0.4$
Buckling length:	$L_{cr,z} = 4.72$ m
Factors C_1	$C_1 = 1.121$
	$C_2 = 0.402$
Elastic critical moment for lateral-torsional buckling calculated by using the usual formula of M_{cr}	$M_{cr} = 1295.969$ kNm
Non-dimensional slenderness	$\lambda_{LT} = 0.582 > \lambda_{LT,0}$
Reduction factor	$\chi_{LT} = 0.925$
LTB resistance	$M_{b,Rd} = 406.253$ kNm
Criterion	$\Gamma_{LT} = 0 < 1 \Rightarrow Satisfied$
- Member resistance - M-N buckling interaction	
Element resistance to combined actions M-N is calculated by using:	
EN 1993-1-1 Annexe B	
Equivalent uniform moment factors:	
	$C_{my} = 0.9$
	$C_{mz} = 0.972$
	$C_{mLT} = 0.96$
Interaction factors k_{ij} :	
	$k_{yy} = 1.12$
	$k_{zy} = 0.988$
	$k_{yz} = 0.639$
	$k_{zz} = 1.065$
Criterion 6.61 :	$\Gamma_{bMN1} = 0.311 < 1 \Rightarrow Satisfied$
Criterion 6.62 :	$\Gamma_{bMN2} = 0.138 < 1 \Rightarrow Satisfied$

6. Dimensionamento

Figura 6-46 – Verificação da Barra 400 – 2/2

→ Procedimento 3 – Tabela de Cálculo

RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO						
Grupo: Cordões Escora	Combinação: - ELS.Pass(T+) Wxyp			$\gamma_{M0} = 1.00$		
Barra: 400	Perfil: HE 300 B	Secção: sf	Final	$\gamma_{M1} = 1.00$		
L= 4.72 m	Material: S 235	f_y= 235 N/mm ²	$\gamma_{M2} = 1.25$			
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ELÁSTICAS DA SECÇÃO						
h= 300 mm	A= 149.10 cm ²	A _{vz} = 47.43 cm ²				
b= 300 mm	I _y = 25170.00 cm ⁴	I _z = 8563.00 cm ⁴				
t _w = 11 mm	i _y = 12.99 cm	i _z = 7.58 cm				
t _f = 19 mm	W _{el,y} = 1678.00 cm ³	W _{el,z} = 570.90 cm ³				
	W _{pl,y} = 1869.00 cm ³	W _{pl,z} = 870.10 cm ³				
Classe à Flexão 1	Classe à Compressão 1	Classe adoptada 1				
ESFORÇOS DE CÁLCULO						
N _{r,Ed} = 0.00 kN	V _{y,Ed} = -0.68 kN	M _{y,Ed} = 0.00 kN.m				
N _{c,Ed} = 344.87 kN	V _{z,Ed} = -0.01 kN	M _{z,Ed} = 0.00 kN.m				
PARAMETROS DE ENCURVADURA						
Eixo y-y			Eixo z-z			
L _y = 4.72 m	$\bar{\lambda}_{y}$ = 1.56	L _z = 4.72 m	$\bar{\lambda}_{z}$ = 0.66			
L _{cr,y} = 19.05 m	χ_{y} = 0.32	L _{cr,z} = 4.72 m	χ_{z} = 0.75			
λ_{y} = 146.65	k _{yy} = 1.12	λ_{z} = 62.27	k _{zz} = 1.08			
	k _{yz} = 0.65		k _{zy} = 0.99			
PARAMETROS DE ENCURVADURA LATERAL						
	z _g = B. Sup					
L _{cr} = 4.72 m	α_{LT} = 0.210	Φ_{LT} = 0.716				
M _{cr} = 1253.67 kN.m	$\bar{\lambda}_{LT}$ = 0.592	χ_{LT} = 0.893				
C1= 1.132	C2= 0.459	C3= 0.525				
ESFORÇOS RESISTENTES						
N _{c,Rd} = 3503.85 kN	M _{c,y,Rd} = 439.22 kN.m	M _{c,z,Rd} = 204.47 kN.m				
N _{b,y,Rd} = 1122.84 kN	M _{N,y,Rd} = 439.22 kN.m	M _{N,z,Rd} = 204.47 kN.m				
N _{b,z,Rd} = 2618.64 kN	M _{b,Rd} = 392.24 kN.m					
	V _{c,y,Rd} = 1379.43 kN					
	V _{c,z,Rd} = 643.52 kN					

página 1/3

Figura 6-47 – Relatório da Barra 400 – 1/3

VERIFICAÇÕES

[NP EN 1993-1-1]

Resistência da Secção

Tração - (6.2.3)

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = \text{0.00} \leq 1$$

Compressão - (6.2.4)

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = \text{0.10} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Momento Fletor - (6.2.5)

$$M_{y,Ed}/M_{c,y,Rd} = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$M_{z,Ed}/M_{c,z,Rd} = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Esforço Transverso Plástico - (6.2.6)

$$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Esforço Transverso Elástico - (6.2.6)

$$y - (T_{Ed} * 3^{0.5} * \gamma_{M0})/f_y = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$z - (T_{Ed} * 3^{0.5} * \gamma_{M0})/f_y = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Flexão com Esforço Transverso - (6.2.8)

$$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} = \text{0.00} < 0,5 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{y,Ed}/M_{V,y,Rd} = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

VEd sem significado $M_{V,y,Rd} = \text{N.A. kN.m}$

$$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} = \text{0.00} < 0,5 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{z,Ed}/M_{V,z,Rd} = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

VEd sem significado $M_{V,z,Rd} = \text{N.A. kN.m}$

Flexão Composta - (6.2.9)

$$N_{Ed}/N_{pl,Rd} = \text{0.10} \leq 0,25 \quad \text{Verifica}$$

$$N_{Ed}/h_w \cdot t_w \cdot f_y = \text{0.51} \leq 0,5 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Calcular MRd Reduzido $M_{N,y,Rd} = \text{439.22 kN.m}$

$$N_{Ed}/h_w \cdot t_w \cdot f_y = \text{0.50} \leq 1 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Redução de MRd N.A. $M_{N,z,Rd} = \text{N.A. kN.m}$

Flexão Composta Desviada - (6.2.9)

$$\alpha = 2.00 \quad \beta = 1.00 \quad \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Figura 6-48 – Relatório da Barra 400 – 2/3

Resistência da Barra

Resistência à Encurvadura - (6.3.2.1)

$$M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd} = 0.00 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Fatores de Interação

$$\begin{aligned} k_{yy} &= 1.116 \\ k_{yz} &= 0.651 \\ k_{zy} &= 0.987 \\ k_{zz} &= 1.084 \end{aligned}$$

Coeficientes de Momento Mniforme Equivalente

$$\begin{aligned} C_{my} &= 0.90 \\ C_{mz} &= 0.99 \\ C_{mLT} &= 0.90 \end{aligned}$$

$$\lambda_{y,z} = 146.65 \leq \lambda_{,max} = 180$$

$$\lambda_{y,z} = 62.27 \leq \lambda_{,max} = 180$$

Resistência à Encurvadura por Flexão Composta com Compressão "Coluna-Viga" (6.3.3) - Anexo B

$$\begin{aligned} N_{ed}/N_{y,Rd} &= 0.31 \\ + \\ k_{yy}[M_{y,Ed}/M_{b,Rd}] &= 0.00 \\ + \\ k_{yz}[M_{z,Ed}/M_{z,Rd}] &= 0.00 \\ = \\ (6.61) \quad 0.31 &\leq 1 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{ed}/N_{z,Rd} &= 0.13 \\ + \\ k_{zy}[M_{y,Ed}/M_{b,Rd}] &= 0.00 \\ + \\ k_{zz}[M_{z,Ed}/M_{z,Rd}] &= 0.01 \\ = \\ (6.62) \quad 0.14 &\leq 1 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

CONCLUSÃO: A barra cumpre todos os critérios de segurança!

página 3/3

Figura 6-49 – Relatório da Barra 400 – 3/3

Comparação de Resultados

Tabela 6-32 – Secção Transversal – Barra 400

Estado Limite Último		"Robot"	"A3C"	Tabela de Cálculo	Desvio
Compressão		0,10	0,10	0,10	0,00
Esforço Transverso	y-y	0,00	-	0,00	0,00
	z-z	0,00	-	0,00	0,00
Flexão	y-y	0,00	0,01	0,00	0,01
	z-z	0,00	0,01	0,00	0,01
Flexão Desviada		0,00	0,01	0,00	0,01

Tabela 6-33 – Encurvadura por Compressão – Barra 400

Parâmetros	“Robot”	“A3C”	Tabela de Cálculo	Desvio
$\bar{\lambda}_y$	1,56	1,56	1,56	0,00
$\bar{\lambda}_z$	0,66	0,66	0,66	0,00
χ_y	0,32	0,32	0,32	0,00
χ_z	0,75	0,75	0,75	0,00
$N_{c,Ed}/N_{b,y,Rd}$	0,31	0,31	0,31	0,00

Tabela 6-34 – Encurvadura Lateral – Barra 400

Parâmetros	“Robot”	“A3C”	Tabela de Cálculo	Desvio
M_{cr} (kN.m)	1254,91	1295,97	1253,67	42,30
$\bar{\lambda}_{LT}$	0,59	0,58	0,59	0,01
χ_{LT}	0,89	0,93	0,89	0,04
$M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd}$	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 6-35 - Encurvadura por Flexão Composta com Compressão – Barra 400

Parâmetros	“Robot”	“A3C”	Tabela de Cálculo	Desvio
K_{yy}	0,77	1,12	1,06	0,35
K_{yz}	1,00	0,64	1,05	0,41
K_{zy}	0,98	0,99	0,99	0,01
K_{zz}	1,00	1,07	1,05	0,07
Eq. 6.61	0,31	0,31	0,31	0,00
Eq 6.62	0,14	0,14	0,14	0,00

A verificação da flecha máxima no topo do pilar conduziu aos seguintes valores:

$$\delta_{adm,y} = \frac{H}{300} = \frac{19,05}{300} = 0,064 \text{ m} = 6,4 \text{ cm}$$

Tabela 6-36 – Verificação

	Combinação Condicionante	δ_H (cm)	δ_{adm} (cm)	Rácio
Pilar	Eixo y-y ELS.Temp+ Wzz	1,3	6,4	0,20
	Eixo z-z ELS.Wy(T+)	0,6	6,4	0,09

das Flechas

◆ Conclusão

Verifica-se pois que o perfil HEB 300 cumpre todas as condições regulamentares de segurança.

6.2.6 Escora

A escora é uma viga treliçada plana composta por um conjunto de diagonais interiores em L50x5 sendo os cordões HEB 200.

6.2.6.1 Diagonais

Este grupo de barras foi dimensionado de acordo com os critérios das diagonais dos grupos anteriores e os resultados estão indicados no ANEXO XII.

O dimensionamento resultou no perfil L50x5.

6.2.6.2 Cordões

Estas barras foram calculadas como colunas-viga no “Robot”, no “A3C” e na Tabela de Cálculo.

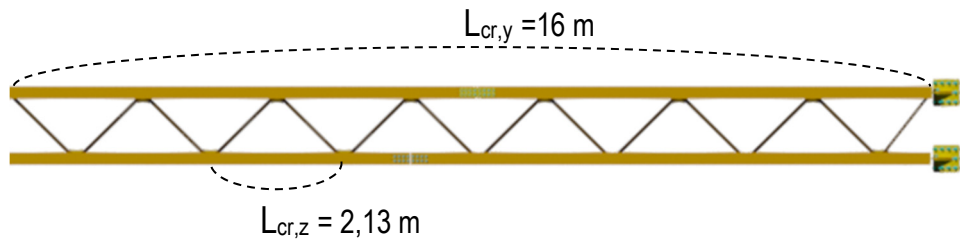


Figura 6-50 – Comprimentos de Encurvadura

→ Procedimento 1 – “Robot”

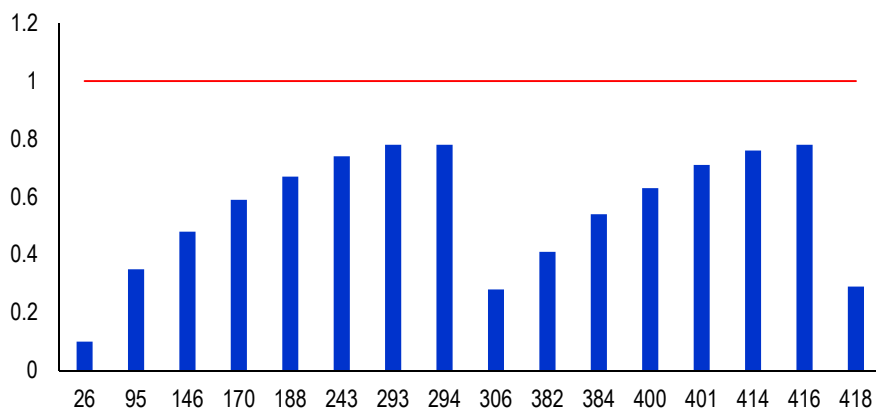


Figura 6-51 – Rácios – Cordões HEB 200

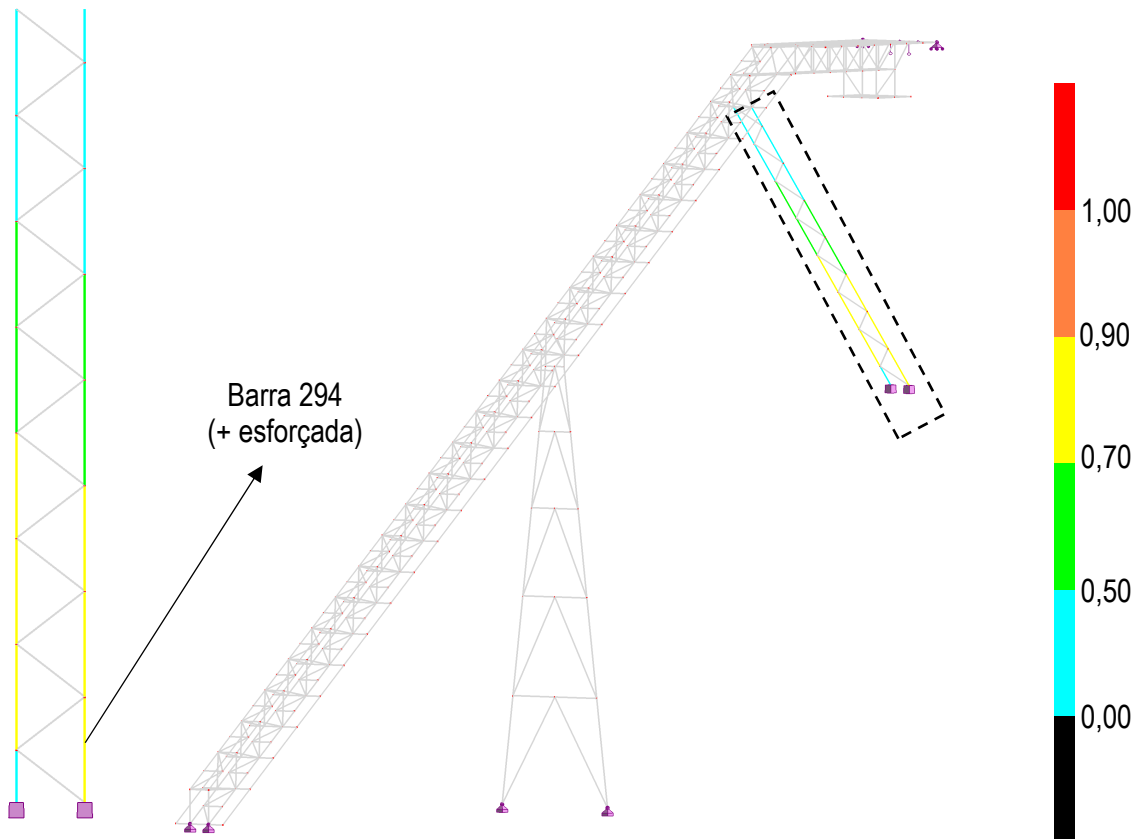


Figura 6-52 – Rádios das Barras



Figura 6-53 – Localização do Cordão mais solicitado

STEEL DESIGN

CODE: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Member Verification

MEMBER: 294

POINT: 2

COORDINATE: $x = 0.50 L = 1.07 \text{ m}$

LOADS:

Governing Load Case: 77 ELU.Sismo1y-- (1+2)*1.00+4*0.80+18*-1.00

MATERIAL:

S 235 (S 235) $f_y = 235.00 \text{ MPa}$



SECTION PARAMETERS: HEB 200

$h=20.0 \text{ cm}$	$gM0=1.00$	$gM1=1.00$	
$b=20.0 \text{ cm}$	$A_y=66.02 \text{ cm}^2$	$A_z=24.83 \text{ cm}^2$	$A_x=78.08 \text{ cm}^2$
$tw=0.9 \text{ cm}$	$I_y=5696.18 \text{ cm}^4$	$I_z=2003.37 \text{ cm}^4$	$I_x=61.40 \text{ cm}^4$
$tf=1.5 \text{ cm}$	$W_{ply}=642.58 \text{ cm}^3$	$W_{plz}=305.82 \text{ cm}^3$	Class of section = 1

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

$N_{,Ed} = 270.91 \text{ kN}$	$M_{y,Ed} = 3.65 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,Ed} = 0.63 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{y,Ed} = 0.59 \text{ kN}$
$N_{c,Rd} = 1834.91 \text{ kN}$	$M_{y,Ed,max} = 6.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,Ed,max} = 1.26 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{y,T,Rd} = 895.42 \text{ kN}$
$N_{b,Rd} = 385.42 \text{ kN}$	$M_{y,c,Rd} = 151.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,c,Rd} = 71.87 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{z,Ed} = -3.22 \text{ kN}$
	$MN_{,y,Rd} = 145.57 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$MN_{,z,Rd} = 71.87 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{z,T,Rd} = 336.83 \text{ kN}$
	$Mb,Rd = 148.56 \text{ kN}\cdot\text{m}$		$Tt,Ed = 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

$z = 1.00$	$M_{cr} = 2030.59 \text{ kN}\cdot\text{m}$	Curve,LT - a	$XLT = 0.98$
$L_{cr,upp} = 2.13 \text{ m}$	$\lambda_{m_LT} = 0.27$	$\phi_{i,LT} = 0.54$	

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

$L_y = 2.13 \text{ m}$	$\lambda_{m_y} = 2.00$
$L_{cr,y} = 16.02 \text{ m}$	$X_y = 0.21$
$L_{m_y} = 187.53$	$k_{yy} = 0.94$



About z axis:

$L_z = 2.13 \text{ m}$	$\lambda_{m_z} = 0.45$
$L_{cr,z} = 2.13 \text{ m}$	$X_z = 0.87$
$L_{m_z} = 42.09$	$k_{yz} = 0.38$

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$$N_{,Ed}/N_{c,Rd} = 0.15 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^2 + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^2 = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{y,Ed}/(f_y/(\sqrt{3})\cdot gM0) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{z,Ed}/(f_y/(\sqrt{3})\cdot gM0) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

Global stability check of member:

$$\lambda_{m,y} = 187.53 > \lambda_{m,max} = 180.00 \quad \lambda_{m,z} = 42.09 < \lambda_{m,max} = 180.00 \quad \text{INSTABLE}$$

$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.05 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{,Ed}/(X_y \cdot N_{,Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.75 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{,Ed}/(X_z \cdot N_{,Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.23 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

Instability !!!

Figura 6-54 – Verificação da Barra mais solicitada

→ Procedimento 2 – “A3C”


A3C v 2.50	
I - PARAMETERS	
<i>I.1 - General parameters</i>	
Element type :	Steel element
Span length of the member :	L = 2.13 m
Buckling length :	$L_{cr,y} = 16$ m
Orientation :	Horizontal
Supports :	Simply supported
Bending axis :	Bi-axial
II - INTERNAL FORCES UNDER ULS COMBINATIONS	
<i>- ULS01 (Auto) = G</i>	
Normal force :	$N_{Ed} = 271$ kN
Maximum shear force :	$ V_{z,Ed} _{max} = 3.861$ kN (x = 0 m)
	$ V_{y,Ed} _{max} = 0.592$ kN (x = 0 m)
Maximum bending moment :	$ M_{y,Ed} _{max} = 6.86$ kNm (x = 0 m)
	$ M_{z,Ed} _{max} = 1.26$ kNm (x = 0 m)
IV.1 - ULS Verifications	
<i>- COMBINATION: ULS01 (Auto) = G</i>	
<i>- Resistance of cross-sections</i>	
Section class :	1
Resistance of the cross-section to axial force :	$\Gamma_{N,max} = 0.148 < 1 \Rightarrow Satisfied$
Resistance of the cross-section to shear force	$\Gamma_{Vz,max} = 0.011 < 1 \Rightarrow Satisfied$
at x = 0 m :	$\Gamma_{Vy,max} = 0 < 1 \Rightarrow Satisfied$
Resistance of the cross-section to bending moment	$\Gamma_{My,max} = 0.045 < 1 \Rightarrow Satisfied$
at x = 0 m :	$\Gamma_{Mz,max} = 0.018 < 1 \Rightarrow Satisfied$
Resistance of the cross-section to combined actions M-N	$\Gamma_{MyN,max} = 0.048 < 1 \Rightarrow Satisfied$
at x = 0 m :	$\Gamma_{MzN,max} = 0.018 < 1 \Rightarrow Satisfied$
at x = 0 m :	$\Gamma_{MyMzN,max} = 0.02 < 1 \Rightarrow Satisfied$
Resistance of the cross-section to combined actions M-V	$\Gamma_{MyVz,max} = 0.045 < 1 \Rightarrow Satisfied$
at x = 0 m :	$\Gamma_{MzVy,max} = 0.018 < 1 \Rightarrow Satisfied$
Resistance of the cross-section to combined actions M-N-V	$\Gamma_{MyNVz,max} = 0.048 < 1 \Rightarrow Satisfied$
at x = 0 m :	$\Gamma_{MzNVy,max} = 0.018 < 1 \Rightarrow Satisfied$
at x = 0 m :	$\Gamma_{MyMzNV,max} = 0.02 < 1 \Rightarrow Satisfied$

Figura 6-55 – Verificação da Barra 294 – 1/2

6. Dimensionamento

<p>- Web resistance</p> <p>No verification required because: $h_w / t_w < 72\epsilon / \eta$ ($\eta = 1$)</p>	
<p>- Member resistance - Flexural buckling about the major axis</p>	
Axial force:	$N_{Ed} = 271 \text{ kN}$
Buckling curve about the major axis:	b
Imperfection factor	$\alpha_y = 0.34$
Buckling length:	$L_{cr,y} = 16 \text{ m}$
Elastic flexural buckling force about the y-y axis:	$N_{cr,y} = 461.172 \text{ kN}$
Non-dimensional slenderness:	$\lambda_y = 1.995 > 0.2$
Reduction factor:	$\chi_y = 0.21$
Buckling resistance:	$N_{by,Rd} = 386.163 \text{ kN}$
Criterion:	$\Gamma_{by} = 0.702 < 1 \Rightarrow \text{Satisfied}$
<p>- Member resistance - Flexural buckling about the minor axis</p>	
Axial force:	$N_{Ed} = 271 \text{ kN}$
Buckling curve about the minor axis:	c
Imperfection factor	$\alpha_z = 0.49$
Buckling length:	$L_{cr,z} = 2.13 \text{ m}$
Elastic flexural buckling force about the z-z axis:	$N_{cr,z} = 9152.101 \text{ kN}$
Non-dimensional slenderness:	$\lambda_z = 0.448 > 0.2$
Reduction factor:	$\chi_z = 0.872$
Buckling resistance:	$N_{bz,Rd} = 1599.585 \text{ kN}$
Criterion:	$\Gamma_{bz} = 0.169 < 1 \Rightarrow \text{Satisfied}$
<p>- Member resistance - Lateral torsional buckling</p>	
LTB is calculated by using:	EN 1993-1-1 § 6.3.2.2
LT buckling curve:	a
Imperfection factor	$\alpha_{LT} = 0.21$
Limit relative slenderness:	$\lambda_{LT,0} = 0.4$
No verification required	
Buckling length:	$L_{cr,z} = 2.13 \text{ m}$
Factors C_1	$C_1 = 1.904$
	$C_2 = 0.035$
Elastic critical moment for lateral-torsional buckling calculated by using the usual formula of M_{cr}	$M_{cr} = 2046.885 \text{ kNm}$
Non-dimensional slenderness	$\lambda_{LT} = 0.272 < \lambda_{LT,0} \Rightarrow \text{No verification required}$
<p>- Member resistance - M-N buckling interaction</p>	
Element resistance to combined actions M-N is calculated by using:	EN 1993-1-1 Annexe B
Equivalent uniform moment factors:	$C_{my} = 0.9$
	$C_{mz} = 0.6$
	$C_{mLT} = 0.56$
Interaction factors k_{ij} :	$k_{yy} = 1.405$
	$k_{zy} = 0.976$
	$k_{yz} = 0.378$
	$k_{zz} = 0.63$
Criterion 6.61:	$\Gamma_{bMN1} = 0.772 < 1 \Rightarrow \text{Satisfied}$
Criterion 6.62:	$\Gamma_{bMN2} = 0.225 < 1 \Rightarrow \text{Satisfied}$

Figura 6-56 – Verificação da Barra 294 – 2/2

→ Procedimento 3 – Tabela de Cálculo


RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO						
Grupo: Cordões Escora		Combinação: - ELS.Pass(T+) Wxyp			$\gamma_{M0} = 1.00$	
Barra: 294	Perfil: HE 200 B	Secção: sf	Final	$\gamma_{M1} = 1.00$		
L= 2.13 m	Material: S 235	f_y= 235 N/mm ²	$\gamma_{M2} = 1.25$			
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ELÁSTICAS DA SECÇÃO						
h= 200 mm	A= 78.08 cm ²	A _{vz} = 24.83 cm ²				
b= 200 mm	I _y = 5696.00 cm ⁴	I _z = 2003.00 cm ⁴				
t _w = 9 mm	i _y = 8.54 cm	i _z = 5.07 cm				
t _f = 15 mm	W _{el,y} = 569.60 cm ³	W _{el,z} = 200.30 cm ³				
	W _{pl,y} = 642.50 cm ³	W _{pl,z} = 305.80 cm ³				
Classe à Flexão 1	Classe à Compressão 1	Classe adoptada 1				
ESFORÇOS DE CÁLCULO						
N _{T,Ed} = 0.00 kN	V _{y,Ed} = 0.59 kN	M _{y,Ed} = 6.86 kN.m				
N _{c,Ed} = 270.41 kN	V _{z,Ed} = -2.81 kN	M _{z,Ed} = 1.26 kN.m				
PARAMETROS DE ENCURVADURA						
Eixo y-y			Eixo z-z			
L _y = 2.13 m	$\bar{\lambda}_{y}$ = 2.00	L _z = 2.13 m	$\bar{\lambda}_{z}$ = 0.45			
L _{cr,y} = 16.00 m	χ_{y} = 0.21	L _{cr,z} = 2.13 m	χ_{z} = 0.87			
λ_{y} = 187.35	k _{yy} = 0.94	λ_{z} = 42.01	k _{zz} = 0.63			
	k _{yz} = 0.38		k _{zy} = 0.98			
PARAMETROS DE ENCURVADURA LATERAL						
L _{cr} = 2.13 m	z _g = B. Sup	α_{LT} = 0.210	ϕ_{LT} = 0.548			
M _{cr} = 1921.29 kN.m	$\bar{\lambda}_{LT}$ = 0.280	C2= 0.000	χ_{LT} = 0.982			
C1= 1.789			C3= 0.939			
ESFORÇOS RESISTENTES						
N _{c,Rd} = 1834.88 kN	M _{c,y,Rd} = 150.99 kN.m	M _{c,z,Rd} = 71.86 kN.m				
N _{b,y,Rd} = 385.97 kN	M _{N,y,Rd} = 145.50 kN.m	M _{N,z,Rd} = 71.86 kN.m				
N _{b,z,Rd} = 1599.91 kN	M _{b,Rd} = 148.28 kN.m	V _{c,y,Rd} = 722.48 kN				
		V _{c,z,Rd} = 336.89 kN				

Figura 6-57 – Relatório da barra 294 – 1/3

VERIFICAÇÕES

[NP EN 1993-1-1]

Resistência da Secção

Tração - (6.2.3)

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = \text{0.00} \leq 1$$

Compressão - (6.2.4)

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = \text{0.15} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Momento Fletor - (6.2.5)

$$M_{y,Ed}/M_{c,y,Rd} = \text{0.05} \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$M_{z,Ed}/M_{c,z,Rd} = \text{0.02} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Esforço Transverso Plástico - (6.2.6)

$$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} = \text{0.01} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Esforço Transverso Elástico - (6.2.6)

$$y - (\tau_{Ed} * 3^{0.5} * \gamma_{M0})/f_y = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$z - (\tau_{Ed} * 3^{0.5} * \gamma_{M0})/f_y = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Flexão com Esforço Transverso - (6.2.8)

$$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} = \text{0.01} < 0,5 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{y,Ed}/M_{V,y,Rd} = \text{0.05} \leq 1 \quad \text{OK}$$

VEd sem significado $M_{V,y,Rd} = \text{N.A. kN.m}$

$$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} = \text{0.00} < 0,5 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{z,Ed}/M_{V,z,Rd} = \text{0.02} \leq 1 \quad \text{OK}$$

VEd sem significado $M_{V,z,Rd} = \text{N.A. kN.m}$

Flexão Composta - (6.2.9)

$$N_{Ed}/N_{pl,Rd} = \text{0.15} \leq 0,25 \quad \text{Verifica}$$

$$N_{Ed}/h_w \cdot t_w \cdot f_y = \text{0.75} \leq 0,5 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} = \text{0.05} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Calcular MRd Reduzido $M_{N,y,Rd} = \text{145.59 kN.m}$

$$N_{Ed}/h_w \cdot t_w \cdot f_y = \text{0.75} \leq 1 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} = \text{0.02} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Redução de MRd N.A. $M_{N,z,Rd} = \text{N.A. kN.m}$

Flexão Composta Desviada - (6.2.9)

$$\alpha = 2.00 \quad \beta = 1.00 \quad \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta = \text{0.02} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Figura 6-58 – Relatório da barra 294 – 2/3

Resistência da Barra

Resistência à Encurvadura - (6.3.2.1)

$$M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd} = 0.05 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Fatores de Interação

$$\begin{aligned} k_{yy} &= 0.938 \\ k_{yz} &= 0.378 \\ k_{zy} &= 0.978 \\ k_{zz} &= 0.630 \end{aligned}$$

Coefficientes de Momento Mniforme Equivalente

$$\begin{aligned} C_{my} &= 0.60 \\ C_{mz} &= 0.60 \\ C_{mLT} &= 0.60 \end{aligned}$$

$$\lambda_{y,z} = 187.35 \leq \lambda_{,max} = 180$$

$$\lambda_{y,z} = 42.01 \leq \lambda_{,max} = 180$$

Resistência à Encurvadura por Flexão Composta com Compressão "Coluna-Viga" (6.3.3) - Anexo B

$$\begin{aligned} N_{ed}/N_{y,Rd} &= 0.70 \\ + \\ k_{yy}[M_{y,Ed}/M_{b,Rd}] &= 0.04 \\ + \\ k_{yz}[M_{z,Ed}/M_{z,Rd}] &= 0.01 \\ = \\ (6.61) \quad 0.75 &\leq 1 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{ed}/N_{z,Rd} &= 0.17 \\ + \\ k_{zy}[M_{y,Ed}/M_{b,Rd}] &= 0.01 \\ + \\ k_{zz}[M_{z,Ed}/M_{z,Rd}] &= 0.01 \\ = \\ (6.62) \quad 0.23 &\leq 1 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

CONCLUSÃO: A barra cumpre todos os critérios de segurança!

Figura 6-59 – Relatório da barra 294 – 3/3

Comparação de Resultados

Tabela 6-37 – Secção Transversal – Barra 294

Estado Limite Último	"Robot"	"A3C"	Tabela de Cálculo	Desvio
Compressão	0,15	0,15	0,15	0,00
Esforço Transverso	y-y	0,00	0,00	0,00
	z-z	0,01	0,01	0,00
Flexão	y-y	0,04	0,05	0,01
	z-z	0,01	0,02	0,01
Flexão Desviada	0,01	0,02	0,02	0,01

6. Dimensionamento

Tabela 6-38 – Encurvadura por Compressão – Barra 294

Parâmetros	“Robot”	“A3C”	Tabela de Cálculo	Desvio
$\bar{\lambda}_y$	2,00	2,00	2,00	0,00
$\bar{\lambda}_z$	0,45	0,45	0,45	0,00
χ_y	0,21	0,21	0,21	0,00
χ_z	0,87	0,87	0,87	0,00
$N_{c,Ed}/N_{b,y,Rd}$	0,70	0,70	0,70	0,00

Tabela 6-39 – Encurvadura Lateral – Barra 294

Parâmetros	“Robot”	“A3C”	Tabela de Cálculo	Desvio
M_{cr} (kN.m)	2030,59	2046,89	1921,29	125,60
$\bar{\lambda}_{LT}$	0,27	0,27	0,28	0,01
χ_{LT}	0,98	-	0,98	0,00
$M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd}$	0,05	-	0,05	0,00

Tabela 6-40 - Encurvadura por Flexão Composta com Compressão – Barra 294

Parâmetros	“Robot”	“A3C”	Tabela de Cálculo	Desvio
K_{yy}	0,94	1,41	0,94	0,47
K_{yz}	0,38	0,38	0,38	0,00
K_{zy}	0,98	0,98	0,98	0,00
K_{zz}	0,63	0,63	0,63	0,00
Eq. 6.61	0,75	0,77	0,75	0,02
Eq 6.62	0,23	0,23	0,23	0,00

Os deslocamentos horizontais segundo os planos principais de inércia são:

$$\delta_{adm,y} = \frac{H}{300} = \frac{16,00}{300} = 0,053 \text{ m} = 5,3 \text{ cm}$$

Tabela 6-41 –
Deslocamento

	Combinação Condicionante	δ_H (cm)	δ_{adm} (cm)	Rácio
Escora	Eixo y-y ELS. Wy(T+)	1,7	5,3	0,19
	Eixo z-z ELS.Temp+ Wzz	0,9	5,3	0,04

Verificação das
Horizontal

◆ Conclusão

O perfil HEB 200 cumpre as verificações de segurança aos estados limites últimos e de serviço.

6.3 Ligações

As ligações dos elementos metálicos foram realizadas recorrendo a soldaduras, parafusos e também a ligações especiais na ligação da escora e do pilar aos quadros rígidos.

6.3.1 Ligações Soldadas

As ligações das barras interiores foram realizadas segundo a conceção indicada.



Figura 6-60 – Ligações Soldadas

Nestas ligações utilizaram-se cordões de ângulo calculados a partir da expressão simplificada do EC3 parte 8, traduzida no ábaco da Figura 6-61.

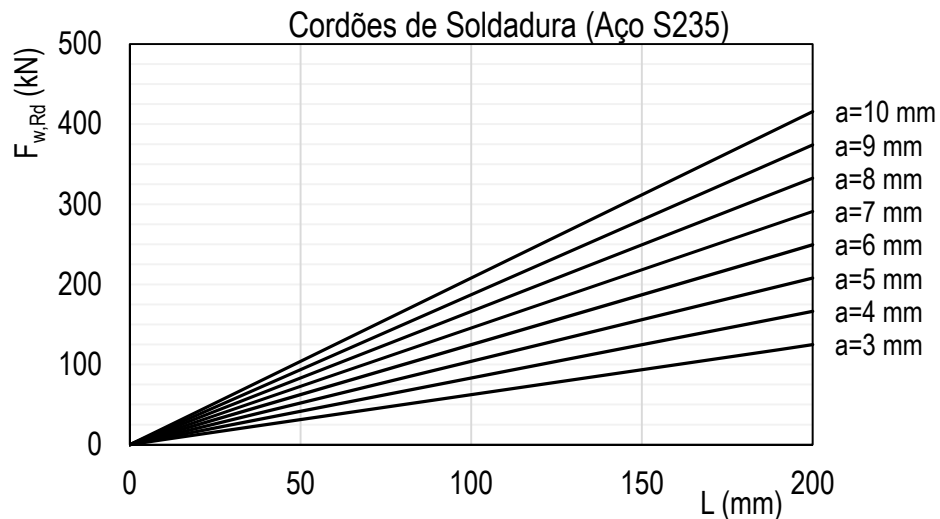


Figura 6-61 – Dimensionamento de Cordões de Ângulo

Nota: L corresponde ao comprimento do cordão e a à espessura do cordão.

6.3.2 Ligações Aparafusadas

Neste Projeto adotaram-se dois tipos de ligações aparafusadas calculadas recorrendo aos *softwares* “Advance Steel” e “Robot”.

Apresenta-se neste trabalho final de mestrados apenas os rácios das verificações do dimensionamento sendo as restantes informações apresentadas nos ANEXOS XIV e XV.

a) Cobrejunta – Ligação dos Cordões da Escora

→ Procedimento 1 – “Robot”

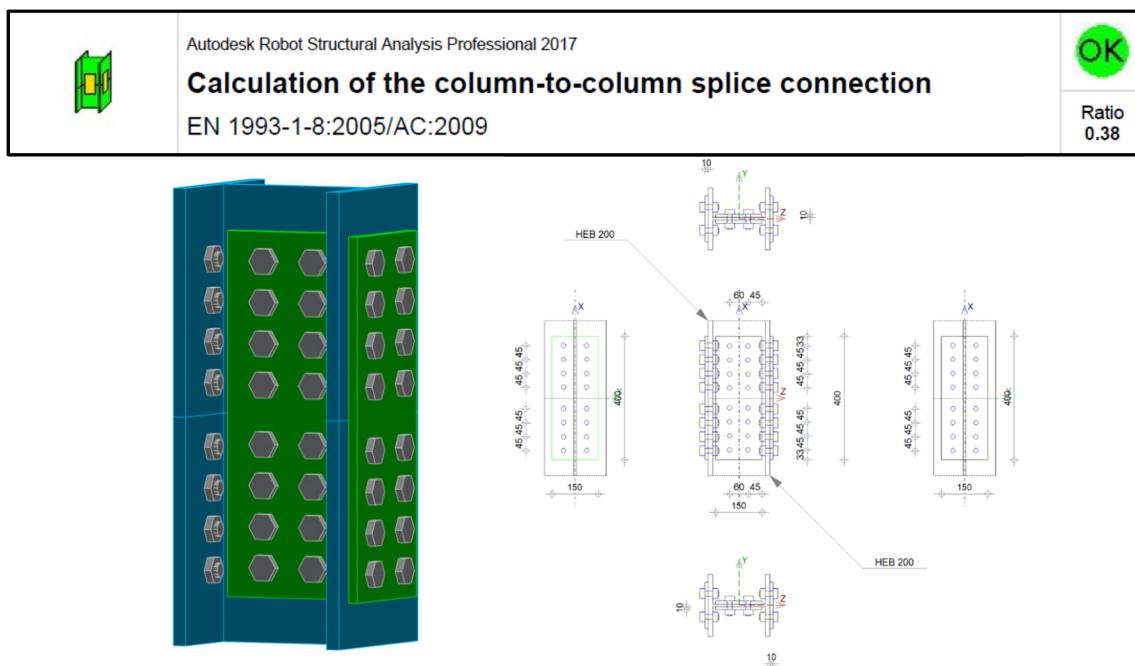


Figura 6-62 – Cobre-Juntas

A conceção adotada conduziu para as diferentes verificações a um rácio de 0,38.

→ Procedimento 2 – “Advance Steel”

Com o *software* “Advance Steel” foi realizada a verificação desta ligação introduzindo os esforços de cálculo da combinação condicionante “ELU Wy(T+)”.

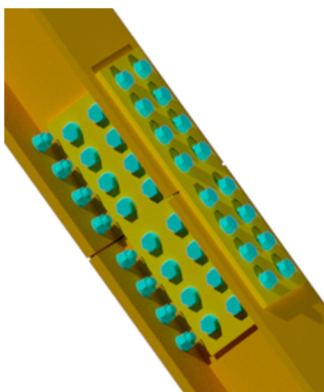


Figura 6-63 – Cobre-Juntas da Escora

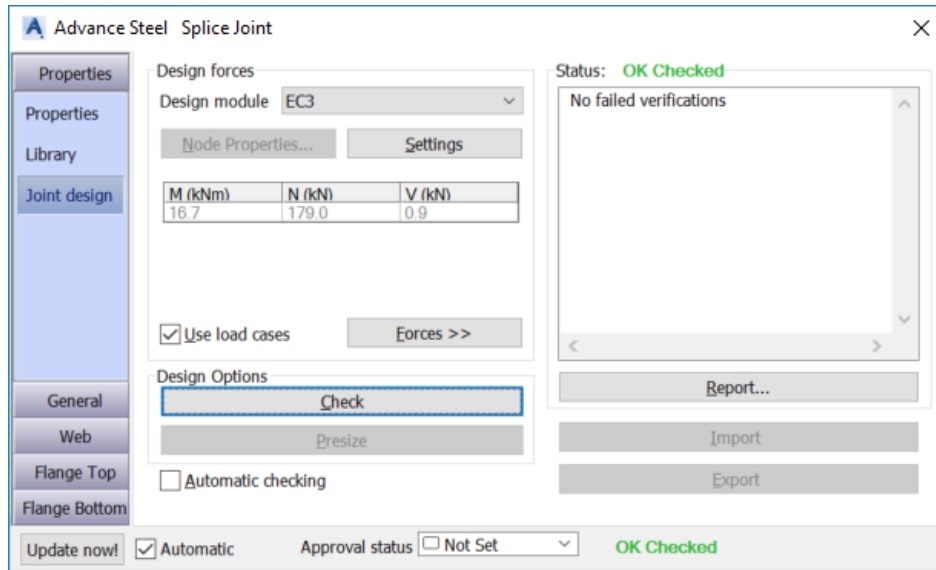


Figura 6-64 – Verificação do Cobre-Junta

Os resultados de dimensionamento para as diferentes verificações efetuadas nesta ligação conduziu a um rácio máximo de 0,47.

b) Ligação ao Plinto de Betão

→ Procedimento 1 – “Robot”

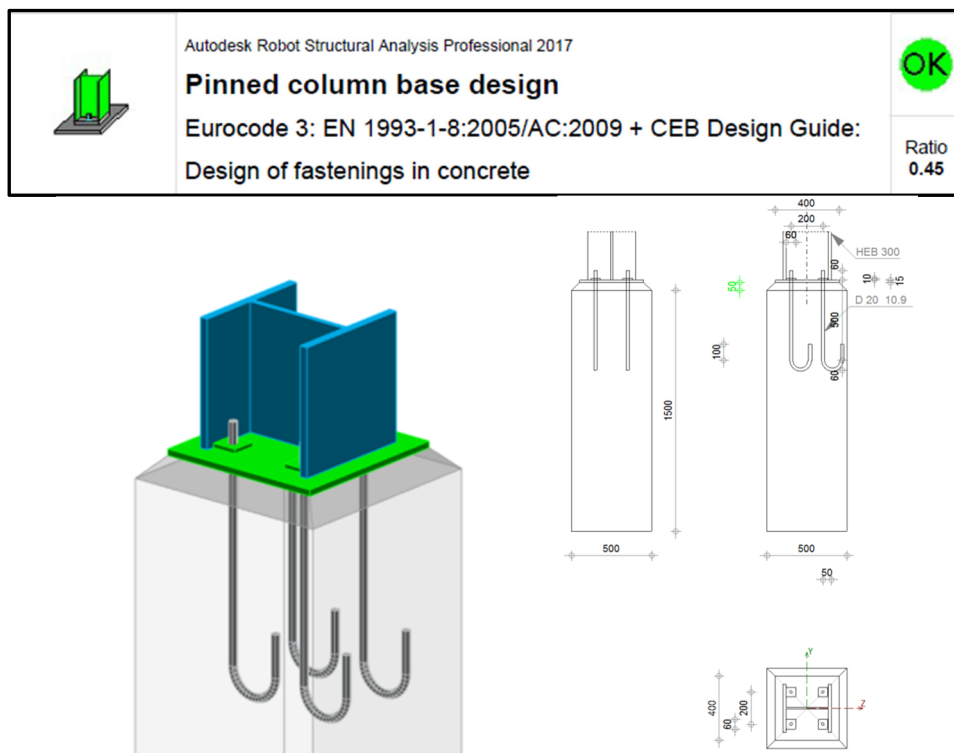


Figura 6-65 – Verificação da Base do Pilar

Para as diferentes verificações obteve-se um rácio máximo de 0,45

→ Procedimento 2 – “Advance Steel”

A combinação condicionante considerada foi a “S1- 0,3X + Y”

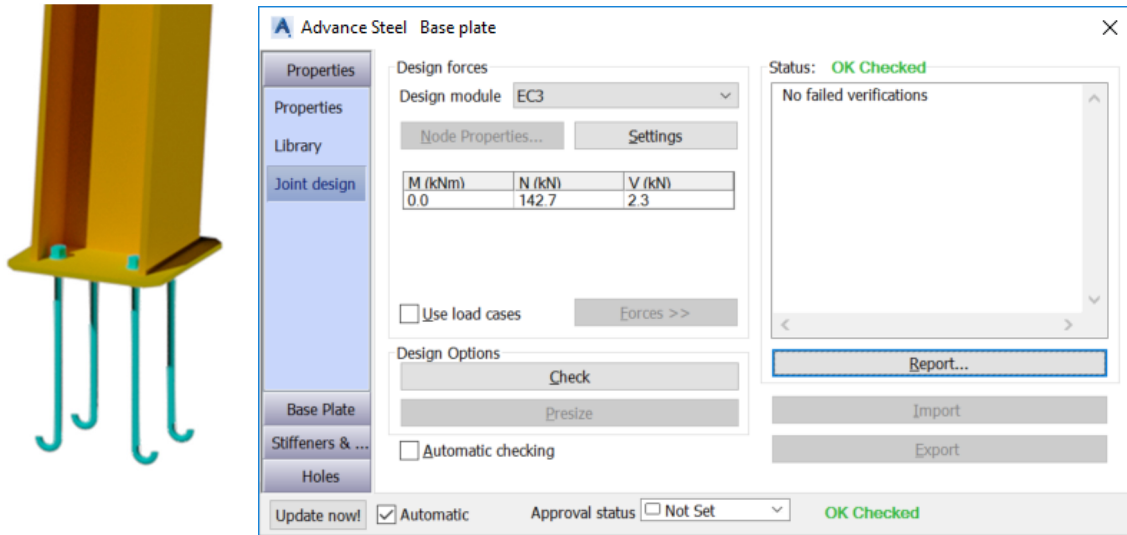


Figura 6-66 – Verificação da Base do Pilar

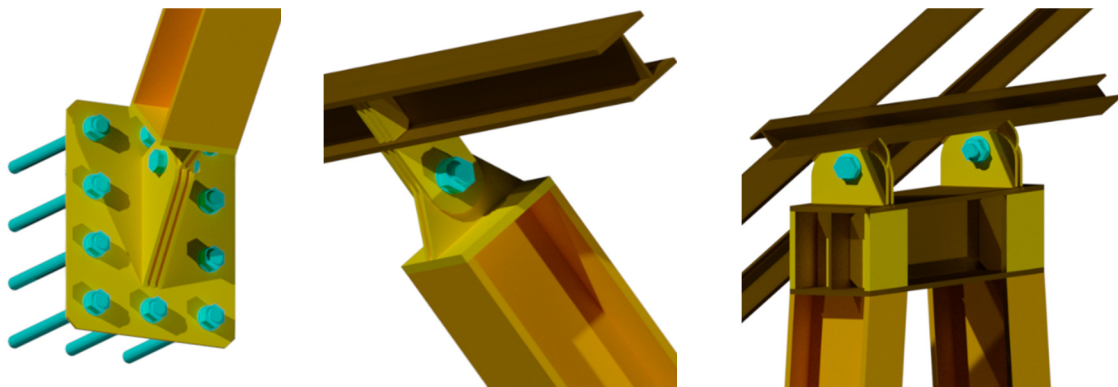
O rácio desta ligação conduziu a um valor máximo de 0,42

◆ **Conclusão**

De referir que os dois procedimentos apontam para valores semelhantes.

6.3.3 Ligações Especiais

Foram analisadas também as três ligações indicadas na Figura 6-67.



a) Ligação da Escora à Viga de Betão

b) Ligação da Escora à Viga Metálica

c) Ligação do Pilar à Viga Metálica

Figura 6-67 – Ligações da Escora e do Pilar [Fonte: Advance Steel]

A verificação da ligação da Escora à Viga de betão foi realizada modelando os diferentes elementos que a constituem no programa de elementos finitos “Robot”, de modo a obterem-se as tensões máximas e mínimas de comparação nas chapas que formam esta ligação.

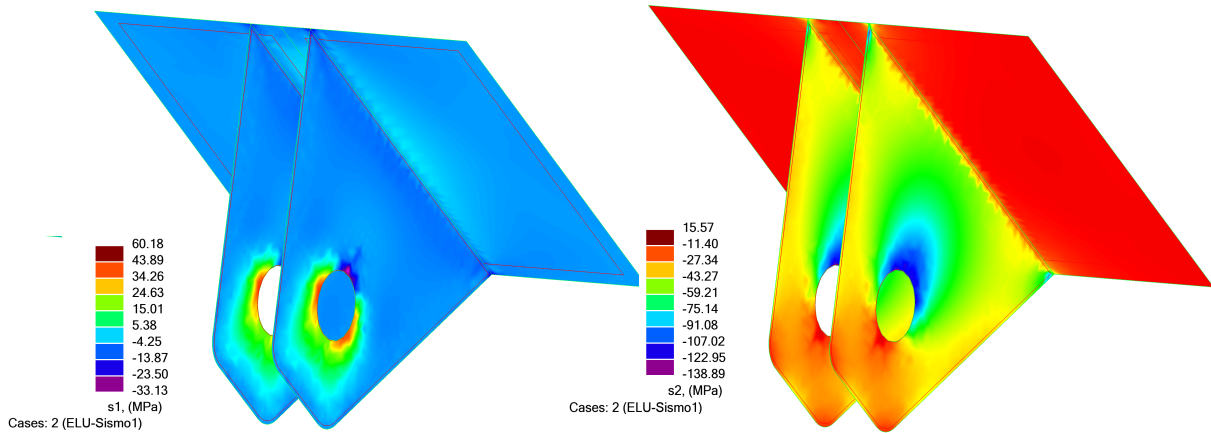


Figura 6-68 – Tensões Envolventes Máximas e Mínimas nas Chapas Superiores

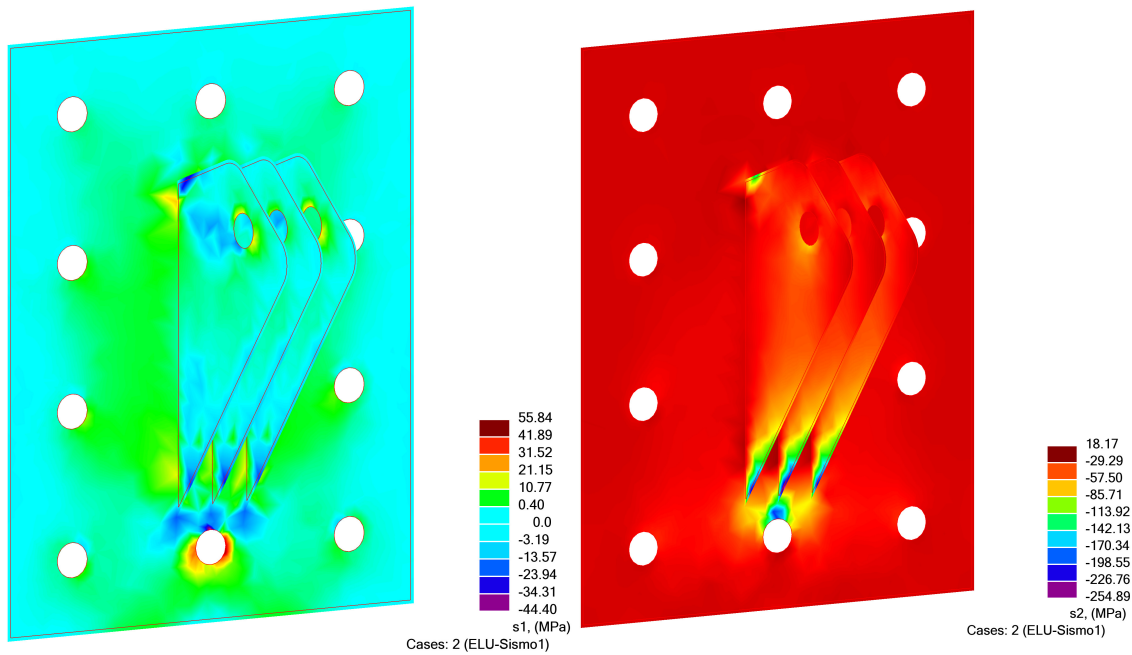


Figura 6-69 – Tensões Envolventes Máximas e Mínimas nas Chapas Inferiores

Nas figuras verifica-se que as tensões comparação são inferiores à tensão resistente do aço.

De referir que na ligação da chapa de base à viga de betão utilizaram-se buchas do tipo Hilti “HIT-HY 200” de modo a garantir os esforços de cálculo de tração e corte desta ligação.

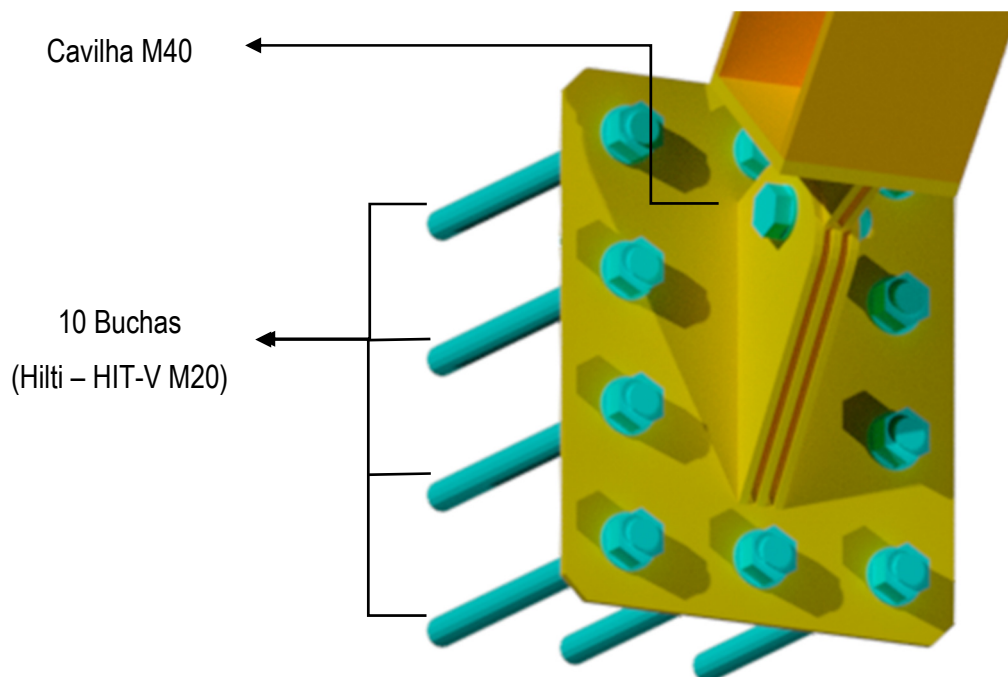


Figura 6-70 – Buchas e Cavilha

A cavilha de ligação foi dimensionada a partir das expressões:

Modo de Rotura	Requisitos de Dimensionamento	Esforço Resistente	Esforço de Cálculo	Rácio
Corte	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 A f_{up}}{\gamma_{M2}} \geq F_{v,Ed}$	488,58 kN	270,91 kN	0,45
Flexão	$M_{Rd} = \frac{1,5 W_{el} f_{yp}}{\gamma_{M0}} \geq M_{Ed}$	10603 kN.mm	6860 kN.mm	0,65
Combinação Corte+Flexão	$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1$	-	-	0,62

A segurança é assegurada em todos os elementos da ligação uma vez que os rácios são inferiores à unidade.

Nota: No Anexo XIV apresenta-se a Ficha Técnica das Buchas de Fixação Hilti HIT-HY.

6.4 Dimensionamento de Elementos de Betão Armado

O dimensionamento dos elementos de betão armado foi realizado a partir dos resultados da análise estrutural efetuada no “Robot”.

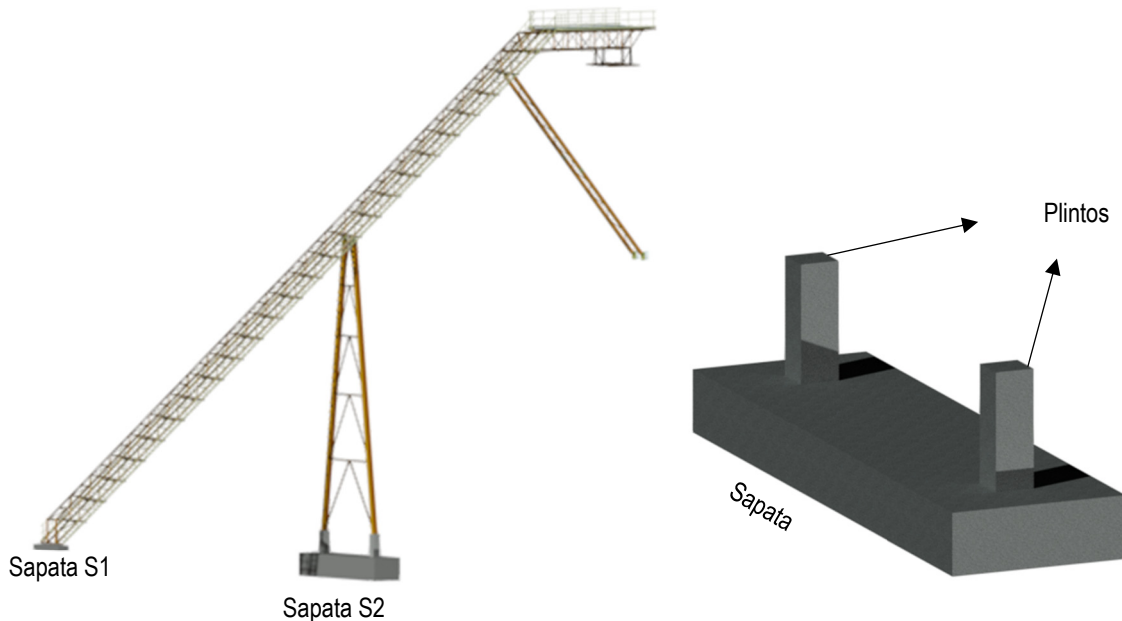


Figura 6-71 – Fundações do Pilar

Os plintos P1 e P2 fazem parte da sapata S1 e os plintos P3 e P4 da sapata S2.

6.4.1 Plintos

6.4.1.1 Estados Limites Últimos

◆ Flexão Composta

O dimensionamento à flexão composta dos dois plintos foi realizado a partir do EC2:

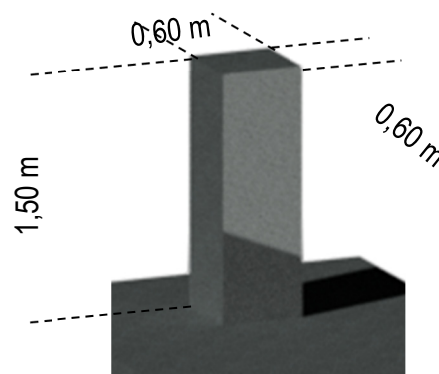


Figura 6-72 – Geometria dos Plintos

Os resultados do dimensionamento estão indicados nas tabelas seguintes.

6. Dimensionamento

Tabela 6-42 – Esforços de Cálculo Condicionantes

Plinto	Combinação Condicionante	N_{Ed} (kN)	$M_{y,Ed}$ (kN.m)	$M_{z,Ed}$ (kN.m)
PL1	ELU.Pass(T+) Wz	118,07	-65,98	-5,01
PL2	ELU.Wyy (T+)	48,78	-43,46	17,05
PL3	ELU.Wy (T+)	-73,01	0,01	-35,90
PL4	ELU.Wyy (T+)	-72,49	0,01	35,83

Tabela 6-43 – Plinto PL1

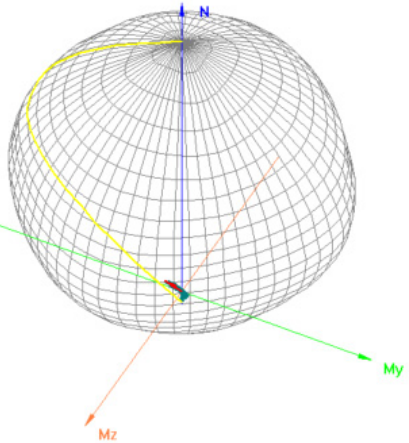
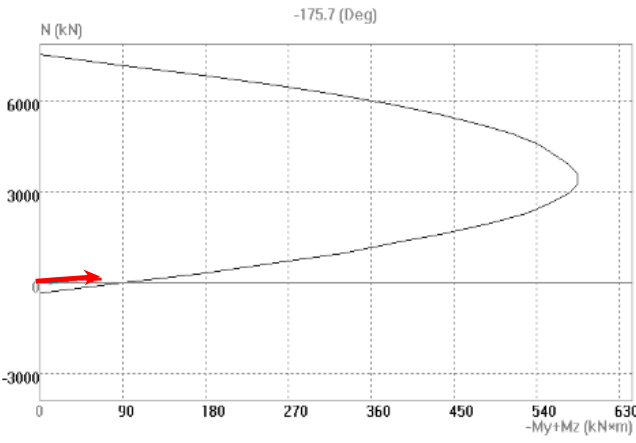
Envolvente dos Esforços Resistentes			Diagrama N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ e $M_{z,Ed}$	
				
Disposições Regulamentares			Armaduras Adotadas	
ϕ_{min} (mm)	$A_{s,min}$ (cm ²)	$A_{s,Max}$ (cm ²)	Área (cm ²)	Varões
10	0,28	144	7,85	10 ϕ 10

Tabela 6-44 – Plinto PL2

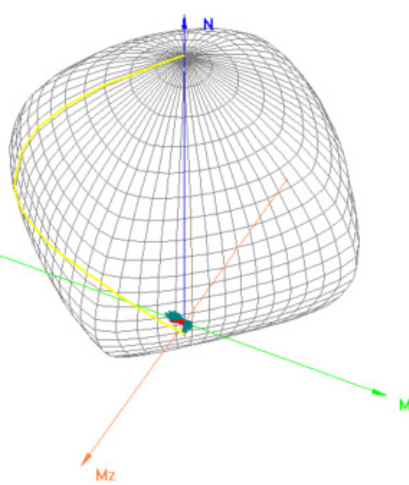
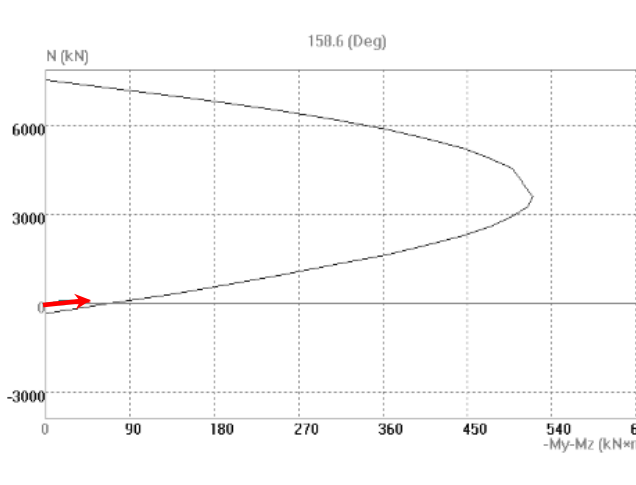
Envolvente dos Esforços Resistentes			Diagrama N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ e $M_{z,Ed}$	
				
Disposições regulamentares			Armadura adotada	
ϕ_{min} (mm)	$A_{s,min}$ (cm ²)	$A_{s,Max}$ (cm ²)	Área (cm ²)	Varões
10	0,11	144	7,85	10 ϕ 10

Tabela 6-45 – Plinto PL3

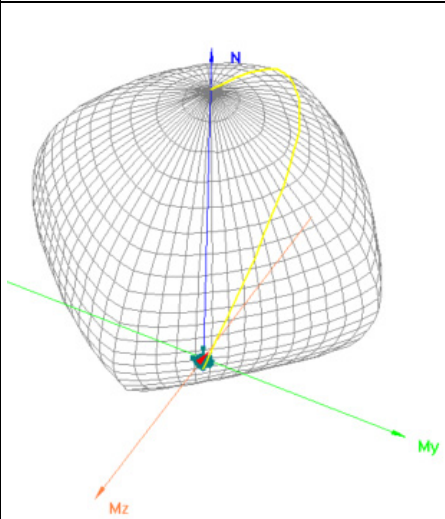
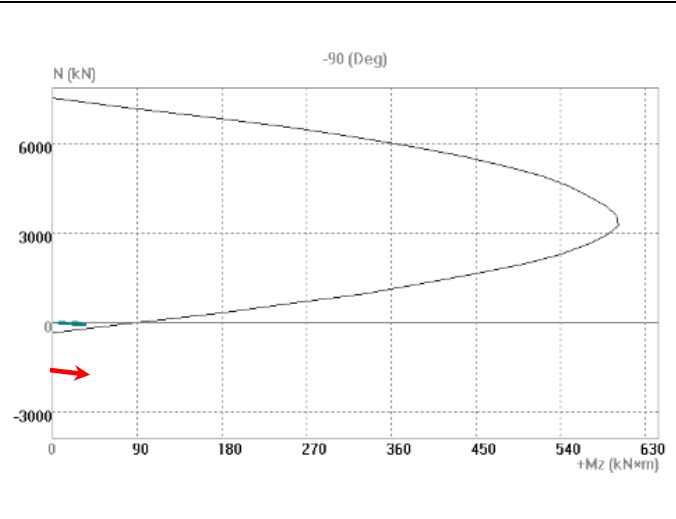
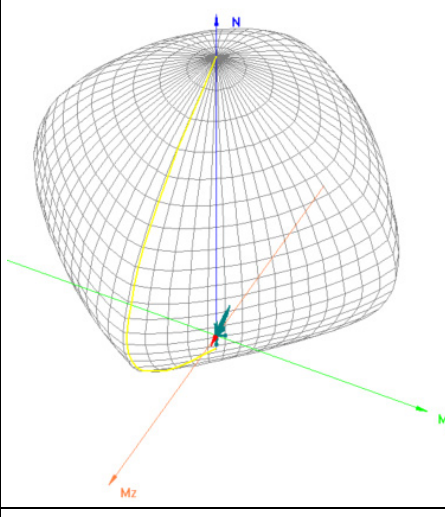
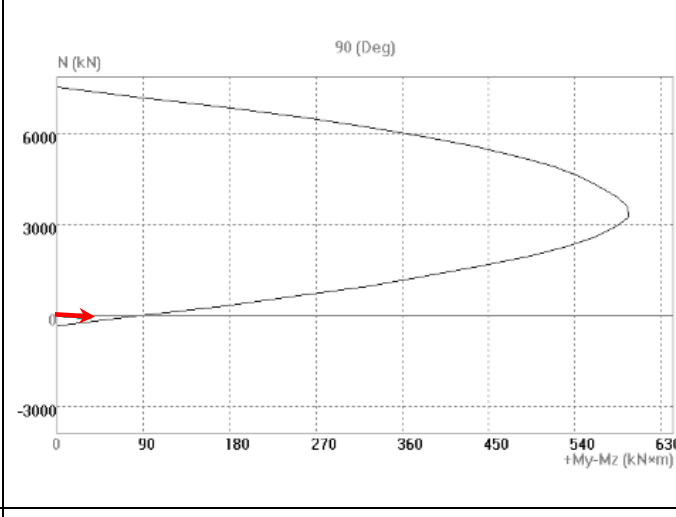
Envolvente dos Esforços Resistentes			Diagrama N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ e $M_{z,Ed}$	
				
Disposições regulamentares			Armadura adotada	
ϕ_{min} (mm)	$A_{s,min}$ (cm ²)	$A_{s,Max}$ (cm ²)	Área (cm ²)	Varões
10	0,17	144	7,85	10 ϕ 10

Tabela 6-46 – Plinto PL4

Envolvente dos Esforços Resistentes			Diagrama N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ e $M_{z,Ed}$	
				
Disposições regulamentares			Armadura adotada	
ϕ_{min} (mm)	$A_{s,min}$ (cm ²)	$A_{s,Max}$ (cm ²)	Área (cm ²)	Varões
10	0,17	144	7,85	10 ϕ 10

O espaçamento entre varões longitudinais foi de 27 mm que cumpre os critérios regulamentares.

Nota: As envoltentes resistentes de cálculo indicadas nas figuras anteriores contemplam simultaneamente os esforços $N_{Ed}+M_{y,Ed}+M_{z,Ed}$ para as combinações mais condicionantes.

◆ Esforço Transverso

Na Tabela 6-47 estão indicados os resultados dos cálculos realizados.

Tabela 6-47 – Armaduras Transversais

Plintos	Combinação Condicionante	V_{Ed} (kN)	$V_{Rd,max}$ (kN)	$(A_{sw/s})_{min}$ (cm ² /m)	$(A_{sw/s})_{max}$ (cm ² /m)	$(A_{sw/s})_{calc}$ (cm ² /m)	$(A_{sw/s})_{adot}$ (cm ² /m)	Estribos adotados
P1	ELU.Pass(T+) Wz	43,69				2,03		
P2	ELU.Wyy (T+)	28,85	1639,44	5,26	76,14	1,34	5,74	φ8//0.175
P3	ELU.Wy (T+)	23,93				1,11		
P4	ELU.Wyy (T+)	23,89				1,11		

Foram também consideradas armaduras complementares com diâmetros de 8 mm de modo a melhorar o confinamento das secções de betão.

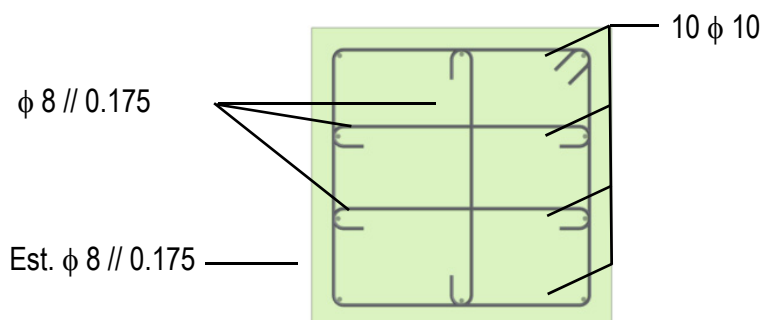


Figura 6-73 – Armaduras dos Plintos

Nota: Os restantes resultados do dimensionamento dos plintos estão indicados no ANEXO XVI.

6.4.1.2 Estados Limites de Serviço

◆ Fendilhação

A fendilhação foi estudada no *software* “Gala Reinforcement” tendo-se considerado para valores máximos admissíveis para as abertura de fendas $w_{k,max} = 0,3$ mm.

Tabela 6-48 – Dimensionamento à Fendilhação

Load	N [kN]	Mx [kN.m]	My [kN.m]	Bar	es [o/oo]	ec [o/oo]	Srm [mm]	Wm [mm]	Wk [mm]	Ws [mm]
L1	118.07	-65.98	-5.01	6	0.53	-0.25	349.411	0.187	0.288	0.320
L2	48.78	-43.46	17.05	1	0.50	-0.26	399.198	0.201	0.299	0.340
L3	-73.01	0.01	-35.9	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
L4	-72.49	0.01	35.83	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

6.4.2 Sapatas

O dimensionamento das sapatas foi feito também no “Robot” em que foram considerados os seguintes parâmetros regulamentares definidos no EC2 para este tipo de estruturas:

- 1- Classe de exposição – XC4;
- 2- Classe da estrutura – S2;
- 3- Recobrimento – 5 cm;
- 4- Classe do Betão – C30/37;
- 5- Aço – A500NR;

Foram também definidas as características dos diferentes estratos de fundação com base na sondagem realizada.

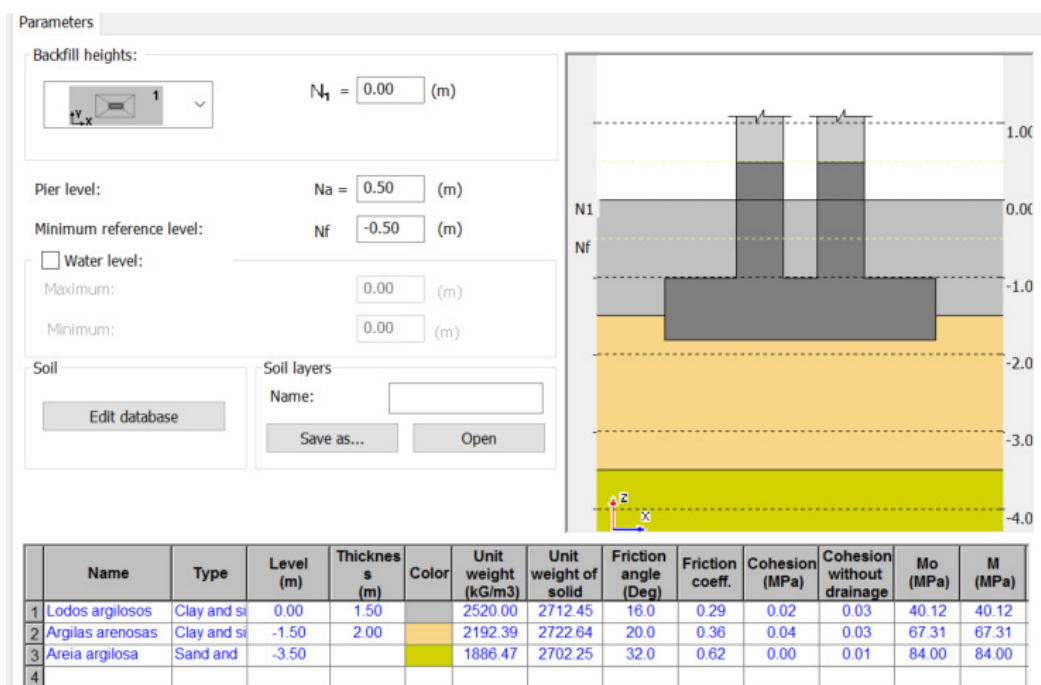


Figura 6-74 – Propriedades do Solo

Consideraram-se as seguintes premissas no cálculo das fundações:

- 1- Assentamento máximos inferiores a 5 cm;
- 2- A resultante do esforço axial em todas as combinações dentro do núcleo central;
- 3- Utilizado o Método de Cálculo Analítico e a Abordagem de Cálculo Tipo 1 definida no EC7.

Foram realizadas as seguintes verificações de segurança:

- ◆ Rotura do solo de fundação – ELU;
- ◆ Derrubamento – ELU;

- ◆ Deslizamento – ELU;
- ◆ Assentamento global – ELS;
- ◆ Assentamento diferencial – ELS.

→ **Sapata S1**

As dimensões consideradas para as sapatas estão indicadas na figura seguinte.

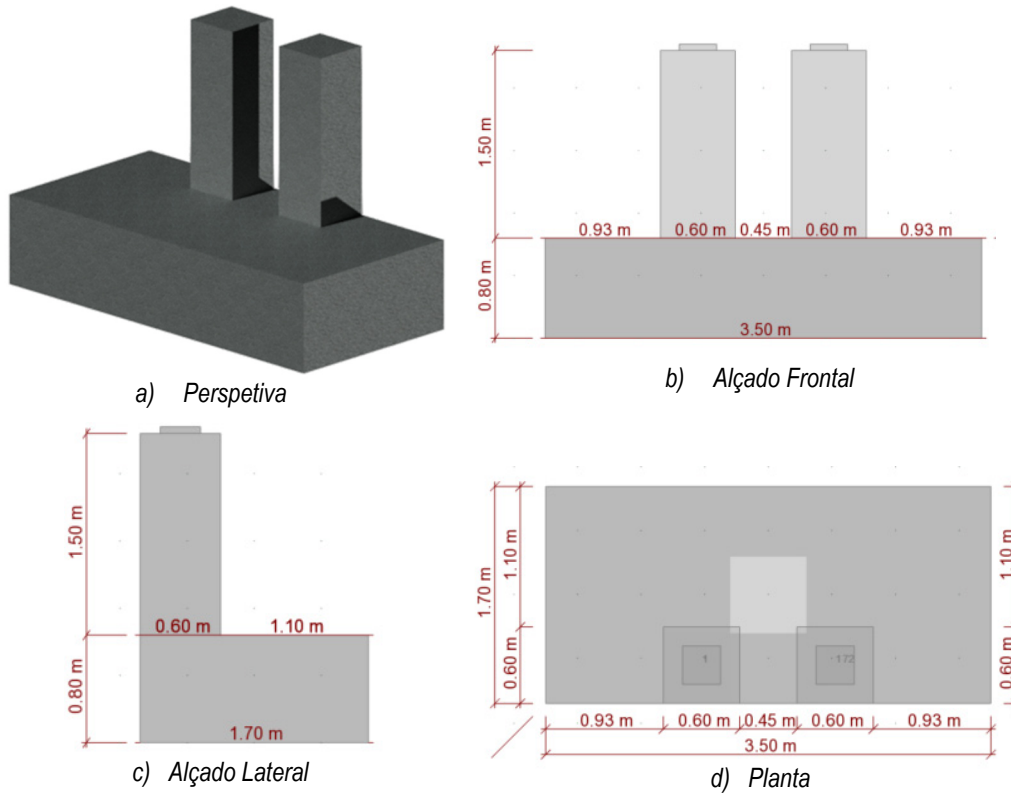


Figura 6-75 – Geometria – Sapata S1 e Plintos

Os resultados obtidos foram os seguintes:

Tabela 6-49 – Verificação à Rotura do Solo de Fundação

<p>0.167 MPa 0.166 MPa</p> <p>0.0278 MPa 0.0274 MPa</p> <p>N= 577.64 kN Mx= -117.14 kN*m My= -0.58 kN*m</p>	Combinação Condicionante
	ELU.Pass(T+) Wz
	Capacidade Resistente
	0,79 MPa
	Rácio
	0,21

Tabela 6-50 – Verificação ao Derrubamento

<p>0.143 MPa 0.143 MPa</p> <p>0.000812 MPa</p> <p>N= 427.98 kN Mx= -119.68 kN*m My= -0.44 kN*m</p>	Combinação Condicionante	
	ELU.Wz (T+)	
	Momentos	
	Momento Estabilizante	Momento Derrubante
	439,51 kN	209,98 kN
	Rácio	
0,48		

Tabela 6-51 – Verificação ao Deslizamento

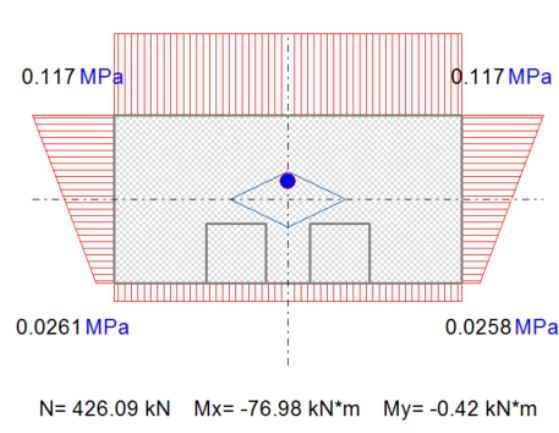
<p>0.152 MPa 0.151 MPa</p> <p>0.0107 MPa 0.0104 MPa</p> <p>N= 482.27 kN Mx= -118.81 kN*m My= -0.58 kN*m</p>	Combinação Condicionante	
	ELU.Pass(T+) Wz	
	Reação Horizontal	
	Resistente	Atuante
	114,30 kN	38,87 kN
	Rácio	
0,34		

Tabela 6-52 – Verificação - Assentamento

<p>0.117 MPa 0.117 MPa</p> <p>0.0261 MPa 0.0258 MPa</p> <p>N= 426.09 kN Mx= -76.98 kN*m My= -0.42 kN*m</p>	Combinação Condicionante	
	ELS.Pass(T+) Wxyp	
	Assentamento	
	Admissível	Atuante
	5,0 cm	0,05 cm
	Rácio	
0,01		

6. Dimensionamento

Tabela 6-53 – Verificação - Assentamento Diferencial

 <p>$N = 426,09 \text{ kN}$ $M_x = -76,98 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_y = -0,42 \text{ kN}\cdot\text{m}$</p>	Combinação Condicionante	
	ELS. Wyy (T+)	
	Assentamento	
	Admissível	Atuante
	5,0 cm	0,1 cm
	Rácio	
0,02		

O dimensionamento das armaduras dos plintos e da sapata estão indicados nas Tabelas 6-54 e 6-55.

Tabela 6-54 – Dimensionamento dos Plintos

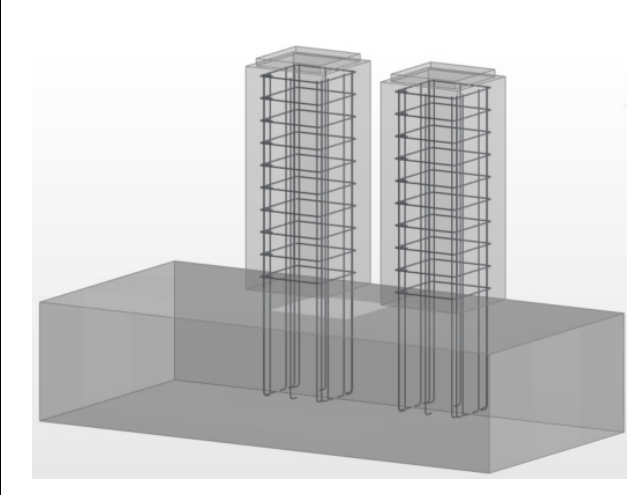
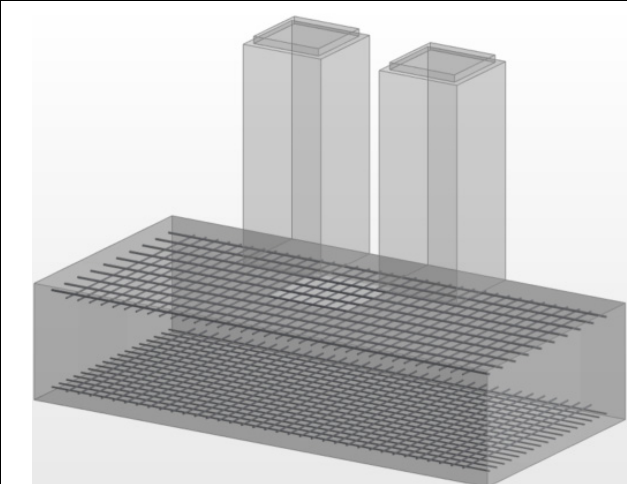
	Armaduras			
	Disposições Regulamentares			
	ϕ_{\min}	$A_{s,\min}$	$A_{s,\max}$	
	10 mm	0,11 cm ²	144 cm ²	
	Armaduras Adotadas			
	Área	Varões		
	7,85 cm ²	10 ϕ 10		
	Armaduras			
Área	Estribos			
5,74 cm ²	ϕ 8/0.175			

Tabela 6-55 – Dimensionamento da Sapata

	Disposições Regulamentares		
	ϕ_{\min}	$A_{s,\min}$	$A_{s,\max}$
	10 mm	11,01 cm ² /m	320 cm ² /m
	Armaduras Adotadas		
	Superiores		
	Direção x	Direção y	
	ϕ 16/0,15 (13,40 cm ² /m)	ϕ 12/0,10 (11,31 cm ² /m)	
	Inferiores		
	Direção x	Direção y	
	ϕ 12/0,10 (11,31 cm ² /m)	ϕ 12/0,10 (11,31 cm ² /m)	

→ Sapata S2

O dimensionamento da sapata S2 foi realizado a partir dos mesmos critérios utilizados para a sapata S1.

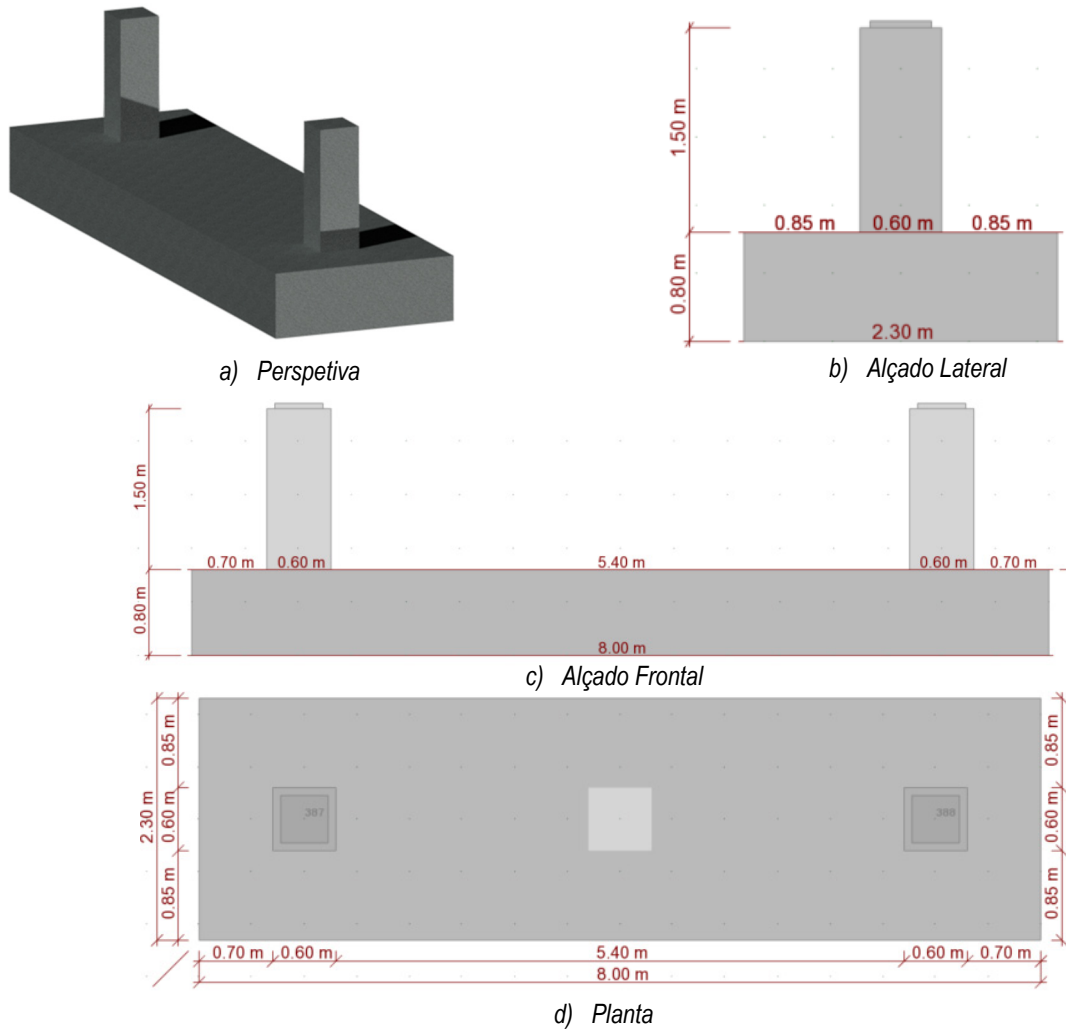


Figura 6-76 – Geometria – Sapata S2

As verificações realizadas foram as seguintes:

Tabela 6-56 – Verificação à Rotura do Solo de Fundação

<p>0.018 MPa</p> <p>0.135 MPa</p> <p>0.018 MPa</p> <p>0.135 MPa</p> <p>$N = 1405.26 \text{ kN}$ $M_x = 0.04 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_y = 1431.90 \text{ kN}\cdot\text{m}$</p>	Combinação Condicionante
	ELU.Wy (T-)
	Capacidade Resistente
	0,96 MPa
	Rácio
	0,14

6. Dimensionamento

Tabela 6-57 – Verificação ao Derrubamento

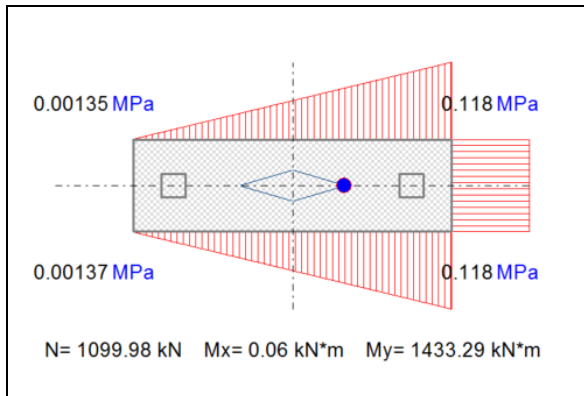
 <p style="text-align: center;">N= 1099,98 kN Mx= 0,06 kN*m My= 1433,29 kN*m</p>	Combinação Condicionante	
	ELU.Wy (T+)	
	Momentos	
	Momento Estabilizante	Momento Derrubante
	4399,93 kN	1433,29 kN
	Rácio	
0,33		

Tabela 6-58 – Verificação ao Deslizamento

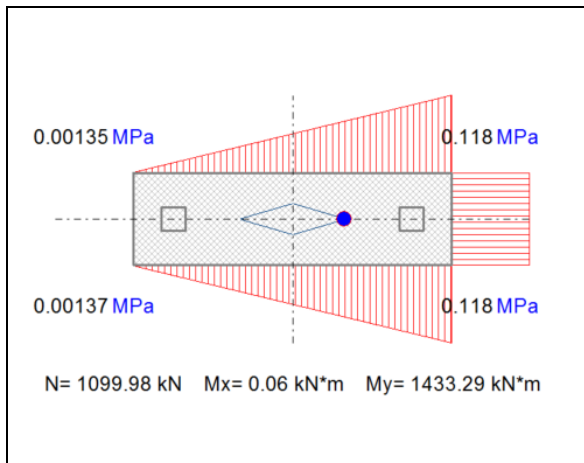
 <p style="text-align: center;">N= 1099,98 kN Mx= 0,06 kN*m My= 1433,29 kN*m</p>	Combinação Condicionante	
	ELU.Wy (T+)	
	Reação Horizontal	
	Resistente	Atuante
	260,70 kN	29,27 kN
	Rácio	
0,11		

Tabela 6-59 – Verificação – Assentamento

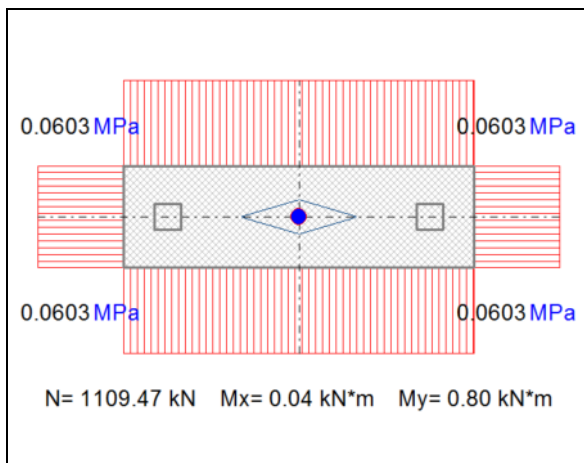
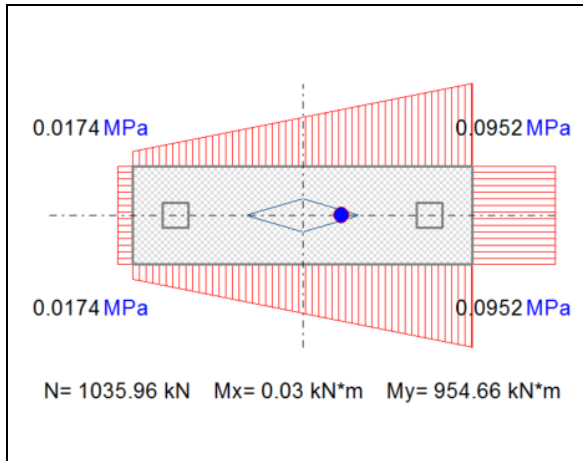
 <p style="text-align: center;">N= 1109,47 kN Mx= 0,04 kN*m My= 0,80 kN*m</p>	Combinação Condicionante	
	ELS.Pass(T-) Wzz	
	Assentamentos	
	Admissível	Atuante
	5,0 cm	0,02 cm
	Rácio	
0,01		

Tabela 6-60 – Verificação - Assentamento Diferencial

 <p>0,0174 MPa 0,0952 MPa</p> <p>0,0174 MPa 0,0952 MPa</p> <p>N= 1035,96 kN Mx= 0,03 kN*m My= 954,66 kN*m</p>	Combinação condicionante	
	ELS. Wyy (T+)	
	Assentamentos	
	Admissível	Atuante
	5,0 cm	0,14 cm
	Rácio	
0,03		

As armaduras dos plintos e da sapata constam das Tabelas 6-61 e 6-62.

Tabela 6-61 – Plintos

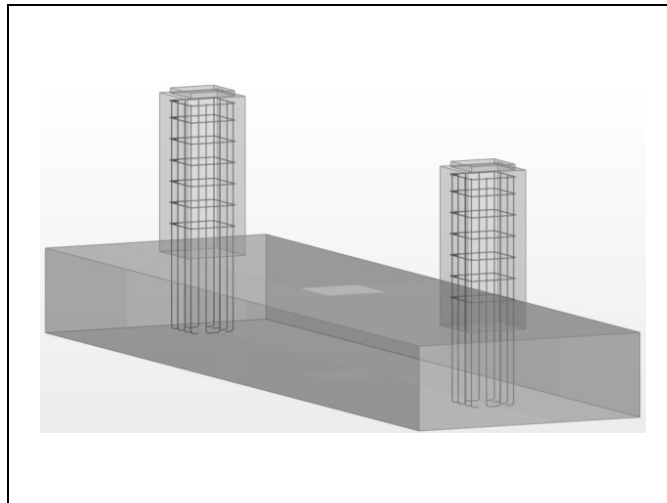
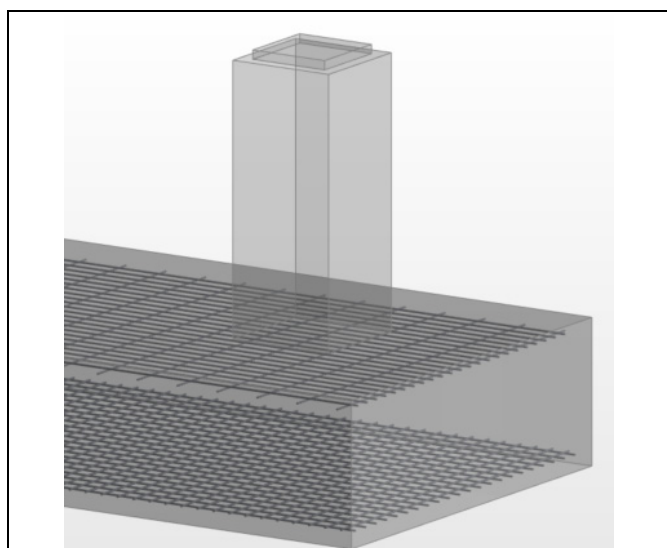
	Armaduras			
	Disposições Regulamentares			
	ϕ_{min}	$A_{s,min}$	$A_{s,Max}$	
	10 mm	0,11 cm ²	144 cm ²	
	Armaduras Adotadas			
	Área	Varões		
	7,85 cm ²	10 ϕ 10		
	Armaduras			
Área	Estribos			
5,74 cm ²	ϕ 8//0,175			

Tabela 6-62 – Sapata

	Disposições Regulamentares		
	ϕ_{min}	$A_{s,min}$	$A_{s,Max}$
	10 mm	11,01 cm ² /m	320 cm ² /m
	Armaduras Adotadas		
	Parte Superior		
	Direção x	Direção y	
	ϕ 12//0,10 (11,31 cm ² /m)	ϕ 12//0,10 (11,31 cm ² /m)	
	Parte Inferior		
Direção x	Direção y		
ϕ 12//0,10 (11,31 cm ² /m)	ϕ 12//0,10 (11,31 cm ² /m)		

Para o controlo da fendilhação foi utilizado o Método Indireto proposto no EC2, tendo-se utilizado para os diâmetros e espaçamentos dos varões limites que garantem aberturas de fendas inferiores a 0,3 mm.

Nota: Os restantes resultados referentes ao dimensionamento das sapatas estão indicados no ANEXO XVII.

7 Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

O objetivo deste trabalho consistiu na aplicação dos conhecimentos teóricos e práticos adquiridos nas unidades curriculares relacionadas com o estudo de estruturas, a um projeto de uma Estrutura Metálica de suporte de uma Tela Transportadora de Biomassa.

Com a realização do trabalho foram atingidos os objetivos iniciais e ainda adquiridos conhecimentos práticos e teóricos relacionados com o cálculo de Estruturas metálicas, nomeadamente na elaboração de ligações metálicas.

De referir ainda que este trabalho permitiu não só o aprofundamento dos Eurocódigos lecionados mas também o estudo detalhado da parte 4 do EC1 referente à Ação do Vento, e da parte 2 do EC3 respeitante às Pontes Metálicas.

Relativamente à estrutura deste Projeto, esta apresenta algumas particularidades, tais como:

- A estrutura metálica tem um peso reduzido (173 kN) comparativamente com outras estruturas análogas;
- A maioria das barras que formam a estrutura são condicionadas por fenómenos de encurvadura;
- A localização da estrutura e a classe de importância, Classe II foram determinantes na definição da ação sísmica;
- Em todas as combinações de ações o sismo quando considerado como ação variável base é a ação que condiciona o dimensionamento, contrariamente ao que se esperava, uma vez que neste tipo de estruturas é a ação do vento a mais significativa;
- Atendendo às características mecânicas dos equipamentos instalados e por imposição do Dono de Obra, considerou-se no dimensionamento das sapatas para todas as combinações GEO, que a base das mesmas permanece em contacto com o terreno de fundação.

Conclui-se, também, que a estrutura se pode classificar como estrutura “Non-Sway”, tendo assim sido possível proceder-se a uma análise elástica de 1ª ordem.

Neste Projeto foram necessários adquirir conhecimentos relacionados ao *software* “*Robot Structural Analysis*”, que consistem em:

- Definição de tipos de análises (dinâmicas, não lineares, etc.);
- Determinação dos parâmetros necessários ao dimensionamento dos elementos metálicos (comprimentos de encurvadura, de bambeamento, momentos críticos, fatores de interação, etc.);
- Outros parâmetros necessários ao cálculo dos elementos de betão armado (plintos e sapatas);

- Definição das características geotécnicas do terreno de fundação com base no resultado das sondagens;
- Dimensionamento de ligações metálicas aparafusadas e soldadas;
- Análises de tensões em placas.

De salientar que durante a realização deste trabalho foi concebida uma Tabela de Cálculo em Excel, que reúne toda a informação necessária ao dimensionamento de secções e elementos metálicos e resume as disposições de segurança descritas no Eurocódigo 3 parte 1, fundamental no dimensionamento da estrutura estudada.

Foram também utilizados outros *softwares* auxiliares dos quais se destacam: “*SemiComp+*”, “*A3C*”, “*LTBeam*”, “*LTBeamN*” e “*Gala Reinforcement*”.

Por fim, salientar que o *software* “*AdvanceSteel*”, usado no modelo digital da Estrutura e mais aprofundadamente nos modelos das ligações metálicas em 3D, apresenta um potencial enorme em projetos de estruturas metálicas.

Espera-se num futuro próximo aprofundar outros conhecimentos relacionados os seguintes temas:

- Análises não lineares;
- Utilização de elementos em aço leve (LSF – *Light Steel Frame*);
- Aplicação de outros *softwares* tais como o “*AdvanceConcrete*”, o “*Revit*”, bem como a implementação da metodologia BIM.

Referências Bibliográficas

- AD 390: *Lateral Torsional Buckling of channels in accordance with EN 1993-1-1*. (n.d.). SCI - The Steel Construction Institute .
- Anexo F (Informativo) - ENV 1993-1-1 *Encurvadura lateral*. (1993).
- ARBED GROUP - *Profil Arbed, Edition 3-2001*. (n.d.).
- Camara, J. N. (2014/2015). *Folhas de apoio às aulas da unidade curricular Estruturas de Betão I*. IST - Instituto Superior Técnico.
- Camara, J. N., & Correia, A. G. (n.d.). *Notas sobre fundações de edifícios*. IST - Instituto Superior Técnico.
- Costa, A. (2013/2014). *Folhas de apoio às aulas da unidade curricular de Estruturas de Betão II*. IST - Instituto Superior Técnico.
- Elastic critical moment for lateral torsional buckling*. (2008). NCCI.
- EN 1993-2: *Eurocode 3 - Design of steel structures, Part 2: Steel bridges*. (2006).
- Gardner, L., & Nethercot, D. A. (2005). *Designers' Guide to EN 1993-1-1: Eurocode 3 - Design of steel structures*. SCI.
- IEA - International Energy Agency . (2009). *Cement Technology Roadmap 2009 - Carbon emissions reductions up to 2050*.
- NP EN 10025-2: *Produtos laminados a quente de aços de construção. Parte 2: Condições técnicas de fornecimento para aços de construção não ligados*. (n.d.).
- NP EN 1990: *Eurocódigo 0 - Bases para o projeto de estruturas*. (2009).
- NP EN 1991-1- 4: *Eurocódigo 1 - Acções em Estruturas, Parte 1-4: Acções Gerais – Acções do vento*. (2010).
- NP EN 1991-1-1: *Eurocódigo 1 - Acções em Estruturas, Parte 1-1: Acções Gerais*. (2009). Comité Europeu de Normalização.
- NP EN 1991-1-5: *Eurocódigo 1 - Acções em Estruturas, Parte 1-5: Acções Gerais - Acções Térmicas*. (2010).
- NP EN 1992-1-1: *Eurocódigo 2 - Projecto de estruturas de betão, Parte 1-1:Regras Gerais e regras para edifícios*. (2010).

- NP EN 1993-1- 1: Eurocódigo 3 - Projecto de estruturas em aço, Parte 1-1: Regras gerais e regras para Edifícios. (2010).
- NP EN 1993-1- 8: Eurocódigo 3 - Projecto de estruturas em aço, Parte 1-8: Projecto de ligações. (2010).
- NP EN 1997-1: Eurocódigo 7 - Projecto geotécnico, Parte 1: Regras gerais. (2010).
- NP EN 1998-1: Eurocódigo 8 - Projecto de estruturas para resistência aos sismos, Parte 1:Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios . (2010).
- NV 65 – Règles definissant les effets de la neige et du vent sur les constructions et annexes. (2000).
- Silva, L. S. (2014). *Design of Steel Buildings - Basis of Design, a case study building*. European Commission - Joint Research Centre.
- Silva, L. S., & Santiago, A. (2003). *Manual de Ligações Metálicas*. CMM.
- Simões, R. (2005). *Manual de dimensionamento de estruturas metálicas*. CMM.
- Simões, R. (2014). *Design os Steel Buildings - Design of Members*. European Commission - Joint Research Centre.
- Simões, R., & Abecasis, T. (2010). *Seminário Eurocódigos Estruturais - Eurocódigo 3: Projecto de Estruturas de Aço, Parte 1-8: Projecto de Ligações* . LNEC, CMM.
- Vindima, P. M. (2012). *Estabilidade em vigas metálicas: Cálculo de momentos críticos*. Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa.
- Viseu, J. S. (2014). *Apontamentos do curso de formação de introdução à NP EN 1993-1-1:2010*. ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Viseu, J. S. (2014). *Apontamentos do curso de formação de introdução à NP EN 1993-1-8:2010*. ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Viseu, J. S. (2014/2015). *Folhas da unidade curricular de Projeto de Estruturas*. ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Wald, F. (2014). *Design of Steel Buildings - Bolts, welds, column base*. European Commission - Joint Research Centre.
- Weynand, D. K., & Jaspart, P. J.-P. (2014). *Design of Steel Buildings - Design of Structural Steel Joints*. European Commission - Joint Research Centre.

ANEXOS

Índice de Anexos

ANEXO I – Pré-dimensionamento da Escora	203
ANEXO II – Plataforma Secundária	207
ANEXO III – Diagonais – Painel Horizontal Inferior do Tramo Inclinado.....	211
ANEXO IV – Travessas Secundárias – Painel Horizontal Inferior do Tramo Inclinado	217
ANEXO V – Diagonais – Painel Horizontal Superior do Tramo Horizontal	221
ANEXO VI – Travessas – Painel Horizontal Superior do Tramo Horizontal.....	225
ANEXO VII – Diagonais – Painel Vertical	237
ANEXO VIII – Prumos – Painel Vertical.....	241
ANEXO IX – Diagonais – Passerelle	245
ANEXO X – Diagonais – Painel Horizontal Inferior do Tramo Horizontal.....	249
ANEXO XI – Cordões – Tramo Horizontal	253
ANEXO XII – Diagonais – Escora	261
ANEXO XIII – Quadros Rígidos	267
ANEXO XIV – Ligação Cobre Juntas – Cordão da Escora	275
ANEXO XV – Ligação Base do Pilar com Plintos	299
ANEXO XVI – Plintos.....	311
ANEXO XVII – Sapatas	329
ANEXO XVIII – Catálogo Quadricula Metálica.....	357
ANEXO XIX – Ficha Técnica HILTI - HY200-A HIT-V.....	367

ANEXO I – Pré-dimensionamento da Escora

As forças transmitidas pelo quadro rígido à escora são:

- Forças Verticais $1,35 \times (7,76 + 4,32 + 2,70) + 1,5 \times (21,87 + 6,75) = 62,89 \text{ kN}$
- Forças Horizontais $1,5 \times 7,83 = 11,75 \text{ kN}$

Nas figuras e tabelas seguintes indicam-se os elementos referentes ao estudo realizado.

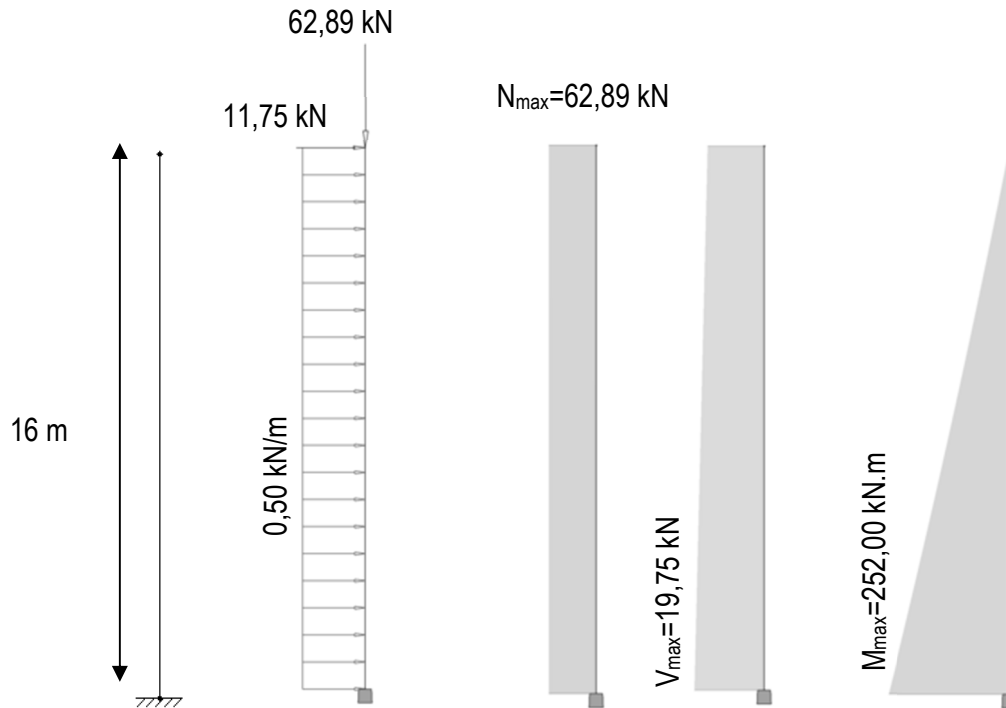


Figura 1 – Escora – Modelo Estrutural, Ações e Diagramas de Esforços (Eixo y-y)

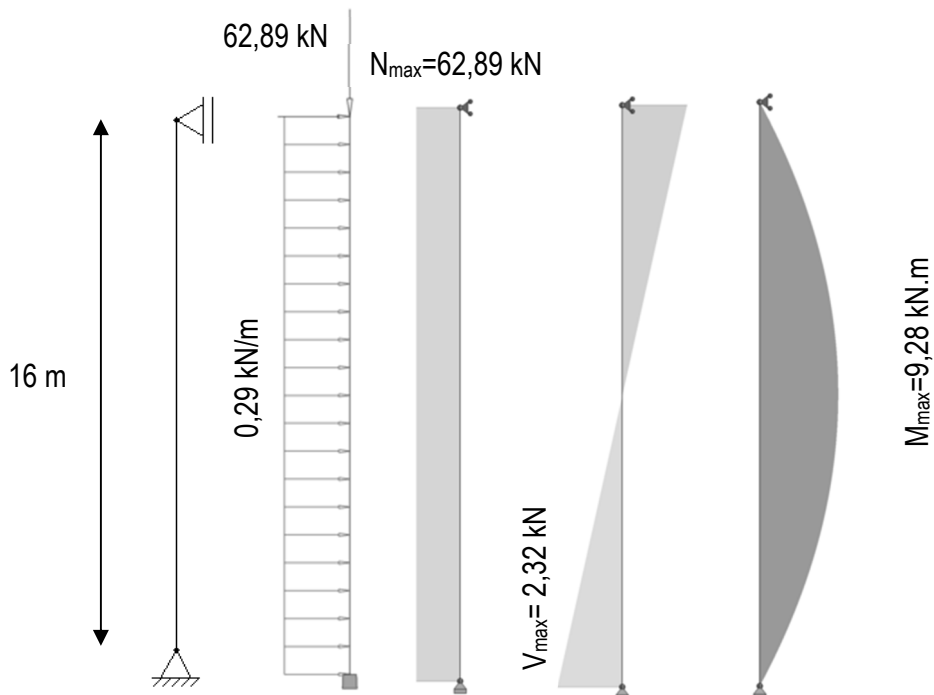


Figura 2 – Escora – Modelo Estrutural, Ações e Diagramas de Esforços (Eixo x-x)

Tabela 1 – Esforços Axiais Máximos devidos a M_z

Barra	$M_{Ed,z}$ (kN.m)	Distância entre Cordões	$N_{Ed,z}$ (kN)	$N_{Ed,y}$ (kN)	$N_{Ed,Max}$ (kN)
Cordões	201,60	1,05	192,00	62,89	254,89

Tabela 2 – Envolvente dos Esforços de Cálculo e Comprimento de Encurvadura

Barra	$M_{Ed,y}$ (kN.m)	$N_{Ed,Res}$ (kN)	L_{cr} (m)
Cordões	9,28	254,89	16,00

Recorrendo aos ábacos das Figuras 3 e 4, optou-se para os cordões da escora o perfil HEB240.

Colunas-Viga – Encurvadura por Flexão Composta ($N+M_y$) – $L_{cr,y}=16$ m – Aço S235

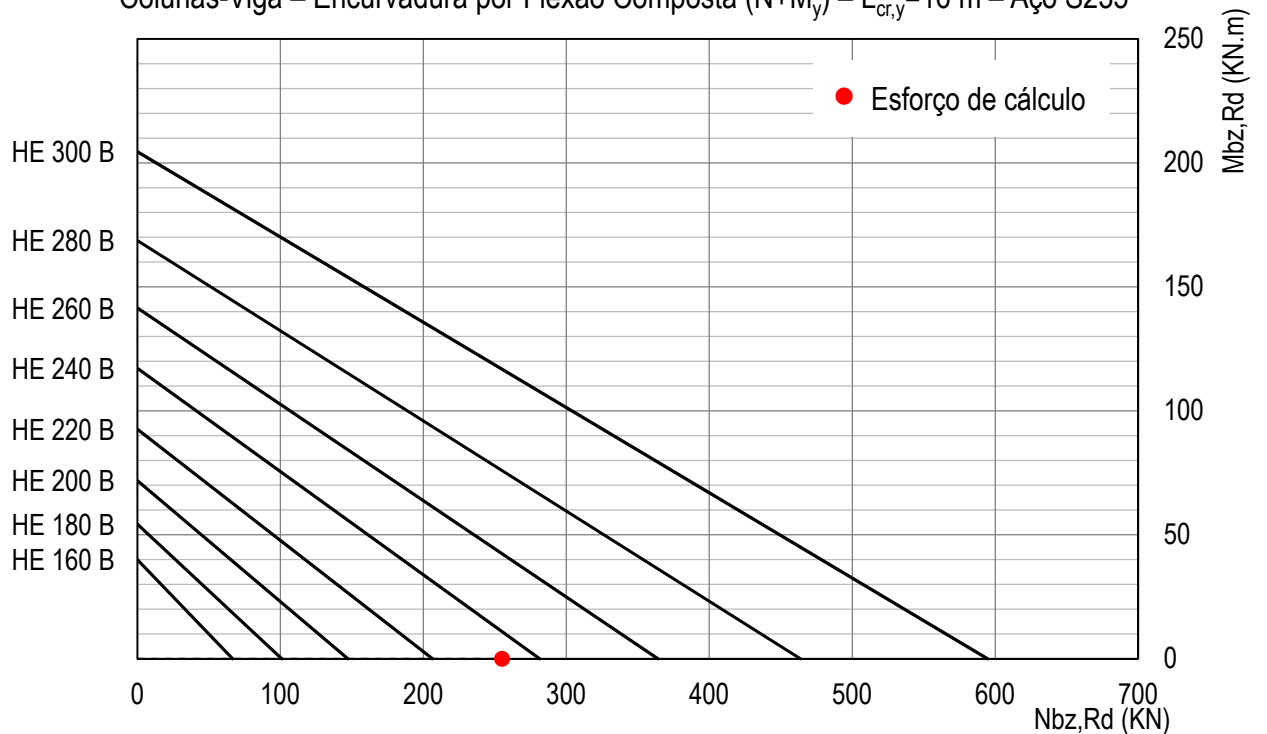


Figura 3 – Ábaco de Pré-dimensionamento dos Cordões (Eixo z-z)

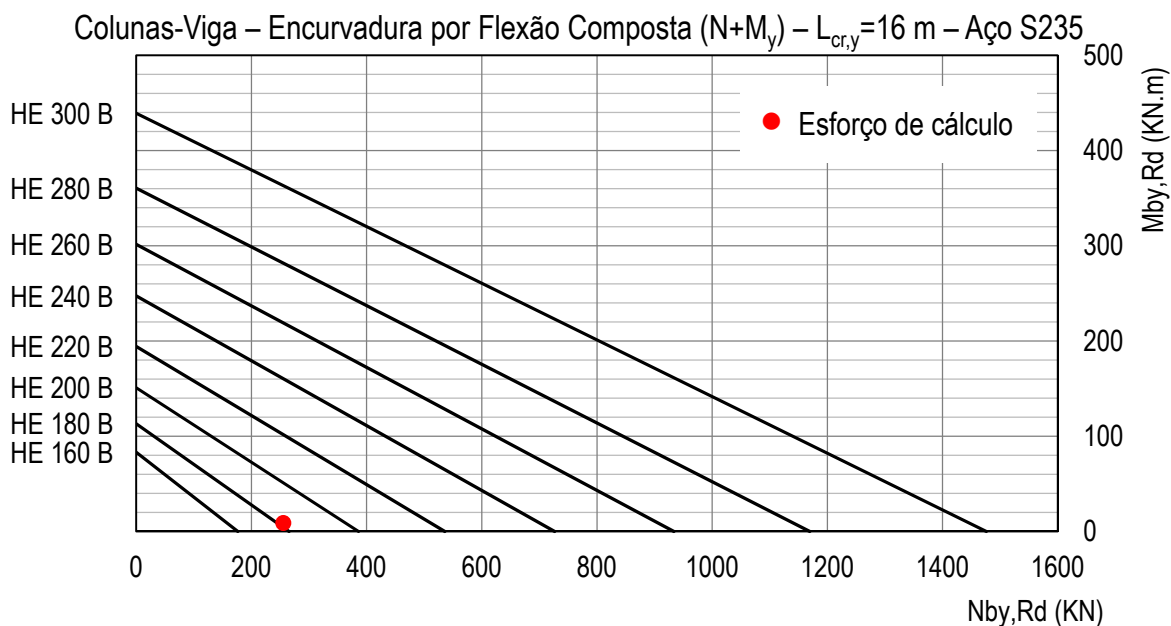


Figura 4 – Ábaco de Pré-dimensionamento dos Cordões (Eixo y-y)

Em relação às barras interiores foi seguida a mesma metodologia do pilar.

Tabela 3 – Esforços de Compressão e Comprimentos de Encurvadura.

	$N_{Ed,max}$ (kN)	$L_{cr,y}$ (m)	$L_{cr,z}$ (m)
Diagonais	27,93	1,50	1,50

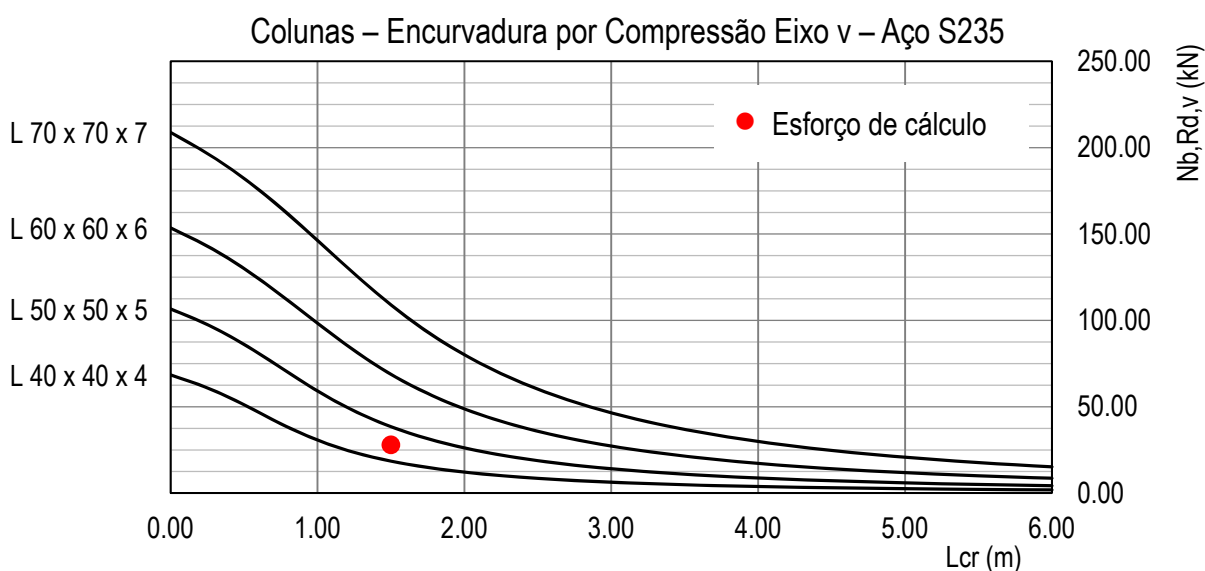


Figura 5 – Ábaco de Encurvadura por compressão

Constata-se que os perfis mais adequados para estas barras são L50x5.

ANEXO II – Plataforma Secundária

As barras da Plataforma Secundária são constituídas pelos perfis indicados na tabela seguinte.

Tabela 4 – Características Elásticas

Perfil	A cm ²	I _y cm ⁴	W _{el.y} cm ³	W _{pl.y} cm ³	i _y cm	A _{vz} cm ²	I _z cm ⁴	W _{el.z} cm ³	W _{pl.z} cm ³	i _z cm	A _{vy} cm ²
UNP 100	13,5	206	41,2	49	3,91	6,46	29,3	8,49	16,2	1,47	7,04
HEB 100	26,0	450	89,9	104	4,16	9,04	167	33,5	51,4	2,53	450
L 40 x 4	3,08	7,09	-	-	1,21	-	1,86	-	-	0,78	-

Na Tabela 5 indicam-se os esforços de cálculo que serviram para o dimensionamento das barras mais solicitadas.

Tabela 5 – Esforços de Cálculo

Barra nº Perfil	Combinação Condicionante	Secções (m)	N _{c,Ed} (kN)	V _{y,Ed} (kN)	V _{z,Ed} (kN)	M _{y,Ed} (kN.m)	M _{z,Ed} (kN.m)
Travessa 147 UNP 100	ELU.Pass(T+) Wyy	si - 0,00	0,13	-0,08	0,19	-0,14	-0,04
		sm - 0,53	0,13	-0,08	0,14	-0,06	0,00
		sf - 1,05	0,13	-0,08	0,08	0,00	0,04
Cordão 238 HEB 100	ELU.Pass(T-) Wyy	si - 0,00	0,28	0,06	-1,84	2,18	0,04
		sm - 1,06	0,28	0,06	-2,05	0,12	-0,02
		sf - 2,12	0,33	0,06	-2,33	-2,23	-0,04
Prumo 236 HEB 100	ELU.Pass(T-) Wyy	si - 0,00	4,83	0,01	-3,41	1,84	0,11
		sm - 0,58	4,94	0,01	-3,41	-0,17	0,11
		sf - 1,15	5,06	0,01	-3,41	-2,19	0,13
Longarina 402 UNP 100	ELU.Pass(T-) Wyy	si - 0,00	0,10	0,00	0,05	0,00	0,00
		sm - 1,06	0,10	0,00	-0,06	-0,01	0,00
		sf - 2,12	0,10	0,00	-0,04	0,00	0,00
Consola 404 UNP 100	ELU.Pass(T-) Wyy	si - 0,00	0,09	0,01	-0,12	0,00	0,00
		sm - 0,45	0,09	0,01	-0,16	-0,06	0,00
		sf - 0,90	0,09	0,01	-0,21	-0,14	-0,01
Diagonal 840 CAEP 40	ELU.Pass(T-) Wyy	si - 0,00	4,38	-0,01	-0,01	0,00	0,00
		sm - 0,75	4,38	0,00	0,00	0,00	0,00
		sf - 1,49	4,38	0,01	0,01	0,00	0,00

Nomenclatura:

si – Secção Inicial;
sm – Secção a Meio Vão;
sf – Secção Final.

Colunas-Viga – Encurvadura por Flexão Composta ($N+M_y$) $L_{cr,y}=2,12$ m
Aço S235

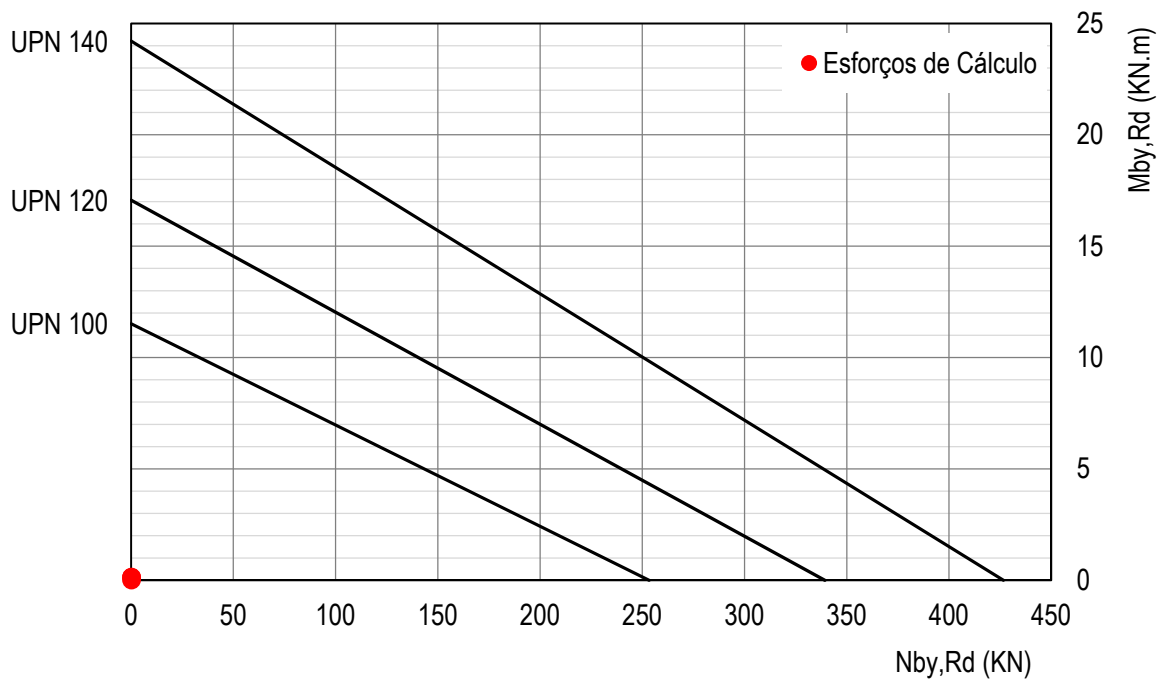


Figura 6 – Ábaco de Dimensionamento

Colunas-Viga – Encurvadura por Flexão Composta ($N+M_y$) $L_{cr,y}=2,12$ m
Aço S235

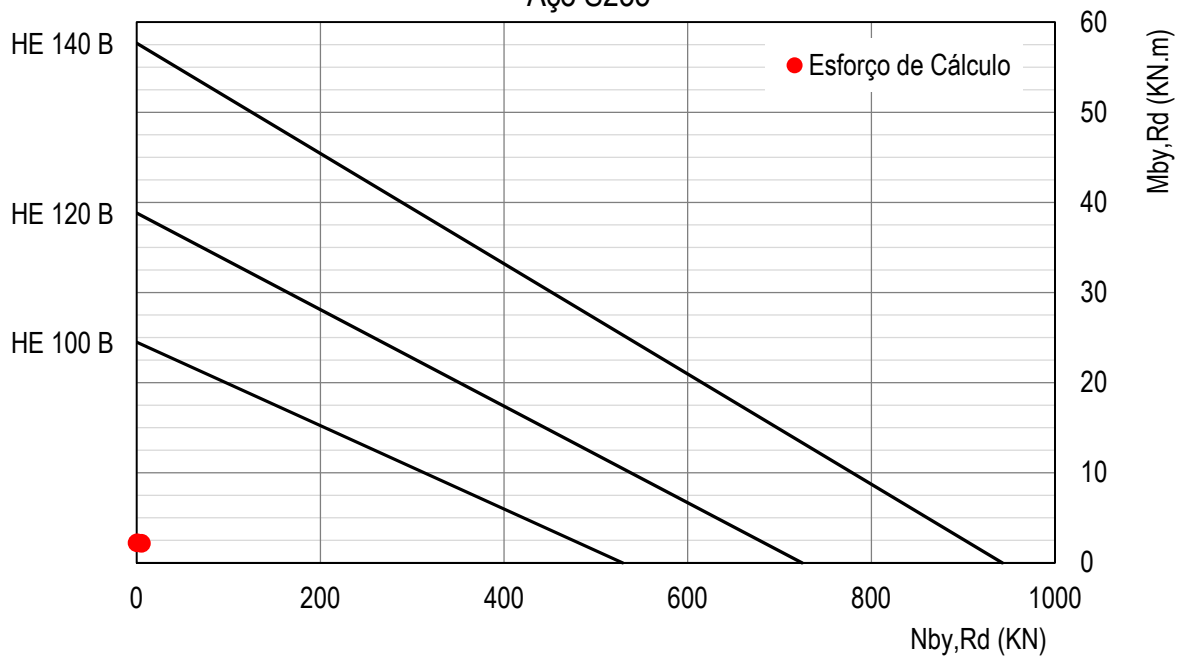


Figura 7 – Ábaco de Dimensionamento

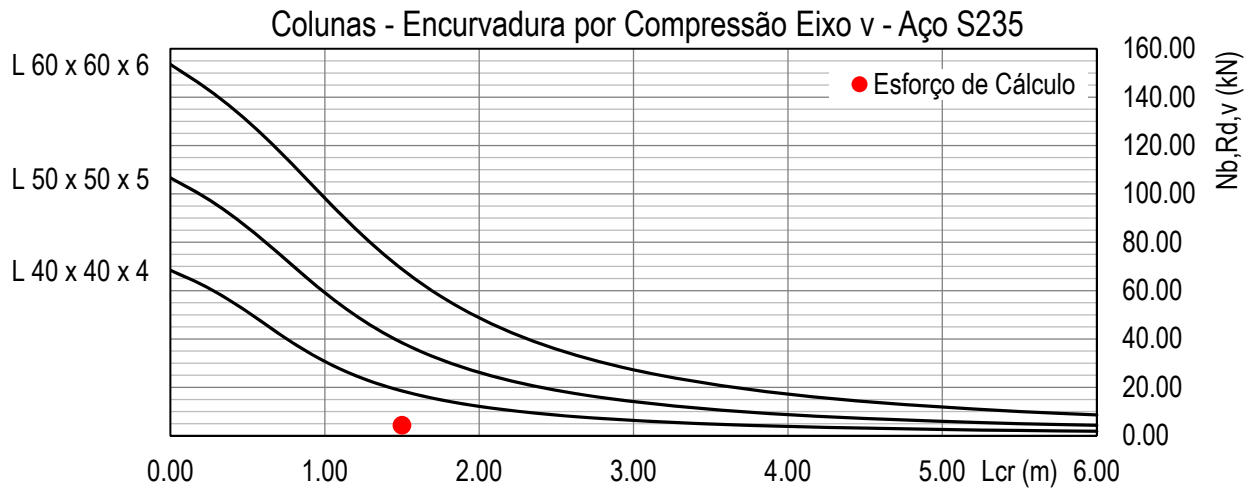


Figura 8 – Ábaco de Dimensionamento

Os ábacos anteriores mostram que os perfis adotados verificam a segurança, tendo sido adotados em alguns casos perfis com secções superiores dado o ambiente agressivo a que estão expostos.

ANEXO III – Diagonais – Painel Horizontal Inferior do Tramo Inclinado

Todas as diagonais do painel horizontal inferior são constituídas por cantoneiras L 40x4 sendo a mais esforçada a barra 746.

→ **Procedimento 1 – “Robot”**

A gráfico seguinte inclui os resultados mais relevantes referente ao dimensionamento realizado no “Robot”.

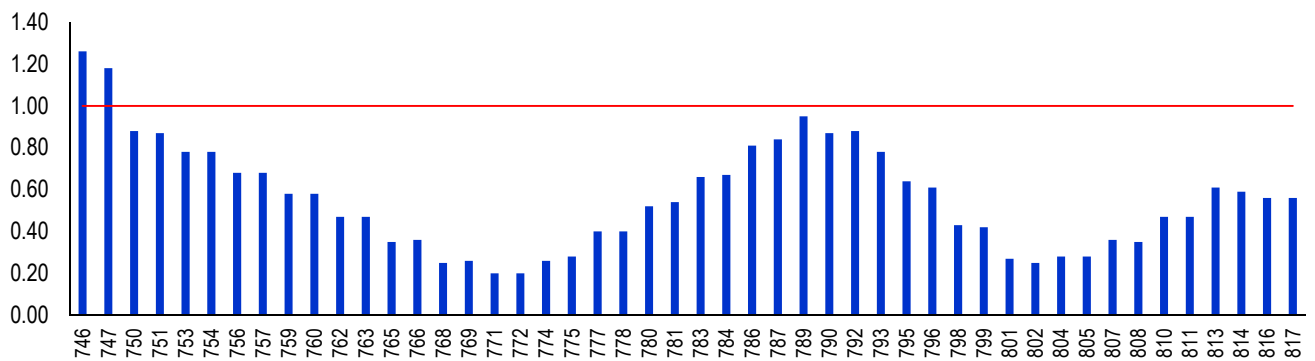


Figura 9 – Rácios – Diagonais L40x4

Nota: No gráfico verifica-se que apenas duas das barras têm rácios superiores à unidade tendo-se adotado L50x5.

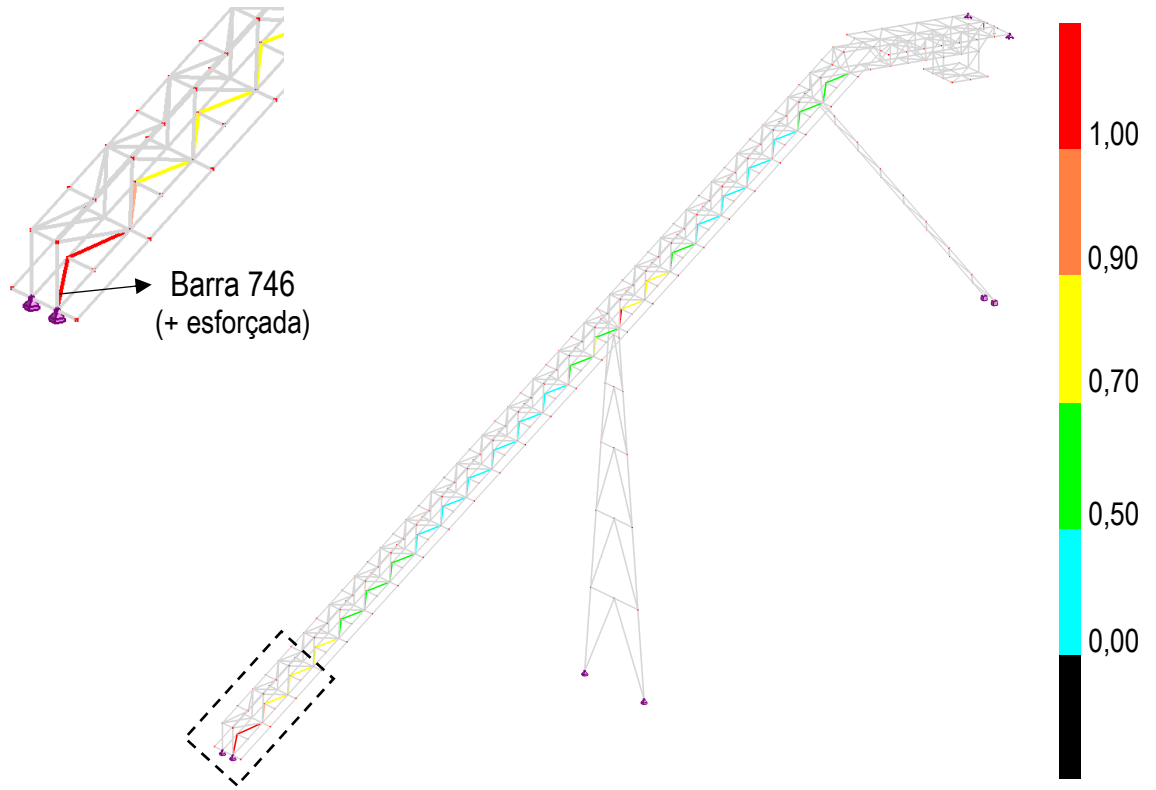


Figura 10 – Rácios das barras

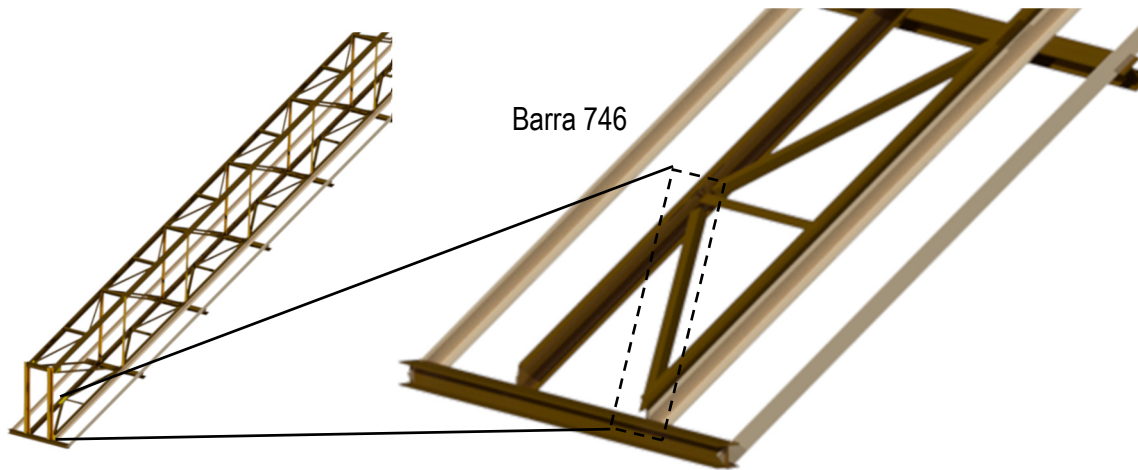


Figura 11 – Localização da Diagonal mais solicitada

STEEL DESIGN

CODE: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 746 C - Diagonais_746 **POINT:** 1
L = 0.00 m

COORDINATE: x = 0.00

LOADS:

Governing Load Case: 134 ELU.Sismo1y+ (1+2)*1.00+4*0.80+19*-1.00

MATERIAL:

S 235 (S 235) $f_y = 235.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: CAEP 50x5

h=5.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=5.0 cm	Ay=2.50 cm ²	Az=2.50 cm ²	Ax=4.80 cm ²
tw=0.5 cm	Iy=17.38 cm ⁴	Iz=4.55 cm ⁴	Ix=0.40 cm ⁴
tf=0.5 cm	Wely=4.91 cm ³	Welz=2.28 cm ³	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 16.92 kN

Nc,Rd = 112.86 kN

Nb,Rd = 31.06 kN

Class of section = 2



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

L_y = 1.56 m Lam_y = 0.87
L_{cr,y} = 1.56 m X_y = 0.68
L_{amy} = 82.15



About z axis:

L_z = 1.56 m Lam_z = 1.71
L_{cr,z} = 1.56 m X_z = 0.28
L_{amz} = 160.61

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

N,Ed/Nc,Rd = 0.15 < 1.00 (6.2.4.(1))

Global stability check of member:

Lambda_y = 82.15 < Lambda_{max} = 210.00 Lambda_z = 160.61 < Lambda_{max} = 210.00

STABLE

N,Ed/Nb,Rd = 0.54 < 1.00 (6.3.1.1.(1))

Section OK !!!

Figura 12 - Verificação da Diagonal mais solicitada

→ Procedimento 2 – Tabela de Cálculo

Na folha de cálculo indicam-se os procedimentos utilizados na verificação da diagonal mais solicitada.

RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO

Grupo: Diagonais PH Inf	Combinação: - ELU.Sismo1y+	$\gamma_{M0} = 1.00$
Barra: 746	Perfil: L 50 x 50 x 5	$\gamma_{M1} = 1.00$
L= 1.56 m	Material: S 235 $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$	$\gamma_{M2} = 1.25$

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ELÁSTICAS DA SECÇÃO



$h =$ 50 mm	$A =$ 4.80 cm ²	$A_{wv} =$ 2.50 cm ²
$b =$ 50 mm	$I_u =$ 17.40 cm ⁴	$I_v =$ 4.54 cm ⁴
$t_w =$ 5 mm	$i_u =$ 1.90 cm	$i_v =$ 0.97 cm
$t_f =$ 5 mm	$W_{el,u} =$ 3.05 cm ³	$W_{el,v} =$ 3.05 cm ³
	$W_{pl,u} =$ 5.68 cm ³	$W_{pl,v} =$ 5.68 cm ³
Classe à Flexão 2	Classe à Compressão 2	Classe adoptada 2

ESFORÇOS DE CÁLCULO E RESISTENTES

$N_{T,Ed} =$ 0.00 kN	$N_{T,Rd} =$ - kN	$N_{b,u,Rd} =$ 76.43 kN
$N_{C,Ed} =$ 16.92 kN	$N_{C,Rd} =$ 112.80 kN	$N_{b,v,Rd} =$ 30.97 kN

PARAMETROS DE ENCURVADURA

Eixo y-y		Eixo z-z	
$L_u =$ 1.56 m	$\bar{\lambda}_{u} =$ 0.87	$L_v =$ 1.56 m	$\bar{\lambda}_{v} =$ 1.71
$L_{cr,u} =$ 1.56 m	$\chi_u =$ 0.68	$L_{cr,v} =$ 1.56 m	$\chi_v =$ 0.27
$\lambda_{y,u} =$ 82.11		$\lambda_{y,v} =$ 160.82	

VERIFICAÇÕES

[NP EN 1993-1-1]

Resistência da Secção

Tração

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = - \leq 1 \quad (6.2.3)$$

Compressão

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.15 \leq 1 \quad \text{OK} \quad (6.2.4)$$

Resistência à Encurvadura por Compressão

$$\lambda_{y,u} = 82.11 \leq \lambda_{y,max} = 210 \quad \lambda_{y,v} = 160.82 \leq \lambda_{y,max} = 210$$

$$N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.55 \leq 1 \quad \text{OK} \quad (6.3.1.1)$$

CONCLUSÃO: A barra cumpre todos os critérios de segurança!

◆ Comparação dos Resultados

Ambas as análises conduzem a rácios da mesma ordem de grandeza (0,54/0,55).

ANEXO IV – Travessas Secundárias – Paineis Horizontal Inferior do Tramo Inclinado

Procedimentos de dimensionamento:

→ **Procedimento 1 – “Robot”**

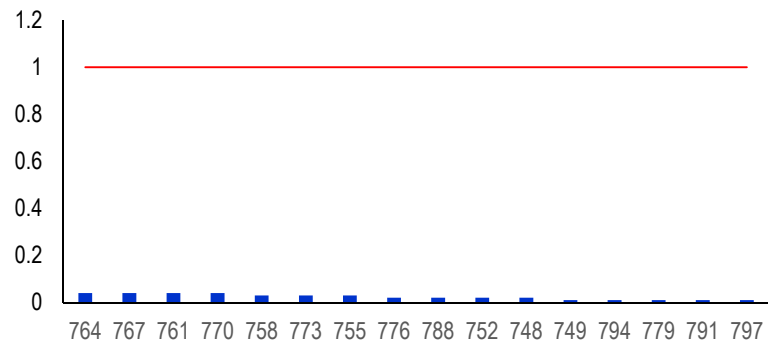


Figura 13 – Rácio – Travessas Secundárias – L40x4

Tabela 6 – Dimensionamento das Travessas

Member	Section	Material	Lav	Laz	Ratio	Case
764 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.04	35 ELU.Pass(T-) Wzz
767 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.04	34 ELU.Pass(T+) Wz
761 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.04	35 ELU.Pass(T-) Wzz
770 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.04	34 ELU.Pass(T+) Wz
758 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.03	35 ELU.Pass(T-) Wzz
773 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.03	34 ELU.Pass(T+) Wz
755 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.03	35 ELU.Pass(T-) Wzz
776 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.02	34 ELU.Pass(T+) Wz
788 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.02	29 ELU.Pass(T-) Wy
752 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.02	35 ELU.Pass(T-) Wzz
748 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.02	19 0.3*X-1*Y
749 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.01	131 ELU Sismo1x+-
794 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.01	35 ELU.Pass(T-) Wzz
779 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.01	34 ELU.Pass(T+) Wz
791 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.01	31 ELU.Pass(T-) Wyy
797 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.01	34 ELU.Pass(T+) Wz
812 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.01	64 ELU Temp+ Wy
800 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.01	34 ELU.Pass(T+) Wz
815 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.01	65 ELU Temp- Wy
785 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.01	27 ELU Pass(T-) Wxx
809 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.01	70 ELU Temp+ Wzz
803 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.01	36 ELU Pass(T+) Wx
806 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.01	72 ELU Temp+ Wxp
782 C-Diagonais	OK CAEP 40x4	S235	69.20	135.15	0.01	14 Spectral Direction

STEEL DESIGN

CODE: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 764 C - Diagonais_764 **POINT:** 3
L = 1.05 m

COORDINATE: x = 1.00

LOADS:

Governing Load Case: 35 ELU.Pass(T-) Wzz (1+2)*1.35+4*1.20+3*1.50+(11+5)*0.90

MATERIAL:

S 235 (S 235) $f_y = 235.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: CAEP 40x4

h=4.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=4.0 cm	Ay=1.60 cm ²	Az=1.60 cm ²	Ax=3.08 cm ²
tw=0.4 cm	Iy=7.09 cm ⁴	Iz=1.86 cm ⁴	Ix=0.16 cm ⁴
tf=0.4 cm	Wely=2.50 cm ³	Welz=1.18 cm ³	

-INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 1.06 kN

Nc,Rd = 72.35 kN

Nb,Rd = 26.45 kN

Class of section = 3



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

Ly = 1.05 m Lam_y = 0.74
Lcr,y = 1.05 m Xy = 0.76
Lamy = 69.20



About z axis:

Lz = 1.05 m Lam_z = 1.44
Lcr,z = 1.05 m Xz = 0.37
Lamz = 135.15

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.01 < 1.00$ (6.2.4.(1))

Global stability check of member:

$\lambda_{y} = 69.20 < \lambda_{max} = 210.00$ $\lambda_{z} = 135.15 < \lambda_{max} = 210.00$

STABLE

$N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.04 < 1.00$ (6.3.1.1.(1))

Section OK !!!

Figura 14 – Verificação da Diagonal mais solicitada

→ Procedimento 2 – Tabela de Cálculo

RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO

Grupo: Travessas Int PH Inf	Combinação: - ELU.Pass(T-) Wzz	$\gamma_{M0} = 1.00$
Barra: 764	Perfil: L 40 x 40 x 4	$\gamma_{M1} = 1.00$
L= 1.05 m	Material: S 235 $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$	$\gamma_{M2} = 1.25$

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ELÁSTICAS DA SECÇÃO



$h =$ 40 mm	$A =$ 3.08 cm ²	$A_{vv} =$ 1.60 cm ²
$b =$ 40 mm	$I_u =$ 7.09 cm ⁴	$I_v =$ 1.86 cm ⁴
$t_w =$ 4 mm	$i_u =$ 1.21 cm	$i_v =$ 0.78 cm
$t_f =$ 4 mm	$W_{el,u} =$ 1.55 cm ³	$W_{el,v} =$ 1.55 cm ³
	$W_{pl,u} =$ 2.91 cm ³	$W_{pl,v} =$ 2.91 cm ³
Classe à Flexão 2	Classe à Compressão 2	Classe adoptada 2

ESFORÇOS DE CÁLCULO E RESISTENTES

$N_{T,Ed} =$ 0.00 kN	$N_{T,Rd} =$ - kN	$N_{b,u,Rd} =$ 46.73 kN
$N_{C,Ed} =$ 1.06 kN	$N_{C,Rd} =$ 72.38 kN	$N_{b,v,Rd} =$ 26.62 kN

PARAMETROS DE ENCURVADURA

Eixo y-y		Eixo z-z	
$L_u =$ 1.05 m	$\bar{\lambda}_{u,v} =$ 0.92	$L_v =$ 1.05 m	$\bar{\lambda}_v =$ 1.43
$L_{cr,u} =$ 1.05 m	$\chi_u =$ 0.65	$L_{cr,v} =$ 1.05 m	$\chi_v =$ 0.37
$\lambda_{s,u} =$ 86.78		$\lambda_{s,v} =$ 134.62	

VERIFICAÇÕES

[NP EN 1993-1-1]

Resistência da Secção

Tração

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = - \leq 1 \quad (6.2.3)$$

Compressão

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.01 \leq 1 \quad \text{OK} \quad (6.2.4)$$

Resistência à Encurvadura por Compressão

$$\lambda_{s,u} = 86.78 \leq \lambda_{s,max} = 210 \quad \lambda_{s,v} = 134.62 \leq \lambda_{s,max} = 210$$

$$N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.04 \leq 1 \quad \text{OK} \quad (6.3.1.1)$$

CONCLUSÃO: A barra cumpre todos os critérios de segurança!

Figura 15 - Relatório barra nº 764

◆ Comparação de resultados

O perfil adotado está de acordo com os critérios de segurança regulamentares.

ANEXO V – Diagonais – Painel Horizontal Superior do Tramo Horizontal

Procedimentos de dimensionamento:

→ Procedimento 1 – “Robot”

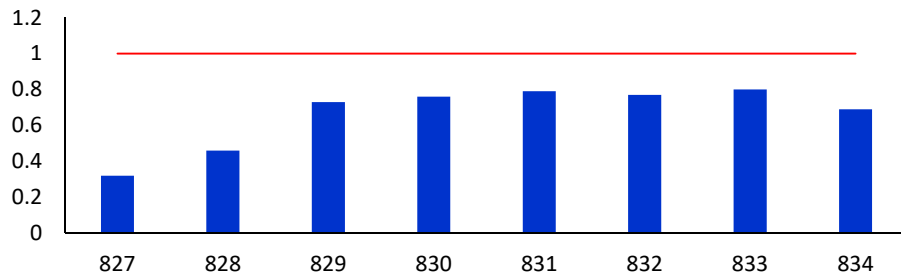


Figura 16– Rácios – Diagonais L50x5

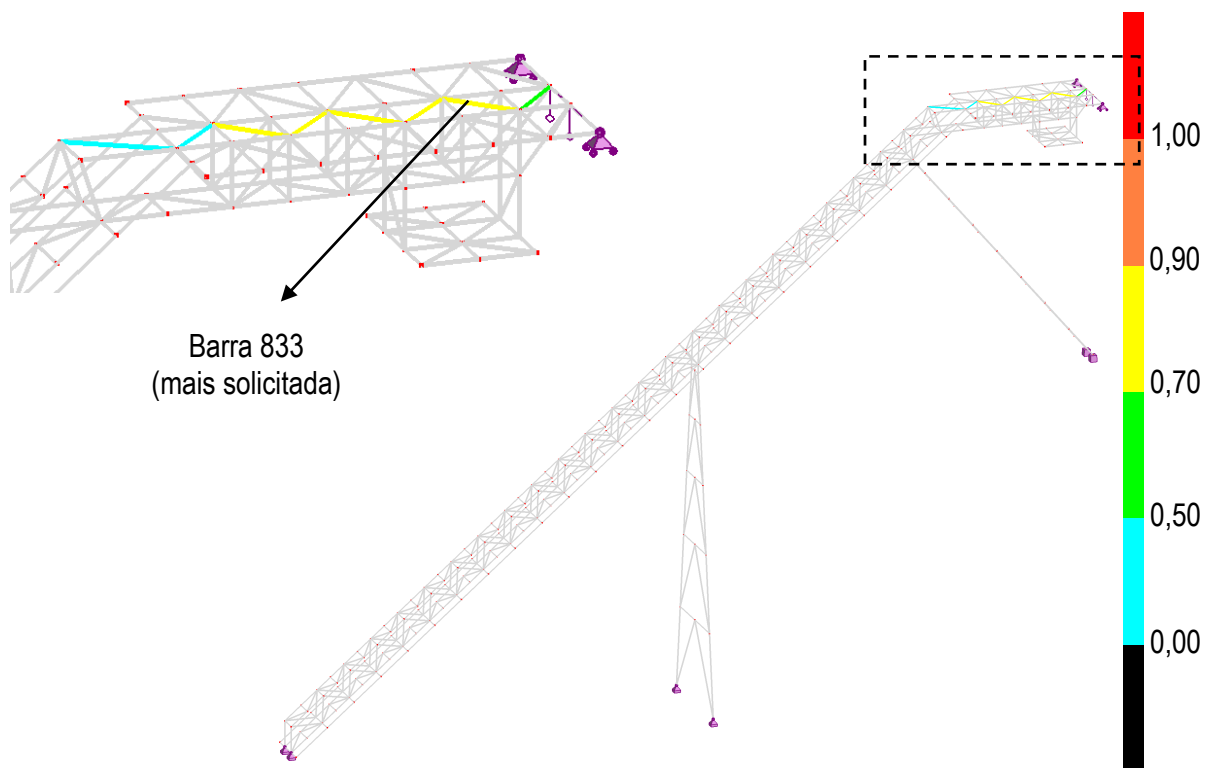


Figura 17 – Rácio das Barras

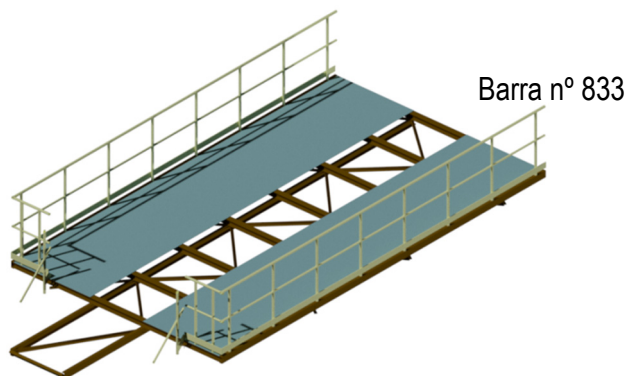


Figura 18 – Localização da Diagonal mais solicitada

STEEL DESIGN

CODE: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 833 C - Diagonais_833 **POINT:** 1

COORDINATE: x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 77 ELU.Sismo1y-- (1+2)*1.00+4*0.80+18*-1.00

MATERIAL:

S 235 (S 235) $f_y = 235.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: CAEP 50x5

h=5.0 cm

gM0=1.00

gM1=1.00

b=5.0 cm

Ay=2.50 cm²

Az=2.50 cm²

Ax=4.80 cm²

tw=0.5 cm

Iy=17.38 cm⁴

Iz=4.55 cm⁴

Ix=0.40 cm⁴

tf=0.5 cm

Wely=4.91 cm³

Welz=2.28 cm³

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 26.81 kN

Nc,Rd = 112.86 kN

Nb,Rd = 33.59 kN

Class of section = 2



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

L_y = 1.49 m

L_{am,y} = 0.84

L_{cr,y} = 1.49 m

X_y = 0.70

L_{amy} = 78.43



About z axis:

L_z = 1.49 m

L_{am,z} = 1.63

L_{cr,z} = 1.49 m

X_z = 0.30

L_{amz} = 153.34

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

N,Ed/Nc,Rd = 0.24 < 1.00 (6.2.4.(1))

Global stability check of member:

L_{amda,y} = 78.43 < L_{amda,max} = 210.00

L_{amda,z} = 153.34 < L_{amda,max} = 210.00

STABLE

N,Ed/Nb,Rd = 0.80 < 1.00 (6.3.1.1.(1))

Section OK !!!

Figura 19 – Verificação da Diagonal mais solicitada

→ Procedimento 2 – Tabela de Cálculo

RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO

Grupo: Diagonais PH Sup TH	Combinação: - ELU.Sismo1y-	$\gamma_{M0} = 1.00$
Barra: 833	Perfil: L 50 x 50 x 5	$\gamma_{M1} = 1.00$
L= 1.49	Material: S 235 $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$	$\gamma_{M2} = 1.25$

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ELÁSTICAS DA SECÇÃO



h=	50 mm	A=	4.80 cm ²	A _w =	2.50 cm ²
b=	50 mm	I _y =	17.40 cm ⁴	I _y =	4.54 cm ⁴
t _w =	5 mm	i _y =	1.90 cm	i _y =	0.97 cm
t _f =	5 mm	W _{el,y} =	3.05 cm ³	W _{el,y} =	3.05 cm ³
		W _{pl,y} =	5.68 cm ³	W _{pl,y} =	5.68 cm ³
Classe à Flexão	2	Classe à Compressão	2	Classe adoptada	2

ESFORÇOS DE CÁLCULO E RESISTENTES

N _{T,Ed} =	0.00 kN	N _{T,Rd} =	- kN	N _{b,u,Rd} =	79.24 kN
N _{C,Ed} =	26.81 kN	N _{C,Rd} =	112.80 kN	N _{b,v,Rd} =	33.47 kN

PARAMETROS DE ENCURVADURA

Eixo y-y		Eixo z-z	
L _y =	1.49 m	L _y =	1.49 m
L _{cr,y} =	1.49 m	L _{cr,y} =	1.49 m
λ _y =	78.42	λ _y =	153.61
$\bar{\lambda}_{y,u}$ =	0.84	$\bar{\lambda}_{y,v}$ =	1.64
χ _y =	0.70	χ _y =	0.30

VERIFICAÇÕES

[NP EN 1993-1-1]

Resistência da Secção

Tração

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = - \leq 1 \quad (6.2.3)$$

Compressão

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.24 \leq 1 \quad \text{OK} \quad (6.2.4)$$

Resistência à Encurvadura por Compressão

$$\lambda_{y,u} = 78.42 \leq \lambda_{y,max} = 210 \quad \lambda_{y,v} = 153.61 \leq \lambda_{y,max} = 210$$

$$N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.80 \leq 1 \quad \text{OK} \quad (6.3.1.1)$$

CONCLUSÃO: A barra cumpre todos os critérios de segurança!

Figura 20 - Relatório barra nº 833

◆ Comparação de resultados

Os resultados obtidos apresentam um rácio de 0,80 em ambos os procedimentos.

ANEXO VI – Travessas – Painel Horizontal Superior do Tramo Horizontal

Estas barras apresentam o mesmo comportamento das travessas do painel horizontal inferior do Tramo Inclinado e foram dimensionadas pelos critérios das barras sujeitas à flexão composta com tração e ou compressão. .

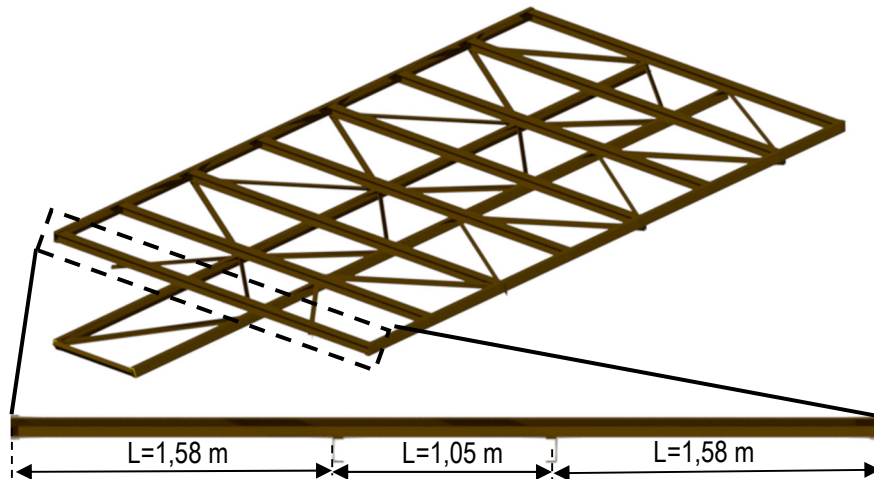


Figura 21 – Comprimento das barras

Na Figura 22 indica-se a posição da travessa mais solicitada que é formada por 3 barras.

Nas tabelas seguintes indicam-se todas as fases do dimensionamento efetuado.

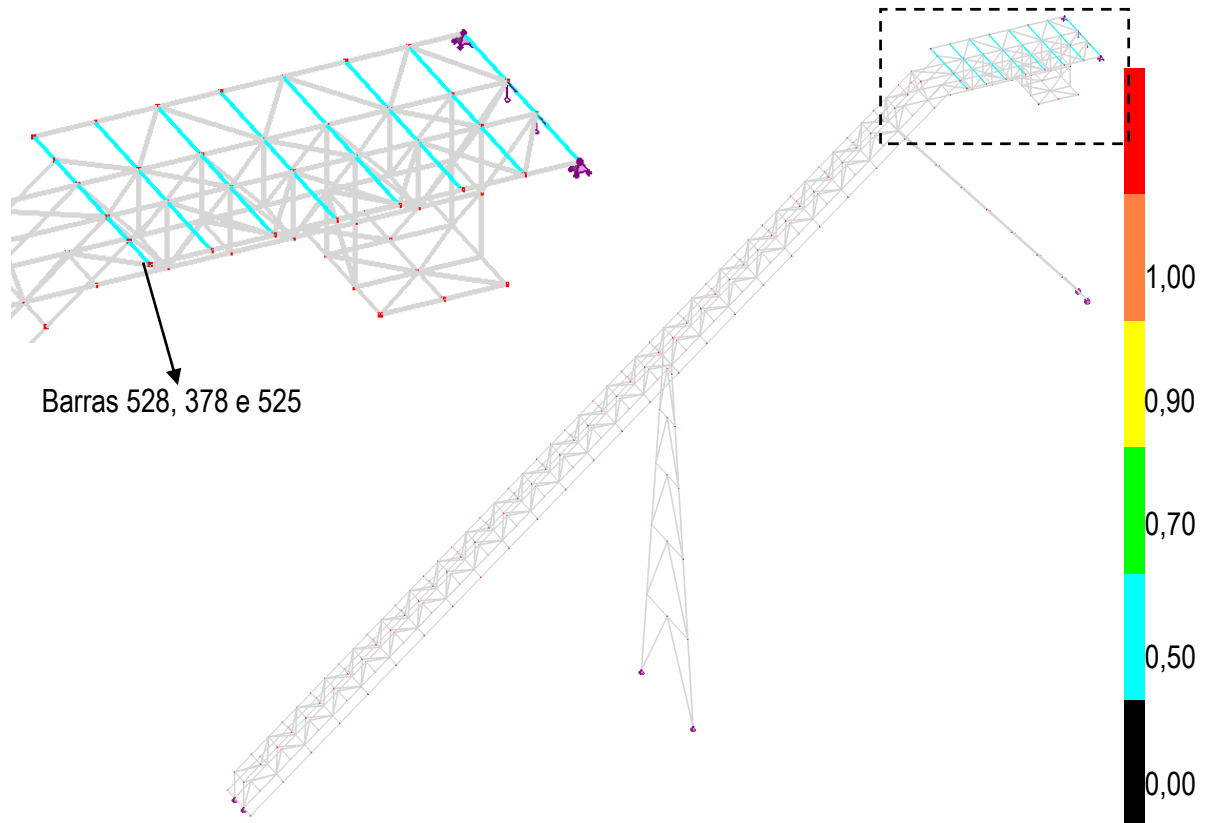


Figura 22 – Rádios das Barras

Tabela 7 – Características Elásticas

Perfil	A cm ²	I _y cm ⁴	W _{el.y} cm ³	W _{pl.y} cm ³	i _y cm	A _{vy} cm ²	I _z cm ⁴	W _{el.z} cm ³	W _{pl.z} cm ³	i _z cm	A _{vz} cm ²	I _t cm ⁴	I _w cm ⁶
HEB 100	26,04	449,5	89,91	104,2	4,16	17,0	167,3	33,45	51,42	2,53	9,04	9,25	3375

Tabela 8 – Esforços de Cálculo

Barra nº	Combinação	Secção (m)	V _{y,Ed} (kN)	V _{z,Ed} (kN)	M _{y,Ed} (kN.m)	M _{z,Ed} (kN.m)	
528	ELU.Pass(T+) Wy	si -	0,00	-18,18	-15,13	-0,51	-0,22
		sm -	0,79	-2,05	-2,68	-2,41	1,19
		sf -	1,58	2,44	2,98	-0,01	-0,68
378	ELU.Pass(T+) Wy	si -	0,00	-0,65	1,05	-0,09	-0,40
		sm -	0,53	-0,65	-0,69	0,00	-0,06
		sf -	1,05	-0,65	-2,42	-0,82	0,29
525	ELU.Pass(T+) Wy	si -	0,00	-0,80	-3,07	-0,01	-0,16
		sm -	0,79	-0,74	1,46	-2,45	-0,13
		sf -	1,58	8,53	7,48	-0,45	-0,04

→ Procedimento 1 – Tabela de Cálculo

Tabela 9 – Verificação ao Esforço Transverso.

Barra	Ecurvadura devido ao ET $\frac{h_w/t_w \leq 72\varepsilon/\eta}$	Eixo y-y		Eixo z-z	
		$V_{pl,y,Rd}$ kN	Rácio $V_{y,Ed}/V_{pl,y,Rd}$	$V_{pl,z,Rd}$ kN	Rácio $V_{z,Ed}/V_{pl,z,Rd}$
528	13 < 60 Dispensa	271,35	0,07	122,65	0,12
378	13 < 60 Dispensa	271,35	0,00	122,65	0,02
525	13 < 60 Dispensa	271,35	0,03	122,65	0,06

Tabela 10 – Verificação à Flexão Desviada com Esforço Transverso

Barra	Eixo y-y			Eixo z-z			Flexão Desviada		
	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} < 0,5$	$M_{pl,y,Rd}$ kN.m	Rácio $\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,y,Rd}} < 0,5$	$M_{pl,z,Rd}$ kN.m	Rácio $\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}}$	α	β	Rácio
528	V_{Ed} sem significado	24,49	0,10	V_{Ed} sem significado	12,08	0,10	2	1	0,11
378	V_{Ed} sem significado	24,49	0,03	V_{Ed} sem significado	12,08	0,03	2	1	0,03
525	V_{Ed} sem significado	24,49	0,10	V_{Ed} sem significado	12,08	0,01	2	1	0,02

A determinação dos momentos críticos foi feita com base nos diagramas abaixo indicados.

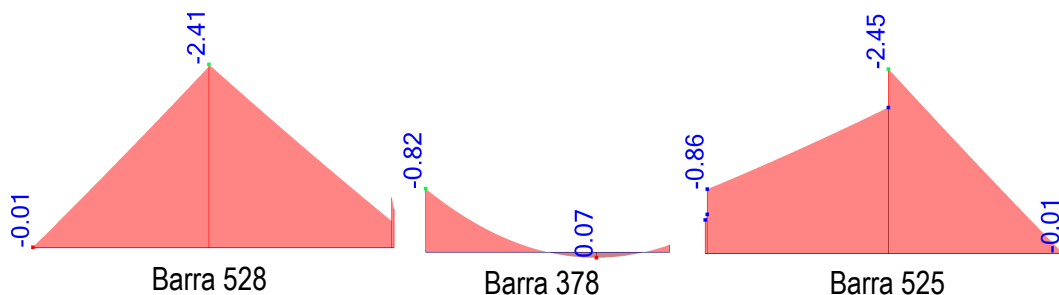


Figura 23 – Diagrama de Momentos $M_{y,Ed}$ (kN.m)

Tabela 11 – Momentos Críticos determinados analiticamente

Barra	L_{cr} (m)	Rotação em z-z	Permite empenamento	KL	K_w	C_1	C_2	C_3	M_{cr} kN.m
528	1,58	sim	sim	1,0	1,0	1,57	1,27	2,64	94,51
378	1,05	sim	sim	1,0	1,0	1,29	1,56	0,75	246,49
525	1,58	sim	sim	1,0	1,0	1,57	1,27	2,64	94,51

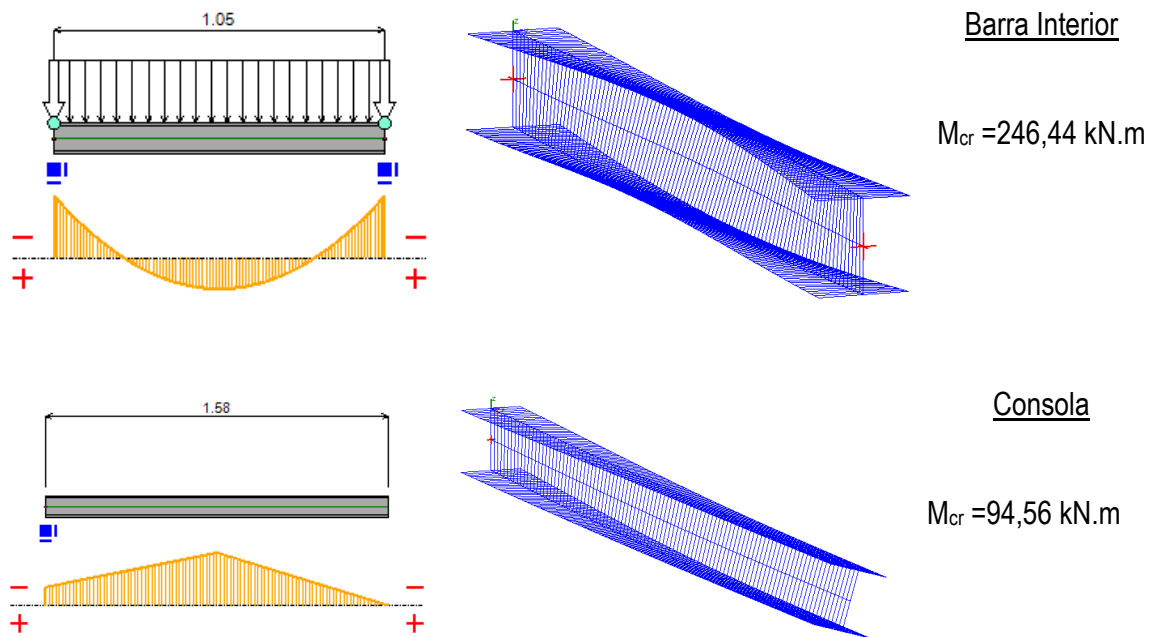


Figura 24 – Momentos Críticos – “LTBeamN”

Os momentos críticos calculados no software “LTBeamN” tendo como base as restrições impostas nas secções dos apoios conduziram a valores da mesma ordem de grandeza dos determinados analiticamente.

Tabela 12 – Verificação ao Bambeamento

Barra	L_{cr} (m)	M_{cr} (kN.m)	$\bar{\lambda}_{LT}$	χ_{LT}	$M_{b,y,Rd}$ (kN.m)	Rácio
528	1,58	94,51	0,51	0,88	21,55	0,11
378	1,05	246,49	0,32	0,96	23,47	0,03
525	1,58	94,51	0,51	0,88	21,55	0,11

→ Procedimento 2 – “SemiComp+”

SEMCOMP Cross-Section Check

Choose method EN 1993-1-1 (elastic Resistance)

$N_{Ed} = 0.000$ kN	$V_{z,Ed} = -15.130$ kN	Perform cross-section checks
$M_{y,Ed} = -2.450$ kNm	$V_{y,Ed} = -18.180$ kN	
$M_{z,Ed} = 1.190$ kNm		

Reference values for classification

$c/t_w = 9.333$	$\alpha_{web} = 0.500$	$\psi_{web} = -1.000$	$\varepsilon = 1.000$
$c/t_f = 3.500$	$\alpha_{flange} = 1.000$	$\psi_{flange} = 0.604$	$\varepsilon_{mod,c/3/4} = NaN$

Boundaries

	Class 1	Class 2	Class 3
$c/t_w \leq c/t_{w,max} =$	72.000	83.000	124.000
$c/t_f \leq c/t_{f,max} =$	9.000	10.000	14.378

Cross section class = 1

Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations.

$M_{pl,y,Rd} = 24.49$ kNm	$M_{pl,z,Rd} = 12.08$ kNm	$V_{pl,z,Rd} = 122.60$ kN
$M_{el,y,Rd} = 21.13$ kNm	$M_{el,z,Rd} = 7.86$ kNm	$V_{pl,y,Rd} = 271.35$ kN
$N_{Rd} = 611.85$ kN		

EN 1993-1-1, 6.2.3 / 6.2.4
Tension or compression

$U_{(6.5)(6.9)} = 0.000 \leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.5
Bending moment

$U_{strong A} = 0.100 \leq 1,0$ ok

$U_{weak A} = 0.098 \leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.6
Shear

$U_{z-plastic} = 0.123 \leq 1,0$ ok	$U_{y-plastic} = 0.067 \leq 1,0$ ok
$U_{z-elastic} = 0.215 \leq 1,0$ ok	$U_{y-elastic} = 0.100 \leq 1,0$ ok
$h_w/t_w = 14.667 \leq 72\varepsilon/\eta = 60.000$ ok	

EN 1993-1-1, 6.2.9
Bending and axial force

$U_{(6.41)(6.42)} = 0.108 \leq 1,0$ ok $UF = 0.161$

Comment: Shear Interaction is not considered within this software tool. If the utilization for shear is higher that 0.5, an additional check for shear interaction is necessary.

Figura 25 – Verificação da Secção – Barra 525 (consola)

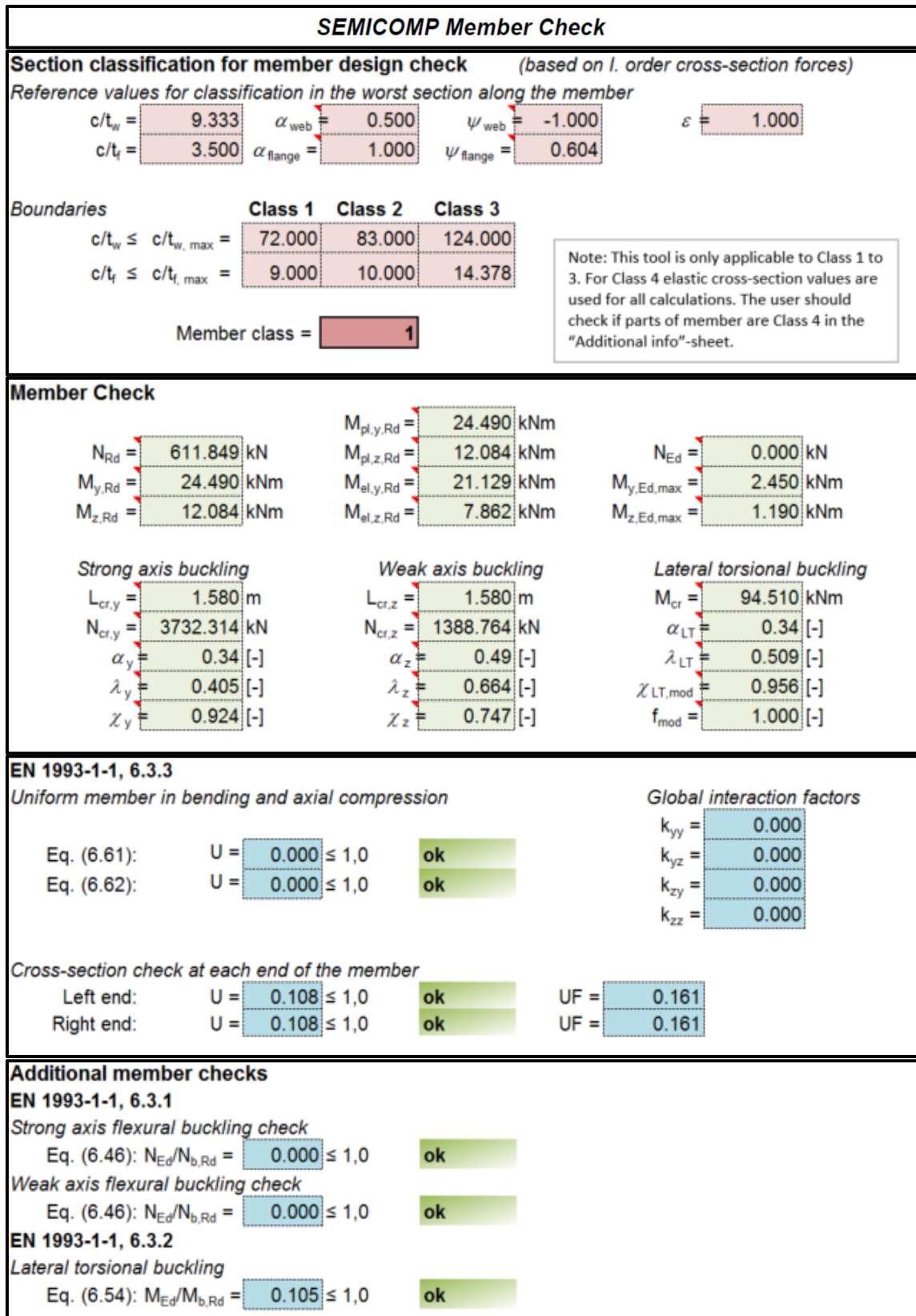


Figura 26 – Verificação do Elemento – Barra 525 (consola)

SEMICOMP Cross-Section Check

Choose method EN 1993-1-1 (elastic Resistance)

$N_{Ed} = 0.000$ kN	$V_{z,Ed} = -2.420$ kN	Perform cross-section checks
$M_{y,Ed} = -0.820$ kNm	$V_{y,Ed} = -0.650$ kN	
$M_{z,Ed} = -0.400$ kNm		

Reference values for classification

$c/t_w = 9.333$	$\alpha_{web} = 0.500$	$\psi_{web} = -1.000$	$\varepsilon = 1.000$
$c/t_f = 3.500$	$\alpha_{flange} = 1.000$	$\psi_{flange} = 0.604$	$\varepsilon_{mod,c/3/4} = \text{NaN}$

Boundaries

	Class 1	Class 2	Class 3
$c/t_w \leq c/t_{w, max} =$	72.000	83.000	124.000
$c/t_f \leq c/t_{f, max} =$	9.000	10.000	14.378

Cross section class = 1

Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations.

$M_{pl,y,Rd} = 24.49$ kNm	$M_{pl,z,Rd} = 12.08$ kNm	$V_{pl,z,Rd} = 122.60$ kN
$M_{el,y,Rd} = 21.13$ kNm	$M_{el,z,Rd} = 7.86$ kNm	$V_{pl,y,Rd} = 271.35$ kN
$N_{Rd} = 611.85$ kN		

EN 1993-1-1, 6.2.3 / 6.2.4
Tension or compression
 $U_{(6.5)/(6.9)} = 0.000 \leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.5
Bending moment
 $U_{strong A} = 0.033 \leq 1,0$ ok
 $U_{weak A} = 0.033 \leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.6
Shear
 $U_{z-plastic} = 0.020 \leq 1,0$ ok $U_{y-plastic} = 0.002 \leq 1,0$ ok
 $U_{z-elastic} = 0.034 \leq 1,0$ ok $U_{y-elastic} = 0.004 \leq 1,0$ ok
 $h_w/t_w = 14.667 \leq 72\varepsilon/\eta = 60.000$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.9
Bending and axial force
 $U_{(6.41)/(6.42)} = 0.034 \leq 1,0$ ok $UF = 0.054$

Comment: Shear Interaction is not considered within this software tool. If the utilization for shear is higher that 0.5, an additional check for shear interaction is necessary.

Figura 27 – Verificação da Secção – Barra 378 (Troço interior)

SEMICOMP Member Check

Section classification for member design check (based on 1. order cross-section forces)
Reference values for classification in the worst section along the member

$c/t_w = 9.333$	$\alpha_{web} = 0.500$	$\psi_{web} = -1.000$	$\epsilon = 1.000$
$c/t_f = 3.500$	$\alpha_{flange} = 1.000$	$\psi_{flange} = 0.603$	

Boundaries

	Class 1	Class 2	Class 3
$c/t_w \leq c/t_{w, max} =$	72.000	83.000	124.000
$c/t_f \leq c/t_{f, max} =$	9.000	10.000	14.379

Member class = **1**

Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations. The user should check if parts of member are Class 4 in the "Additional info"-sheet.

Member Check

$N_{Rd} = 611.849$ kN	$M_{pl,y,Rd} = 24.490$ kNm	$N_{Ed} = 0.000$ kN
$M_{y,Rd} = 24.490$ kNm	$M_{pl,z,Rd} = 12.084$ kNm	$M_{y,Ed,max} = 0.820$ kNm
$M_{z,Rd} = 12.084$ kNm	$M_{el,y,Rd} = 21.129$ kNm	$M_{z,Ed,max} = 0.400$ kNm
	$M_{el,z,Rd} = 7.862$ kNm	

Strong axis buckling	Weak axis buckling	Lateral torsional buckling
$L_{cr,y} = 1.050$ m	$L_{cr,z} = 1.050$ m	$M_{cr} = 246.490$ kNm
$N_{cr,y} = 8451.110$ kN	$N_{cr,z} = 3144.590$ kN	$\alpha_{LT} = 0.34$ [-]
$\alpha_y = 0.34$ [-]	$\alpha_z = 0.49$ [-]	$\lambda_{LT} = 0.315$ [-]
$\lambda_y = 0.269$ [-]	$\lambda_z = 0.441$ [-]	$\chi_{LT,mod} = 1.000$ [-]
$\chi_y = 0.975$ [-]	$\chi_z = 0.875$ [-]	$f_{mod} = 1.000$ [-]

EN 1993-1-1, 6.3.3
Uniform member in bending and axial compression

Eq. (6.61): $U = 0.000 \leq 1,0$ ok	Global interaction factors
Eq. (6.62): $U = 0.000 \leq 1,0$ ok	

$k_{yy} = 0.000$
$k_{yz} = 0.000$
$k_{zy} = 0.000$
$k_{zz} = 0.000$

Cross-section check at each end of the member

Left end: $U = 0.034 \leq 1,0$ ok	UF = 0.054
Right end: $U = 0.034 \leq 1,0$ ok	UF = 0.054

Additional member checks

EN 1993-1-1, 6.3.1
Strong axis flexural buckling check
 Eq. (6.46): $N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.000 \leq 1,0$ **ok**

Weak axis flexural buckling check
 Eq. (6.46): $N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.000 \leq 1,0$ **ok**

EN 1993-1-1, 6.3.2
Lateral torsional buckling
 Eq. (6.54): $M_{Ed}/M_{b,Rd} = 0.033 \leq 1,0$ **ok**

Figura 28 – Verificação do Elemento – Barra 378 (Troço interior)

Comparação de Resultados

Tabela 13 – Secção Transversal - Barra 528 (Consola)

Estado Limite Último	Tabela de Cálculo	“SemiComp+”	Desvio
Esforço Transverso	y-y	0,07	0,07
	z-z	0,12	0,12
Flexão	y-y	0,10	0,10
	z-z	0,10	0,10
Flexão Desviada		0,11	0,11

Tabela 14 – Encurvadura Lateral - Barra nº 528 (Consola)

	Tabela de Cálculo	“SemiComp+”	Desvio
M_{cr} (kN.m)	94,51	94,51	-
$\bar{\lambda}_{LT}$	0,51	0,51	0,00
χ_{LT}	0,88	0,96 (*)	0,08
$M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd}$	0,11	0,11	0,00

Tabela 15 – Secção transversal - Barra nº 378 (Viga interior)

Estado Limite Último	Tabela de Cálculo	“SemiComp+”	Desvio
Esforço Transverso	y-y	0,00	0,00
	z-z	0,02	0,02
Flexão	y-y	0,03	0,03
	z-z	0,03	0,03
Flexão Desviada		0,03	0,03

Tabela 16 – Encurvadura Lateral - Barra nº 378 (Viga interior)

	Tabela de Cálculo	“SemiComp+”	Desvio
M_{cr} (kN.m)	246,49	246,49	0,00
$\bar{\lambda}_{LT}$	0,32	0,32	0,00
χ_{LT}	0,96	1,00 (*)	0,04
$M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd}$	0,03	0,03	0,04

(*) – Embora $\bar{\lambda}_{LT}$ sejam iguais nos 2 procedimentos o software “Semicomp+”, utiliza para a determinação do χ_{LT} “método detalhado”.

Flechas:

$$\text{Barra n}^\circ 528 \text{ (Consola)} \quad \delta_{adm} = \frac{2L}{250} = \frac{2 * 1,58}{250} = 0,0126 \text{ m} = 1,26 \text{ cm}$$

$$\text{Barra n}^\circ 391 \text{ (Troço interior)} \quad \delta_{adm} = \frac{L}{250} = \frac{1,05}{250} = 0,0042 \text{ m} = 0,42 \text{ cm}$$

Tabela 17 – Rácios

Barra n ^o	Combinação condicionante	δ_v (cm)	δ_{adm} (cm)	Rácio
528	ELS.Pass(T+) Wy	0,83	1,26	0,66
378	ELS.Pass(T+) Wy	0,06	0,42	0,14

♦ **Conclusão**

O perfil escolhido HEB 100 satisfaz as condições de segurança.

ANEXO VII – Diagonais – Painel Vertical

Procedimentos de dimensionamento:

→ Procedimento 1 – “Robot”

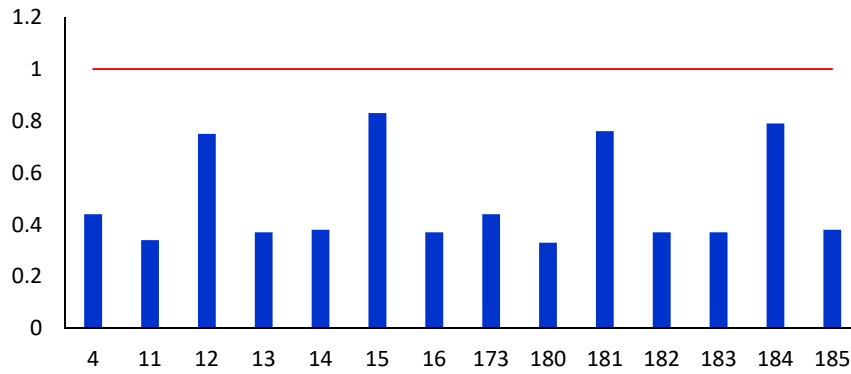


Figura 29 – Rácios – Diagonais L60x6

Na Figura 29 observa-se que a barra 15 é a que apresenta um rácio maior.

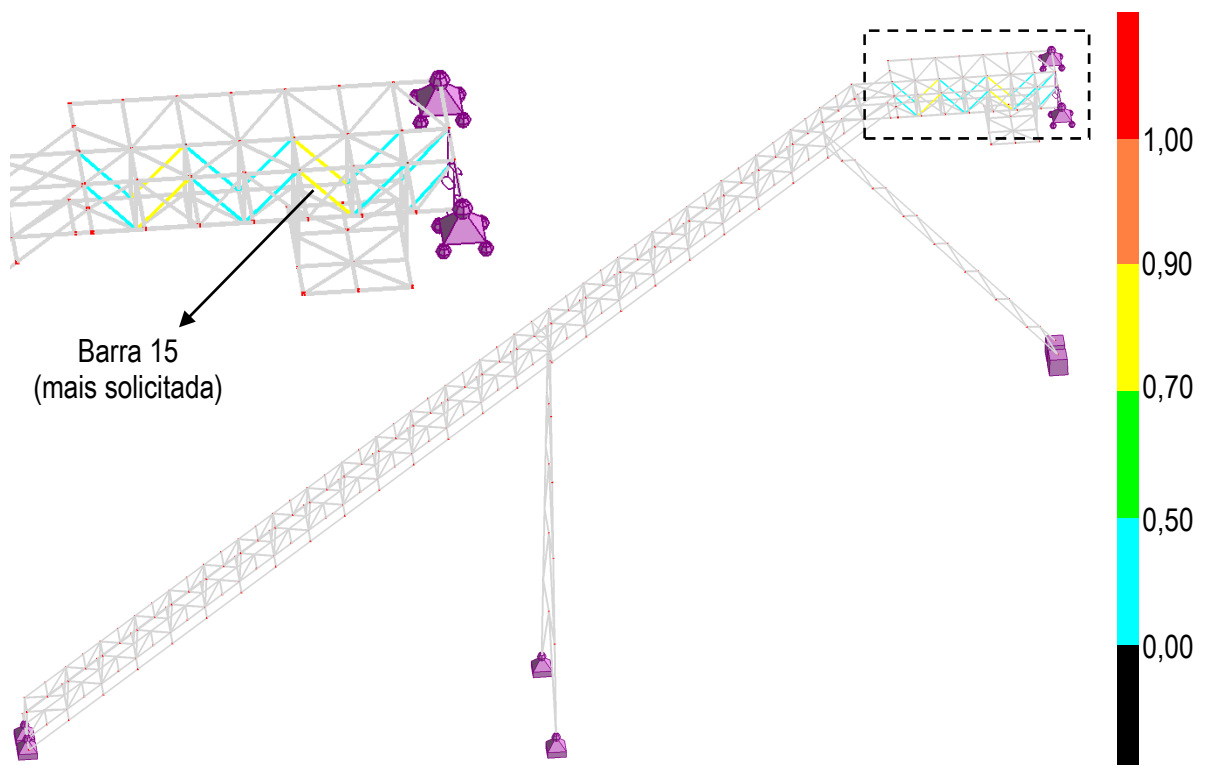


Figura 30 – Rácios das Barras

STEEL DESIGN

CODE: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 15 C - Diagonais_15 **POINT:** 3 **COORDINATE:** x = 1.00 L = 1.58 m

LOADS:

Governing Load Case: 31 ELU.Pass(T-) Wyy (1+2)*1.35+4*1.20+3*1.50+(9+5)*0.90

MATERIAL:

S 235 (S 235) $f_y = 235.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: CAEP 60x6

h=6.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=6.0 cm	Ay=3.60 cm ²	Az=3.60 cm ²	Ax=6.91 cm ²
tw=0.6 cm	Iy=36.14 cm ⁴	Iz=9.44 cm ⁴	Ix=0.82 cm ⁴
tf=0.6 cm	Wely=8.52 cm ³	Welz=3.95 cm ³	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 49.02 kN

Nc,Rd = 162.35 kN

Nb,Rd = 59.42 kN

Class of section = 2



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

$L_y = 1.58$ m $L_{m,y} = 0.73$
 $L_{cr,y} = 1.58$ m $X_y = 0.76$
 $L_{amy} = 69.02$



About z axis:

$L_z = 1.58$ m $L_{m,z} = 1.44$
 $L_{cr,z} = 1.58$ m $X_z = 0.37$
 $L_{amz} = 135.06$

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.30 < 1.00$ (6.2.4.(1))

Global stability check of member:

$Lambda_{y} = 69.02 < Lambda_{max} = 210.00$ $Lambda_{z} = 135.06 < Lambda_{max} = 210.00$

STABLE

$N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.82 < 1.00$ (6.3.1.1.(1))

Section OK !!!

Figura 31 – Verificação da Diagonal mais solicitada

RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO

Grupo: Diagonais PV TH	Combinação: - ELU.Pass(T-) Wyy	$\gamma_{M0} = 1.00$
Barra: 15	Perfil: L 60 x 60 x 6	$\gamma_{M1} = 1.00$
L= 1.58	Material: S 235 $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$	$\gamma_{M2} = 1.25$

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ELÁSTICAS DA SECÇÃO



$h =$ 60 mm	$A =$ 6.91 cm ²	$A_w =$ 3.60 cm ²
$b =$ 60 mm	$I_u =$ 36.20 cm ⁴	$I_v =$ 9.43 cm ⁴
$t_w =$ 6 mm	$i_u =$ 2.29 cm	$i_v =$ 1.17 cm
$t_f =$ 6 mm	$W_{el,u} =$ 5.29 cm ³	$W_{el,v} =$ 5.29 cm ³
	$W_{pl,u} =$ 9.82 cm ³	$W_{pl,v} =$ 9.82 cm ³
Classe à Flexão 2	Classe à Compressão 2	Classe adoptada 2

ESFORÇOS DE CÁLCULO E RESISTENTES

$N_{T,Ed} =$ 0.00 kN	$N_{T,Rd} =$ - kN	$N_{b,u,Rd} =$ 124.02 kN
$N_{C,Ed} =$ 49.02 kN	$N_{C,Rd} =$ 162.39 kN	$N_{b,v,Rd} =$ 59.43 kN

PARAMETROS DE ENCURVADURA

Eixo y-y		Eixo z-z	
$L_u =$ 1.58 m	$\bar{\lambda}_{y,u} =$ 0.73	$L_v =$ 1.58 m	$\bar{\lambda}_{z,v} =$ 1.44
$L_{cr,u} =$ 1.58 m	$\chi_u =$ 0.76	$L_{cr,v} =$ 1.58 m	$\chi_v =$ 0.37
$\lambda_{y,u} =$ 69.00		$\lambda_{z,v} =$ 135.04	

VERIFICAÇÕES

[NP EN 1993-1-1]

Resistência da Secção

Tração

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = - \leq 1 \quad (6.2.3)$$

Compressão

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.30 \leq 1 \quad \text{OK} \quad (6.2.4)$$

Resistência à Encurvadura por Compressão

$$\lambda_{y,u} = 69.00 \leq \lambda_{y,max} = 210 \quad \lambda_{z,v} = 135.04 \leq \lambda_{z,max} = 210$$

$$N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.82 \leq 1 \quad \text{OK} \quad (6.3.1.1)$$

CONCLUSÃO: A barra cumpre todos os critérios de segurança!

Figura 32 – Relatório barra nº 15

◆ Comparação de resultados

Os resultados obtidos pelos dois procedimentos são semelhantes.

ANEXO VIII – Prumos – Painel Vertical

Procedimentos de dimensionamento:

→ Procedimento 1 – “Robot”

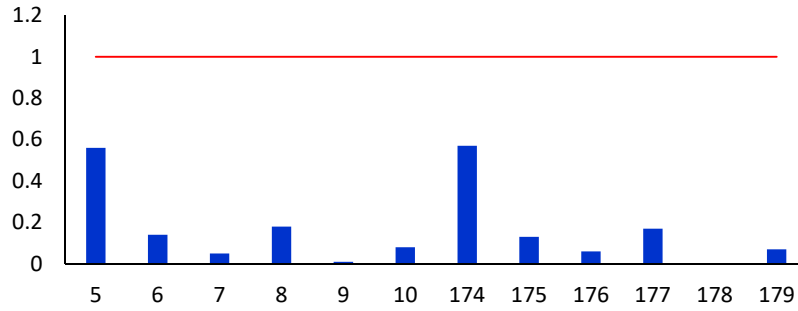


Figura 33 – Rácios – Prumos L60x6

Através da figura anterior verificou-se que a barra 174 é a que apresenta maior rácio.

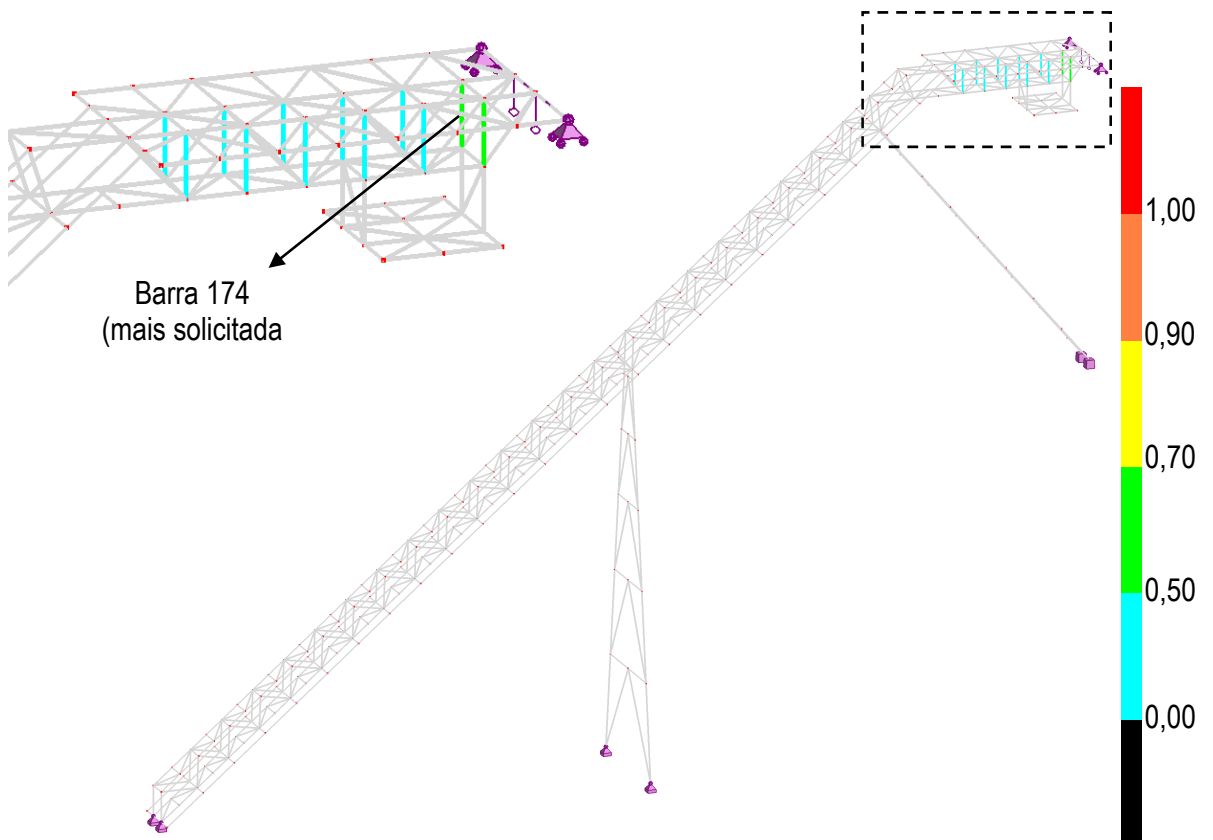


Figura 34 – Rácio das Barras

STEEL DESIGN

CODE: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.
ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 174 C - Diagonais_174 **POINT:** 1 **COORDINATE:** x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 29 ELU.Pass(T-) Wy (1+2)*1.35+4*1.20+3*1.50+(8+5)*0.90

MATERIAL:

S 235 (S 235) fy = 235.00 MPa



SECTION PARAMETERS: CAEP 60x6

h=6.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=6.0 cm	Ay=3.60 cm ²	Az=3.60 cm ²	Ax=6.91 cm ²
tw=0.6 cm	Iy=36.14 cm ⁴	Iz=9.44 cm ⁴	Ix=0.82 cm ⁴
tf=0.6 cm	Wely=8.52 cm ³	Welz=3.95 cm ³	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 51.83 kN

Nc,Rd = 162.35 kN

Nb,Rd = 90.26 kN

Class of section = 3



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

Ly = 1.17 m Lam_y = 0.54
Lcr,y = 1.17 m Xy = 0.86
Lamy = 51.15



About z axis:

Lz = 1.17 m Lam_z = 1.07
Lcr,z = 1.17 m Xz = 0.56
Lamz = 100.09

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

N,Ed/Nc,Rd = 0.32 < 1.00 (6.2.4.(1))

Global stability check of member:

Lambda,y = 51.15 < Lambda,max = 210.00 Lambda,z = 100.09 < Lambda,max = 210.00

STABLE

N,Ed/Nb,Rd = 0.57 < 1.00 (6.3.1.1.(1))

Section OK !!!

Figura 35 – Verificação do Prumo mais solicitada

→ Procedimento 2 – “Robot”


RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO			
Grupo: Prumos PV TH	Combinação: - ELU.Pass(T-) Wy		$\gamma_{M0} = 1.00$
Barra: 174	Perfil: L 60 x 60 x 6		$\gamma_{M1} = 1.00$
L= 1.17	Material: S 235	$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$	$\gamma_{M2} = 1.25$
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ELÁSTICAS DA SECÇÃO 			
$h = 60 \text{ mm}$	$A = 6.91 \text{ cm}^2$	$A_w = 3.60 \text{ cm}^2$	
$b = 60 \text{ mm}$	$I_u = 36.20 \text{ cm}^4$	$I_v = 9.43 \text{ cm}^4$	
$t_w = 6 \text{ mm}$	$i_u = 2.29 \text{ cm}$	$i_v = 1.17 \text{ cm}$	
$t_f = 6 \text{ mm}$	$W_{el,u} = 5.29 \text{ cm}^3$	$W_{el,v} = 5.29 \text{ cm}^3$	
	$W_{pl,u} = 9.82 \text{ cm}^3$	$W_{pl,v} = 9.82 \text{ cm}^3$	
Classe à Flexão 2	Classe à Compressão 2	Classe adoptada 2	
ESFORÇOS DE CÁLCULO E RESISTENTES			
$N_{T,Ed} = 0.00 \text{ kN}$	$N_{T,Rd} = - \text{ kN}$	$N_{b,u,Rd} = 140.32 \text{ kN}$	
$N_{c,Ed} = 51.83 \text{ kN}$	$N_{c,Rd} = 162.39 \text{ kN}$	$N_{b,v,Rd} = 90.36 \text{ kN}$	
PARAMETROS DE ENCURVADURA			
Eixo y-y		Eixo z-z	
$L_u = 1.17 \text{ m}$	$\bar{\lambda}_{y,u} = 0.54$	$L_v = 1.17 \text{ m}$	$\bar{\lambda}_{y,v} = 1.06$
$L_{\sigma,u} = 1.17 \text{ m}$	$\chi_u = 0.86$	$L_{\sigma,v} = 1.17 \text{ m}$	$\chi_v = 0.56$
$\lambda_{y,u} = 51.09$		$\lambda_{y,v} = 100.00$	
VERIFICAÇÕES [NP EN 1993-1-1]			
Resistência da Secção			
<i>Tração</i>			
$N_{Ed}/N_{t,Rd} = - \leq 1$	(6.2.3)		
<i>Compressão</i>			
$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.32 \leq 1$	OK (6.2.4)		
Resistência à Encurvadura por Compressão			
$\lambda_{y,u} = 51.09 \leq \lambda_{y,max} = 210$	$\lambda_{y,v} = 100.00 \leq \lambda_{y,max} = 210$		
$N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.57 \leq 1$	OK (6.3.1.1)		
CONCLUSÃO: A barra cumpre todos os critérios de segurança!			

Figura 36 - Relatório barra nº 174

◆ **Comparação de Resultados**

Obteve-se nos dois procedimentos um rácio de 0,57.

ANEXO IX – Diagonais – Passerelle

→ Procedimento 1 – “Robot”

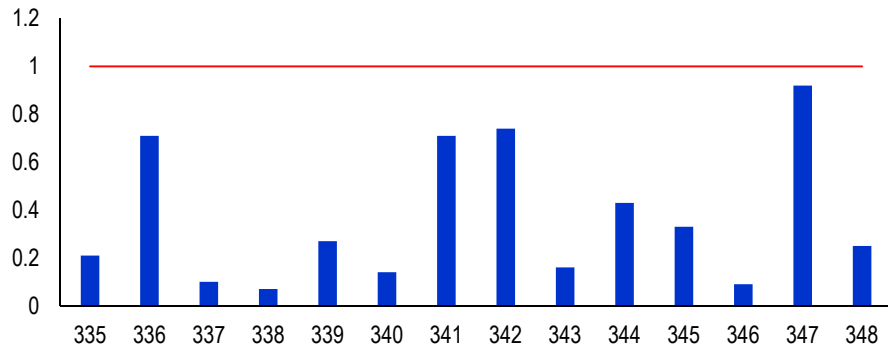


Figura 37 – Rácios – Diagonais L50x5

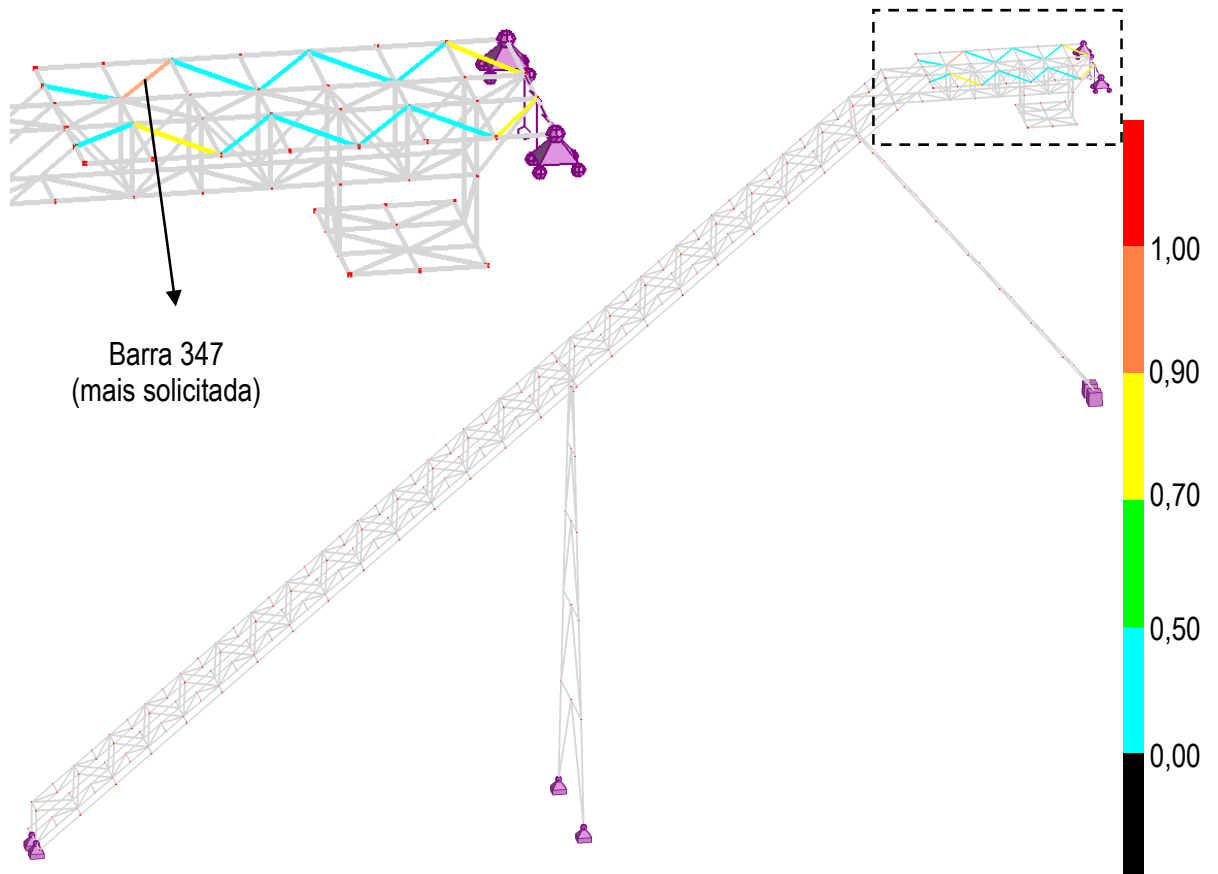


Figura 38 – Rácios das barras

STEEL DESIGN

CODE: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 347 C - Diagonais_347 **POINT:** 1

COORDINATE: x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 31 ELU.Pass(T-) Wyy (1+2)*1.35+4*1.20+3*1.50+(9+5)*0.90

MATERIAL:

S 235 (S 235) $f_y = 235.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: CAEP 50x5

h=5.0 cm

gM0=1.00

gM1=1.00

b=5.0 cm

Ay=2.50 cm²

Az=2.50 cm²

Ax=4.80 cm²

tw=0.5 cm

Iy=17.38 cm⁴

Iz=4.55 cm⁴

Ix=0.40 cm⁴

tf=0.5 cm

Wely=4.91 cm³

Welz=2.28 cm³

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 20.19 kN

Nc,Rd = 112.86 kN

Nb,Rd = 22.00 kN

Class of section = 3



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:



About z axis:

L_y = 1.90 m

Lam_y = 1.06

L_z = 1.90 m

Lam_z = 2.08

L_{cr,y} = 1.90 m

X_y = 0.56

L_{cr,z} = 1.90 m

X_z = 0.19

Lam_y = 100.01

Lam_z = 195.54

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

N,Ed/Nc,Rd = 0.18 < 1.00 (6.2.4.(1))

Global stability check of member:

Lam_y = 100.01 < Lam_{max} = 210.00

Lam_z = 195.54 < Lam_{max} = 210.00

STABLE

N,Ed/Nb,Rd = 0.92 < 1.00 (6.3.1.1.(1))

Section OK !!!

Figura 39 – Verificação da Diagonal mais esforçada

→ Procedimento 2 – Tabela de Cálculo

RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO

Grupo: Diagonais Passerelle TH	Combinação: - ELU.Pass(T-) Wyy	$\gamma_{M0} = 1.00$
Barra: 347	Perfil: L 50 x 50 x 5	$\gamma_{M1} = 1.00$
L= 1.90 m	Material: S 235 $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$	$\gamma_{M2} = 1.25$

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ELÁSTICAS DA SECÇÃO



$h =$ 50 mm	$A =$ 4.80 cm ²	$A_w =$ 2.50 cm ²
$b =$ 50 mm	$I_u =$ 17.40 cm ⁴	$I_v =$ 4.54 cm ⁴
$t_w =$ 5 mm	$i_u =$ 1.90 cm	$i_v =$ 0.97 cm
$t_f =$ 5 mm	$W_{el,u} =$ 3.05 cm ³	$W_{el,v} =$ 3.05 cm ³
	$W_{pl,u} =$ 5.68 cm ³	$W_{pl,v} =$ 5.68 cm ³
Classe à Flexão 2	Classe à Compressão 2	Classe adoptada 2

ESFORÇOS DE CÁLCULO E RESISTENTES

$N_{T,Ed} =$ 0.00 kN	$N_{T,Rd} =$ - kN	$N_{b,u,Rd} =$ 62.77 kN
$N_{C,Ed} =$ 20.19 kN	$N_{C,Rd} =$ 112.80 kN	$N_{b,v,Rd} =$ 21.91 kN

PARAMETROS DE ENCURVADURA

Eixo y-y		Eixo z-z	
$L_{y,u} =$ 1.90 m	$\bar{\lambda}_{y,u} =$ 1.06	$L_{z,v} =$ 1.90 m	$\bar{\lambda}_{z,v} =$ 2.09
$L_{\sigma,u} =$ 1.90 m	$\chi_{u} =$ 0.56	$L_{\sigma,v} =$ 1.90 m	$\chi_{v} =$ 0.19
$\lambda_{z,u} =$ 100.00		$\lambda_{z,v} =$ 195.88	

VERIFICAÇÕES

[NP EN 1993-1-1]

Resistência da Secção

Tração

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = - \leq 1 \quad (6.2.3)$$

Compressão

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.18 \leq 1 \quad \text{OK} \quad (6.2.4)$$

Resistência à Encurvadura por Compressão

$$\lambda_{z,u} = 100.00 \leq \lambda_{,max} = 210 \quad \lambda_{z,v} = 195.88 \leq \lambda_{,max} = 210$$

$$N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.92 \leq 1 \quad \text{OK} \quad (6.3.1.1)$$

CONCLUSÃO: A barra cumpre todos os critérios de segurança!

Figura 40 - Relatório barra nº 347

◆ Comparação de Resultados

Ambos os procedimentos apresentam um rácio de 0,92.

ANEXO X – Diagonais – Painel Horizontal Inferior do Tramo Horizontal

→ Dimensionamento “Robot”

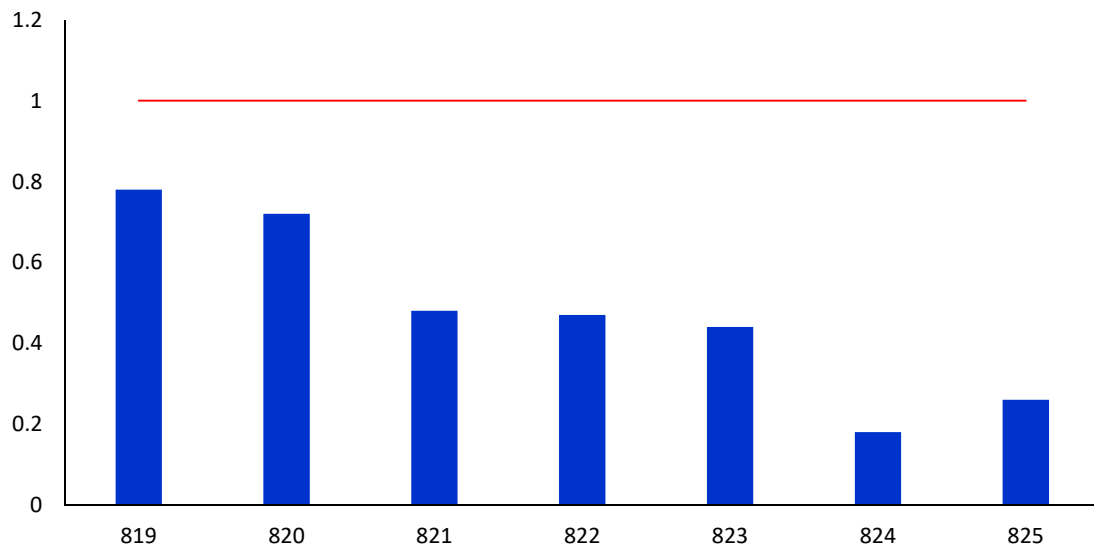


Figura 41 – Rácios – Diagonais L40x4

Na figura anterior verifica-se que todas as barras apresentam rácios inferiores a 1. Para estas barras o dimensionamento foi realizado apenas pelo “Robot”.

STEEL DESIGN

CODE: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 819 C - Diagonais_819 **POINT:** 1

COORDINATE: x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 54 ELU.Wyy (T+) (1+2)*1.35+4*1.20+3*0.30+9*1.50+6*0.90

MATERIAL:

S 235 (S 235) $f_y = 235.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: CAEP 40x4

h=4.0 cm

gM0=1.00

gM1=1.00

b=4.0 cm

Ay=1.60 cm²

Az=1.60 cm²

Ax=3.08 cm²

tw=0.4 cm

Iy=7.09 cm⁴

Iz=1.86 cm⁴

Ix=0.16 cm⁴

tf=0.4 cm

Wely=2.50 cm³

Welz=1.18 cm³

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 9.92 kN

Nc,Rd = 72.35 kN

Nb,Rd = 12.79 kN

Class of section = 3



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:



About z axis:

Ly = 1.60 m

Lam_y = 1.13

Lz = 1.60 m

Lam_z = 2.20

Lcr,y = 1.60 m

Xy = 0.52

Lcr,z = 1.60 m

Xz = 0.18

Lamy = 105.70

Lamz = 206.42

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

N,Ed/Nc,Rd = 0.14 < 1.00 (6.2.4.(1))

Global stability check of member:

Lambda,y = 105.70 < Lambda,max = 210.00

Lambda,z = 206.42 < Lambda,max = 210.00

STABLE

N,Ed/Nb,Rd = 0.78 < 1.00 (6.3.1.1.(1))

Section OK !!!

Figura 42 – Verificação da Barra 819

Verifica-se que a barra mais solicitada verifica a segurança apresentando um rácio de 0,78.

ANEXO XI – Cordões – Tramo Horizontal

Os cordões são constituídos por perfis UNP 120 e foram dimensionados à flexão composta com tração e ou compressão.

O dimensionamento destas barras foi realizado no “Robot” e na Tabela de Cálculo.

Os comprimentos de encurvadura considerados nos dois planos principais de inércia são os indicados na figura.

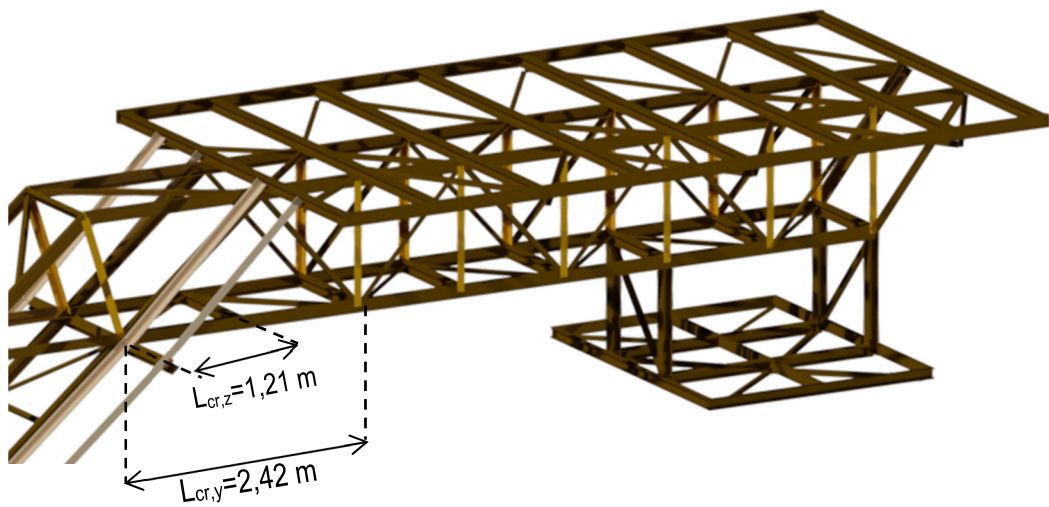


Figura 43 – Comprimentos de Encurvadura

→ Procedimento 1 – “Robot”

Na figura indicam-se os rácios determinados pelo software “Robot”.

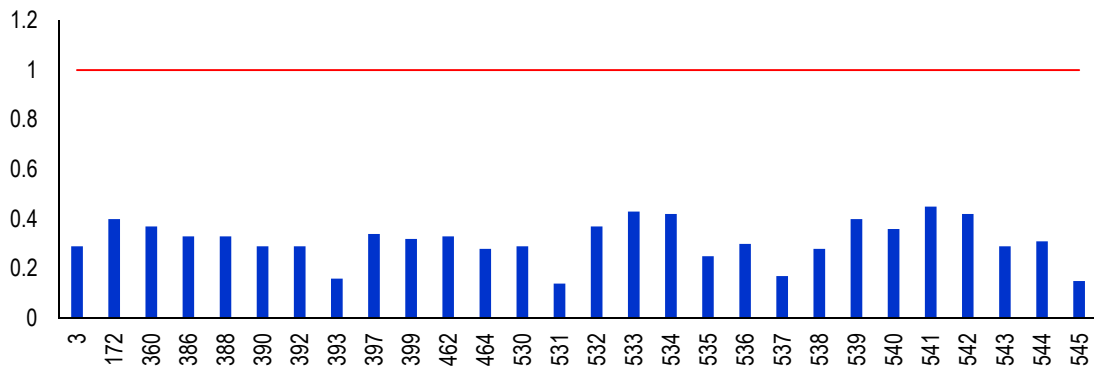


Figura 44 – Rácios - Cordões (UNP 120)

Juntam-se outros elementos referentes às verificações realizadas.

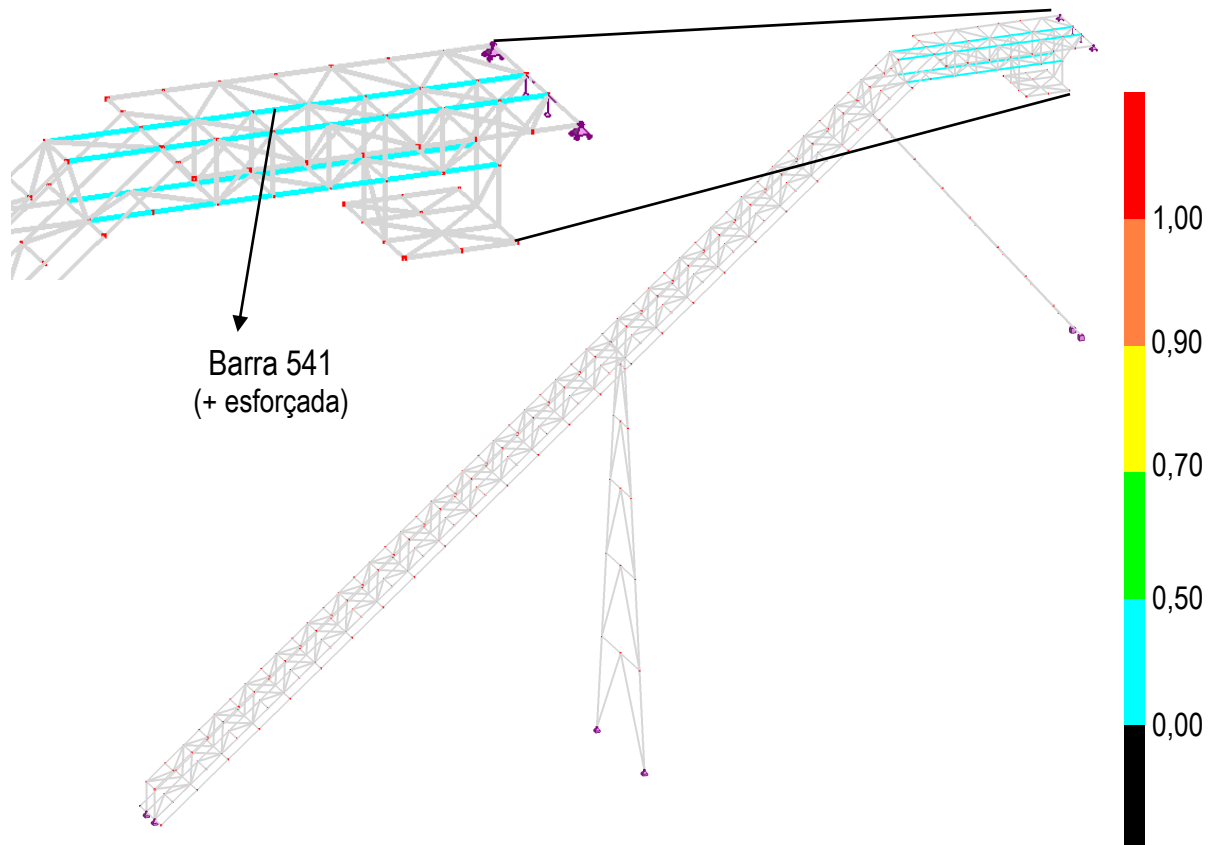


Figura 45 – Rácios das Barras

STEEL DESIGN

CODE: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 541 CV - Cordões_541 **POINT:** 3

COORDINATE: x = 1.00 L = 1.06 m

LOADS:

Governing Load Case: 31 ELU.Pass(T-) Wyy (1+2)*1.35+4*1.20+3*1.50+(9+5)*0.90

MATERIAL:

S 235 (S 235) $f_y = 235.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: UPN 120

h=12.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=5.5 cm	Ay=11.00 cm ²	Az=8.42 cm ²	Ax=16.88 cm ²
tw=0.7 cm	Iy=364.25 cm ⁴	Iz=43.08 cm ⁴	Ix=3.77 cm ⁴
tf=0.9 cm	Wply=72.69 cm ³	Wplz=21.30 cm ³	Class of section = 1

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 110.03 kN	My,Ed = -0.72 kN*m	Mz,Ed = -0.06 kN*m	Vy,Ed = 0.11 kN
Nc,Rd = 396.80 kN	My,Ed,max = -0.82 kN*m	Mz,Ed,max = -0.06 kN*m	Vy,T,Rd = 149.05 kN
Nb,Rd = 285.92 kN	My,c,Rd = 17.08 kN*m	Mz,c,Rd = 5.01 kN*m	Vz,Ed = 0.77 kN
	MN,y,Rd = 15.77 kN*m	MN,z,Rd = 4.62 kN*m	Vz,T,Rd = 114.15 kN
	Mb,Rd = 12.56 kN*m		Tt,Ed = 0.00 kN*m



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

z = 1.00	Mcr = 53.87 kN*m	Curve,LT - d	XLT = 0.74
Lcr,low=1.06 m	Lam_LT = 0.56	fi,LT = 0.80	

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

Ly = 1.06 m	Lam_y = 0.24
Lcr,y = 1.06 m	Xy = 0.98
Lamy = 22.82	kzy = 0.96



About z axis:

Lz = 1.06 m	Lam_z = 0.71
Lcr,z = 1.06 m	Xz = 0.72
Lamz = 66.36	kzz = 0.53

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.28 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{1.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.06 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{xy,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}) \cdot gM0) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{xz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}) \cdot gM0) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

Global stability check of member:

$$\lambda_{y} = 22.82 < \lambda_{y,max} = 180.00 \quad \lambda_{z} = 66.36 < \lambda_{z,max} = 180.00 \quad \text{STABLE}$$

$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.07 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.35 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.45 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

Section OK !!!

→ Procedimento 2 – Tabela de Cálculo


RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO						
Grupo: Cordoes TH		Combinação: - ELU.Pass(T-) Wyy			$\gamma_{M0} = 1.00$	
Barra: 541		Perfil: UPN 120	Secção: sf Final		$\gamma_{M1} = 1.00$	
L= 1.06 m		Material: S 235	f_y= 235 N/mm ²		$\gamma_{M2} = 1.25$	
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ELÁSTICAS DA SECÇÃO						
h= 120 mm		A= 17.00 cm ²		A _{vz} = 8.80 cm ²		
b= 55 mm		I _y = 364.00 cm ⁴		I _z = 43.20 cm ⁴		
t _w = 7 mm		i _y = 4.62 cm		i _z = 1.59 cm		
t _f = 9 mm		W _{el,y} = 60.70 cm ³		W _{el,z} = 11.10 cm ³		
		W _{pl,y} = 72.60 cm ³		W _{pl,z} = 21.20 cm ³		
Classe à Flexão 1		Classe à Compressão 1		Classe adoptada 1		
ESFORÇOS DE CÁLCULO						
N _{T,Ed} = 0.00 kN		V _{y,Ed} = 0.11 kN		M _{y,Ed} = -0.72 kN.m		
N _{c,Ed} = 110.03 kN		V _{z,Ed} = 0.77 kN		M _{z,Ed} = -0.06 kN.m		
PARAMETROS DE ENCURVADURA						
Eixo y-y			Eixo z-z			
L _y = 1.06 m		$\bar{\lambda}_{y}$ = 0.24	L _z = 1.06 m		$\bar{\lambda}_{z}$ = 0.71	
L _{cr,y} = 1.06 m		χ_{y} = 0.98	L _{cr,z} = 1.06 m		χ_{z} = 0.72	
λ_{y} = 22.94		k _{yy} = 0.96	λ_{z} = 66.67		k _{zz} = 0.53	
		k _{yz} = 0.32			k _{zy} = 0.96	
PARAMETROS DE ENCURVADURA LATERAL						
		z _g = B. Sup				
L _{cr} = 1.06 m		α_{LT} = 0.760		ϕ_{LT} = 0.812		
M _{cr} = 50.89 kN.m		$\bar{\lambda}_{LT}$ = 0.579		χ_{LT} = 0.724		
C1= 1.132		C2= 0.459		C3= 0.525		
ESFORÇOS RESISTENTES						
N _{c,Rd} = 399.50 kN		M _{c,y,Rd} = 17.06 kN.m		M _{c,z,Rd} = 4.98 kN.m		
N _{b,y,Rd} = 390.49 kN		M _{N,y,Rd} = 15.62 kN.m		M _{N,z,Rd} = 4.98 kN.m		
N _{b,z,Rd} = 287.04 kN		M _{b,Rd} = 12.36 kN.m				
				V _{c,y,Rd} = 111.26 kN		
				V _{c,z,Rd} = 119.40 kN		

Figura 46 – Relatório da Barra 541 – 1/3

VERIFICAÇÕES

[NP EN 1993-1-1]

Resistência da Secção

Tração - (6.2.3)

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = \text{0.28} \leq 1$$

Compressão - (6.2.4)

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = \text{0.28} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Momento Fletor - (6.2.5)

$$M_{y,Ed}/M_{c,y,Rd} = \text{0.04} \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$M_{z,Ed}/M_{c,z,Rd} = \text{0.01} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Esforço Transverso Plástico - (6.2.6)

$$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} = \text{0.01} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Esforço Transverso Elástico - (6.2.6)

$$y - (T_{Ed} * 3^{0.5} * V_{M0})/f_y = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$z - (T_{Ed} * 3^{0.5} * V_{M0})/f_y = \text{0.01} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Flexão com Esforço Transverso - (6.2.8)

$$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} = \text{0.01} < 0,5 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{y,Ed}/M_{V,y,Rd} = \text{0.04} \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$V_{Ed} \text{ sem significado} \quad M_{V,y,Rd} = \text{N.A. kN.m}$$

$$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} = \text{0.00} < 0,5 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{z,Ed}/M_{V,z,Rd} = \text{0.01} \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$V_{Ed} \text{ sem significado} \quad M_{V,z,Rd} = \text{N.A. kN.m}$$

Flexão Composta - (6.2.9)

$$N_{Ed}/N_{pl,Rd} = \text{0.28} \leq 0,25 \quad \text{Verifica}$$

$$N_{Ed}/h_w \cdot t_w \cdot f_y = \text{0.66} \leq 0,5 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} = \text{0.05} \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$\text{Calcular MRd Reduzido} \quad M_{N,y,Rd} = \text{15.62 kN.m}$$

$$N_{Ed}/h_w \cdot t_w \cdot f_y = \text{0.66} \leq 1 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} = \text{0.01} \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$\text{Redução de MRd N.A.} \quad M_{N,z,Rd} = \text{N.A. kN.m}$$

Flexão Composta Desviada - (6.2.9)

$$\alpha = 1.00 \quad \beta = 1.00 \quad \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta = \text{0.06} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Figura 47 – Relatório da Barra 541 – 2/3

Resistência da Barra

Resistência à Encurvadura - (6.3.2.1)

$$M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd} = 0.06 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Fatores de Interação

$$\begin{aligned} k_{yy} &= 0.962 \\ k_{yz} &= 0.315 \\ k_{zy} &= 0.961 \\ k_{zz} &= 0.526 \end{aligned}$$

Coefficientes de Momento Mniforme Equivalente

$$\begin{aligned} C_{my} &= 0.95 \\ C_{mz} &= 0.40 \\ C_{mLT} &= 0.95 \end{aligned}$$

$$\lambda_{y} = 22.94 \leq \lambda_{1,max} = 180$$

$$\lambda_{z} = 66.67 \leq \lambda_{1,max} = 180$$

Resistência à Encurvadura por Flexão Composta com Compressão "Coluna-Viga" (6.3.3) - Anexo B

$N_{ed}/N_{y,Rd} = 0.28$	$N_{ed}/N_{z,Rd} = 0.38$
+	+
$k_{yy}[M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd}] = 0.06$	$k_{zy}[M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd}] = 0.00$
+	+
$k_{yz}[M_{z,Ed}/M_{z,Rd}] = 0.00$	$k_{zz}[M_{z,Ed}/M_{z,Rd}] = 0.01$
=	=
(6.61) $0.34 \leq 1 \quad \text{OK}$	(6.62) $0.45 \leq 1 \quad \text{OK}$

CONCLUSÃO: A barra cumpre todos os critérios de segurança!

Figura 48 – Relatório da Barra 541 – 3/3

Comparação de Resultados

Tabela 18 – Secção Transversal – Barra 541

Estado Limite Último	"Robot"	Tabela de Cálculo	Desvio
Compressão	0,28	0,28	0,00
Esforço Transverso	y-y	0,00	0,00
	z-z	0,01	0,00
Flexão	y-y	0,05	0,00
	z-z	0,01	0,00
Flexão Desviada	0,06	0,06	0,00

Tabela 19 – Encurvadura por Compressão – Barra 541

Parâmetros	“Robot”	Tabela de Cálculo	Desvio
$\bar{\lambda}_y$	0,24	0,24	0,00
$\bar{\lambda}_z$	0,71	0,71	0,00
χ_y	0,98	0,98	0,00
χ_z	0,72	0,72	0,00
$N_{c,Ed}/N_{b,z,Rd}$	0,38	0,38	0,00

Tabela 20 – Encurvadura Lateral – Barra 541

Parâmetros	“Robot”	Tabela de Cálculo	Desvio
M_{cr} (kN.m)	53,87	50,89	2,98
$\bar{\lambda}_{LT}$	0,56	0,58	0,02
χ_{LT}	0,74	0,72	0,02
$M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd}$	0,07	0,06	0,01

Tabela 21 - Encurvadura por Flexão Composta com Compressão – Barra 541

Parâmetros	“Robot”	Tabela de Cálculo	Desvio
K_{yy}	1,00	0,96	0,04
K_{yz}	0,32	0,32	0,00
K_{zy}	0,96	0,96	0,00
K_{zz}	0,53	0,53	0,00
Eq. 6.61	0,35	0,34	0,01
Eq 6.62	0,45	0,45	0,00

Foi feita também verificação da flecha máxima.

$$\delta_{adm,y} = \frac{L}{250} = \frac{1,06}{250} = 0,004 \text{ m} = 0,4 \text{ cm}$$

Tabela 22 – Verificação das Flechas

Barra nº	Combinação Condicionante	δ_v (cm)	δ_{adm} (cm)	Rácio
360	Eixo y-y ELS.Pass(T+) Wy	0,005	0,40	0,01
	Eixo z-z ELS.Pass(T+) Wzz	0,009	0,80	0,01

◆ **Conclusão**

O perfil UNP 140 cumpre todas as condições de segurança.

ANEXO XII – Diagonais – Escora

Estas barras estão sujeitas a esforços axiais tendo-se limitado a esbelteza nos dois planos a 210.

O dimensionamento foi realizado a partir do “Robot” e da Tabela de Cálculo.

Nas Figuras 49, 50, 51 e 52 indicam-se os resultados das duas análises realizadas.

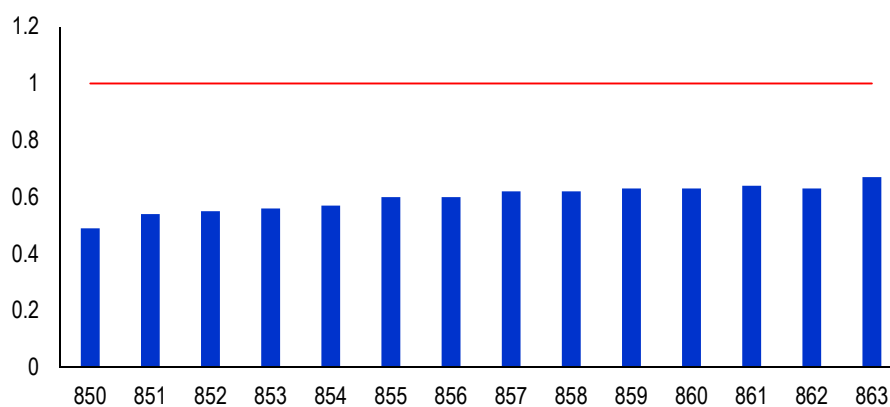


Figura 49 – Rácios – Diagonais L50x5

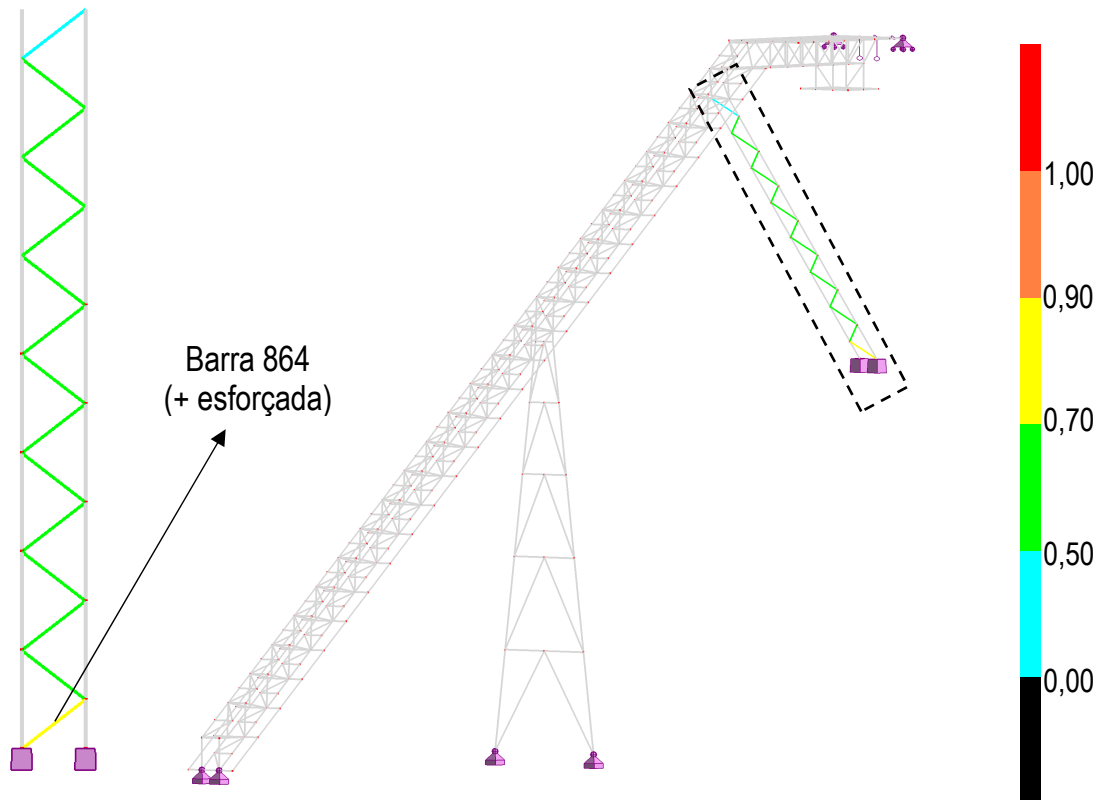


Figura 50 – Rácios das Barras

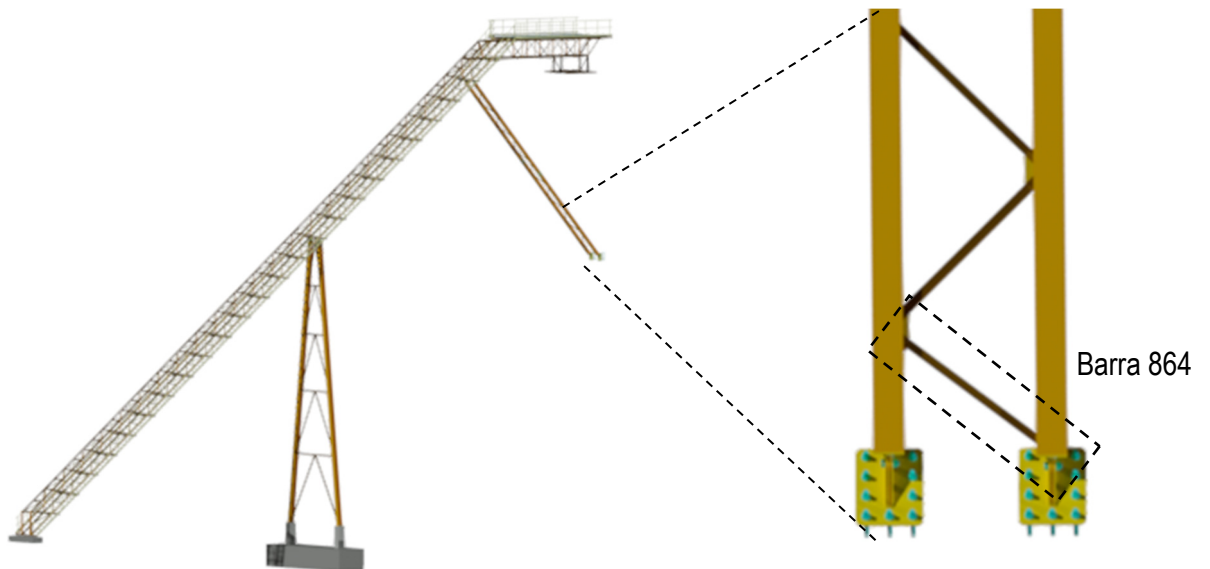


Figura 51 – Localização da barra mais solicitada

STEEL DESIGN

CODE: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 864 C - Diagonais_864 **POINT:** 3
L = 1.50 m

COORDINATE: x = 1.00

LOADS:

Governing Load Case: 77 ELU.Sismo1y-- (1+2)*1.00+4*0.80+18*-1.00

MATERIAL:

S 235 (S 235) $f_y = 235.00$ MPa



SECTION PARAMETERS: CAEP 50x5

h=5.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=5.0 cm	Ay=2.50 cm ²	Az=2.50 cm ²	Ax=4.80 cm ²
tw=0.5 cm	Iy=17.38 cm ⁴	Iz=4.55 cm ⁴	Ix=0.40 cm ⁴
tf=0.5 cm	Wely=4.91 cm ³	Welz=2.28 cm ³	

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 24.16 kN

Nc,Rd = 112.86 kN

Nb,Rd = 33.43 kN

Class of section = 3



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

L _y = 1.50 m	Lam _y = 0.84
L _{cr,y} = 1.50 m	X _y = 0.70
Lam _y = 78.66	



About z axis:

L _z = 1.50 m	Lam _z = 1.64
L _{cr,z} = 1.50 m	X _z = 0.30
Lam _z = 153.78	

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

N,Ed/Nc,Rd = 0.21 < 1.00 (6.2.4.(1))

Global stability check of member:

Lambda_y = 78.66 < Lambda_{max} = 210.00 Lambda_z = 153.78 < Lambda_{max} = 210.00

STABLE

N,Ed/Nb,Rd = 0.72 < 1.00 (6.3.1.1.(1))

Section OK !!!

Figura 52 – Verificação da Diagonal mais solicitada

→ Procedimento 2 – Tabela de Cálculo

RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO

Grupo: Diagonais Escora	Combinação: - ELU.Sismo1y-	$\gamma_{M0} = 1.00$
Barra: 864	Perfil: L 50 x 50 x 5	$\gamma_{M1} = 1.00$
L= 1.50 m	Material: S 235 $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$	$\gamma_{M2} = 1.25$

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ELÁSTICAS DA SECÇÃO



$h =$ 50 mm	$A =$ 4.80 cm ²	$A_{wv} =$ 2.50 cm ²
$b =$ 50 mm	$I_u =$ 17.40 cm ⁴	$I_v =$ 4.54 cm ⁴
$t_w =$ 5 mm	$i_u =$ 1.90 cm	$i_v =$ 0.97 cm
$t_f =$ 5 mm	$W_{el,u} =$ 3.05 cm ³	$W_{el,v} =$ 3.05 cm ³
	$W_{pl,u} =$ 5.68 cm ³	$W_{pl,v} =$ 5.68 cm ³
Classe à Flexão: 2	Classe à Compressão: 2	Classe adoptada: 2

ESFORÇOS DE CÁLCULO E RESISTENTES

$N_{T,Ed} =$ 0.00 kN	$N_{T,Rd} =$ - kN	$N_{b,u,Rd} =$ 78.85 kN
$N_{C,Ed} =$ 24.13 kN	$N_{C,Rd} =$ 112.80 kN	$N_{b,v,Rd} =$ 33.10 kN

PARAMETROS DE ENCURVADURA

Eixo y-y		Eixo z-z	
$L_u =$ 1.50 m	$\bar{\lambda}_{u} =$ 0.84	$L_v =$ 1.50 m	$\bar{\lambda}_{v} =$ 1.65
$L_{cr,u} =$ 1.50 m	$\chi_u =$ 0.70	$L_{cr,v} =$ 1.50 m	$\chi_v =$ 0.29
$\lambda_{s,u} =$ 78.95		$\lambda_{s,v} =$ 154.64	

VERIFICAÇÕES

[NP EN 1993-1-1]

Resistência da Secção

Tração

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = - \leq 1 \quad (6.2.3)$$

Compressão

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.21 \leq 1 \quad \text{OK} \quad (6.2.4)$$

Resistência à Encurvadura por Compressão

$$\lambda_{s,u} = 78.95 \leq \lambda_{s,max} = 210 \quad \lambda_{s,v} = 154.64 \leq \lambda_{s,max} = 210$$

$$N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0.73 \leq 1 \quad \text{OK} \quad (6.3.1.1)$$

CONCLUSÃO: A barra cumpre todos os critérios de segurança!

◆ Comparação de resultados

Em ambos os procedimentos os resultados são idênticos.

ANEXO XIII – Quadros Rígidos

Indica-se na figura seguinte a barra mais solicitada deste grupo.

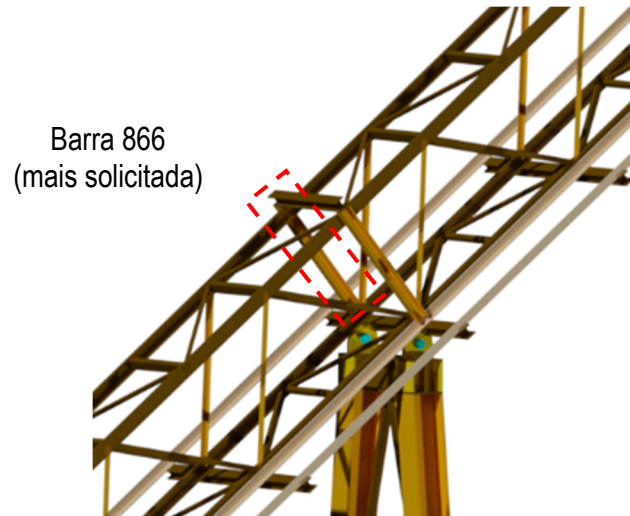


Figura 53 – Quadro Rígido mais solicitado

O dimensionamento foi realizado através do “Robot” e da Tabela de Cálculo e os resultados obtidos são:

→ Procedimento 1 – “Robot”

CODE: EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 866 CV - Travessas_866 **POINT:** 1 **COORDINATE:** x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 53 ELU.Wy (T-) (1+2)*1.35+4*1.20+3*0.30+8*1.50+5*0.90

MATERIAL:

S 235 (S 235) fy = 235.00 MPa

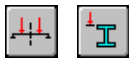


SECTION PARAMETERS: HEB 100

h=10.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=10.0 cm	Ay=22.68 cm ²	Az=9.04 cm ²	Ax=26.04 cm ²
tw=0.6 cm	Iy=449.54 cm ⁴	Iz=167.27 cm ⁴	Ix=9.05 cm ⁴
tf=1.0 cm	Wply=104.22 cm ³	Wplz=51.42 cm ³	Class of section = 1

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N _{Ed} = 25.49 kN	My _{Ed} = 9.76 kN*m	Mz _{Ed} = 0.12 kN*m	Vy _{Ed} = 0.25 kN
N _{c,Rd} = 611.85 kN	My _{Ed,max} = 9.76 kN*m	Mz _{Ed,max} = 0.12 kN*m	Vy _{T,Rd} = 306.95 kN
N _{b,Rd} = 522.86 kN	My _{c,Rd} = 24.49 kN*m	Mz _{c,Rd} = 12.08 kN*m	Vz _{Ed} = -17.01 kN
	MN _{y,Rd} = 24.49 kN*m	MN _{z,Rd} = 12.08 kN*m	Vz _{T,Rd} = 122.43 kN
	Mb _{Rd} = 24.37 kN*m		Tt _{Ed} = 0.01 kN*m



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

z = 1.00	Mcr = 496.81 kN*m	Curve,LT - a	XLT = 1.00
Lcr,upp=1.14 m	Lam_LT = 0.22	fi,LT = 0.53	

BUCKLING PARAMETERS:



About y axis:

Ly = 1.14 m	Lam_y = 0.29
Lcr,y = 1.14 m	Xy = 0.97
Lamy = 27.45	kzy = 0.98



About z axis:

Lz = 1.14 m	Lam_z = 0.48
Lcr,z = 1.14 m	Xz = 0.85
Lamz = 45.00	kzz = 0.41

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.04 < 1.00$ (6.2.4.(1))
 $(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.17 < 1.00$ (6.2.9.1.(6))
 $V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00$ (6.2.6-7)
 $V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.14 < 1.00$ (6.2.6-7)
 $\tau_{ty,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}) * gM0) = 0.01 < 1.00$ (6.2.6)
 $\tau_{tz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}) * gM0) = 0.00 < 1.00$ (6.2.6)

Global stability check of member:

$\lambda_{b,y} = 27.45 < \lambda_{b,max} = 210.00$ $\lambda_{b,z} = 45.00 < \lambda_{b,max} = 210.00$ STABLE
 $M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.40 < 1.00$ (6.3.2.1.(1))
 $N_{Ed}/(X_y * N_{Rk}/gM1) + k_{yy} * M_{y,Ed,max}/(XLT * M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} * M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.21 < 1.00$ (6.3.3.(4))
 $N_{Ed}/(X_z * N_{Rk}/gM1) + k_{zy} * M_{y,Ed,max}/(XLT * M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} * M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.45 < 1.00$ (6.3.3.(4))

Section OK !!!

→ Procedimento 2 – Tabela de Cálculo


RELATÓRIO DE DIMENSIONAMENTO							
Grupo: Quadros Rígidos		Combinação: - ELS.Mat(T+) Wxp			$\gamma_{M0} = 1.00$		
Barra:	866	Perfil: HE 100 B	Secção: si	Inicial	$\gamma_{M1} = 1.00$		
L=	1.14 m	Material: S 235	$f_y =$	235 N/mm ²	$\gamma_{M2} = 1.25$		
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E ELÁSTICAS DA SECÇÃO							
h=	100 mm	A=	26.04 cm ²	A _{vz} =	9.04 cm ²		
b=	100 mm	I _y =	449.50 cm ⁴	I _z =	167.30 cm ⁴		
t _w =	6 mm	i _y =	4.16 cm	i _z =	2.53 cm		
t _f =	10 mm	W _{el,y} =	89.91 cm ³	W _{el,z} =	33.45 cm ³		
		W _{pl,y} =	104.20 cm ³	W _{pl,z} =	51.42 cm ³		
Classe à Flexão	1	Classe à Compressão	1	Classe adoptada	1		
ESFORÇOS DE CÁLCULO							
N _{T,Ed} =	0.00 kN	V _{y,Ed} =	0.25 kN	M _{y,Ed} =	9.76 kN.m		
N _{c,Ed} =	25.49 kN	V _{z,Ed} =	-17.01 kN	M _{z,Ed} =	0.25 kN.m		
PARAMETROS DE ENCURVADURA							
Eixo y-y			Eixo z-z				
L _y =	1.14 m	$\bar{\lambda}_{y}$ =	0.29	L _z =	1.14 m	$\bar{\lambda}_{z}$ =	0.48
L _{cr,y} =	1.14 m	χ_{y} =	0.97	L _{cr,z} =	1.14 m	χ_{z} =	0.85
λ_{y} =	27.40	k _{yy} =	0.40	λ_{z} =	45.06	k _{zz} =	0.41
		k _{yz} =	0.24			k _{zy} =	0.98
PARAMETROS DE ENCURVADURA LATERAL							
		z _g =	B. Sup				
L _{cr} =	1.14 m	α_{LT} =	0.210	Φ_{LT} =	0.527		
M _{cr} =	500.17 kN.m	$\bar{\lambda}_{LT}$ =	0.221	χ_{LT} =	0.995		
C1=	2.700	C2=	0.000	C3=	0.087		
ESFORÇOS RESISTENTES							
N _{c,Rd} =	611.94 kN	M _{c,y,Rd} =	24.49 kN.m	M _{c,z,Rd} =	12.08 kN.m		
N _{b,y,Rd} =	591.80 kN	M _{N,y,Rd} =	24.49 kN.m	M _{N,z,Rd} =	12.08 kN.m		
N _{b,z,Rd} =	522.71 kN	M _{b,Rd} =	24.37 kN.m				
				V _{c,y,Rd} =	230.65 kN		
				V _{c,z,Rd} =	122.65 kN		

Figura 54 - Relatório barra nº 866 – 1 de 3

VERIFICAÇÕES

[NP EN 1993-1-1]

Resistência da Secção

Tração - (6.2.3)

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = \text{0.00} \leq 1$$

Compressão - (6.2.4)

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = \text{0.04} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Momento Fletor - (6.2.5)

$$M_{y,Ed}/M_{c,y,Rd} = \text{0.40} \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$M_{z,Ed}/M_{c,z,Rd} = \text{0.02} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Esforço Transverso Plástico - (6.2.6)

$$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} = \text{0.14} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Esforço Transverso Elástico - (6.2.6)

$$y - (T_{Ed} * 3^{0.5} * V_{M0})/f_y = \text{0.00} \leq 1 \quad \text{OK}$$

$$z - (T_{Ed} * 3^{0.5} * V_{M0})/f_y = \text{0.02} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Flexão com Esforço Transverso - (6.2.8)

$$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} = \text{0.14} < 0,5 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{y,Ed}/M_{V,y,Rd} = \text{0.40} \leq 1 \quad \text{OK}$$

VEd sem significado $M_{V,y,Rd} = \text{N.A. kN.m}$

$$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} = \text{0.00} < 0,5 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{z,Ed}/M_{V,z,Rd} = \text{0.02} \leq 1 \quad \text{OK}$$

VEd sem significado $M_{V,z,Rd} = \text{N.A. kN.m}$

Flexão Composta - (6.2.9)

$$N_{Ed}/N_{pl,Rd} = \text{0.04} \leq 0,25 \quad \text{Verifica}$$

$$N_{Ed}/h_w \cdot t_w \cdot f_y = \text{0.23} \leq 0,5 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} = \text{0.40} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Redução de MRd N.A. $M_{N,y,Rd} = \text{N.A. kN.m}$

$$N_{Ed}/h_w \cdot t_w \cdot f_y = \text{0.23} \leq 1 \quad \text{Verifica}$$

$$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} = \text{0.02} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Redução de MRd N.A. $M_{N,z,Rd} = \text{N.A. kN.m}$

Flexão Composta Desviada - (6.2.9)

$$\alpha = 2.00 \quad \beta = 1.00 \quad \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta = \text{0.18} \leq 1 \quad \text{OK}$$

Figura 55 - Relatório barra nº 866 – 2 de 3

Resistência da Barra

Resistência à Encurvadura - (6.3.2.1)

$$M_{y,Ed}/M_{b,y,Rd} = 0.40 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Fatores de Interação

$$\begin{aligned} k_{yy} &= 0.402 \\ k_{yz} &= 0.244 \\ k_{zy} &= 0.984 \\ k_{zz} &= 0.407 \end{aligned}$$

Coefficientes de Momento Mniforme Equivalente

$$\begin{aligned} C_{my} &= 0.40 \\ C_{mz} &= 0.40 \\ C_{mLT} &= 0.40 \end{aligned}$$

$$\lambda_{y} = 27.40 \leq \lambda_{,max} = 180$$

$$\lambda_{z} = 45.06 \leq \lambda_{,max} = 180$$

Resistência à Encurvadura por Flexão Composta com Compressão "Coluna-Viga" (6.3.3) - Anexo B

$$\begin{aligned} N_{ed}/N_{y,Rd} &= 0.04 & N_{ed}/N_{z,Rd} &= 0.05 \\ + & & + & \\ k_{yy}[M_{y,Ed}/M_{b,Rd}] &= 0.16 & k_{zy}[M_{y,Ed}/M_{b,Rd}] &= 0.39 \\ + & & + & \\ k_{yz}[M_{z,Ed}/M_{z,Rd}] &= 0.01 & k_{zz}[M_{z,Ed}/M_{z,Rd}] &= 0.01 \\ = & & = & \\ \checkmark \quad (6.61) \quad 0.21 & \leq 1 \quad \text{OK} & \checkmark \quad (6.62) \quad 0.46 & \leq 1 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

CONCLUSÃO: A barra cumpre todos os critérios de segurança!

Figura 56 - Relatório barra nº 866 – 3 de 3

Comparação de Resultados

Tabela 23 – Secção Transversal - Barra 866

Estado Limite Último	"Robot"	Tabela de Cálculo	Desvio
Compressão	0,04	0,04	0,00
Esforço Transverso	y-y	0,00	0,00
	z-z	0,14	0,00
Flexão	y-y	0,40	0,00
	z-z	0,01	0,01
Flexão Desviada	0,17	0,18	0,01

Tabela 24 – Encurvadura por Compressão – Barra 866

Parâmetros	“Robot”	Tabela de Cálculo	Diferença
$\bar{\lambda}_y$	0,29	0,29	0,00
$\bar{\lambda}_z$	0,48	0,48	0,00
χ_y	0,97	0,97	0,00
χ_z	0,85	0,85	0,00
$N_{c,Ed} / N_{b,z,Rd}$	0,05	0,05	0,00

Tabela 25– Encurvadura Lateral Barra 866

Parâmetros	“Robot”	Tabela de Cálculo	Diferença
M_{cr} (kN.m)	496,81	500,17	3,36
$\bar{\lambda}_{LT}$	0,22	0,22	0,00
χ_{LT}	1,00	1,00	0,00
$M_{y,Ed} / M_{b,y,Rd}$	0,40	0,40	0,00

Tabela 26- Encurvadura por Flexão Composta com Compressão – Barra 866

Parâmetros	“Robot”	Tabela de Cálculo	Diferença
K_{yy}	0,40	0,40	0,00
K_{yz}	0,24	0,24	0,00
K_{zy}	0,98	0,98	0,00
K_{zz}	0,41	0,41	0,00
Eq. 6.61	0,21	0,21	0,00
Eq 6.62	0,45	0,46	0,01

A verificação da flecha máxima conduziu aos seguintes valores:

Barra nº	Combinação Condicionante	δ_v (cm)	δ_{adm} (cm)	Rácio
658	Eixo y-y ELS.Pass(T+) Wy	0,005	0,460	0,01
	Eixo z-z ELS.Pass(T+) Wzz	0,009	0,80	0,01

◆ Conclusão

O perfil escolhido HEB 100 cumpre todas as condições de segurança.

ANEXO XIV – Ligação Cobre Juntas – Cordão da Escora

Apresentam-se os relatórios completos do dimensionamento das ligações mais esforçadas realizados em “Advance Steel” e “Robot”.

→ **Procedimento 1 – “Advance Steel”**

Splice Joint

Standard: EC3

Splice Joint Description

Bolt Verification on Right Upper Flange

- Conditions
- Bolt Shear Verification
- Bolt Bearing Verification
- Splice Plate Verifications
- Flange Verifications

Bolt Verification on Left Upper Flange

- Conditions
- Bolt Shear Verification
- Bolt Bearing Verification
- Splice Plate Verifications
- Flange Verifications

Bolt Verification on Right Lower Flange

- Conditions
- Bolt Shear Verification
- Bolt Bearing Verification
- Splice Plate Verifications
- Flange Verifications

Bolt Verification on Left Lower Flange

- Conditions
- Bolt Shear Verification
- Bolt Bearing Verification
- Splice Plate Verifications
- Flange Verifications

Bolt Verification on Right Web

- Conditions
- Bolt Shear Verification
- Bolt Bearing Verification
- Web Plate Verifications
- Web of the Member Verifications

Bolt Verification on Left Web

- Conditions
- Bolt Shear Verification
- Bolt Bearing Verification

Dimensionamento de uma estrutura metálica de suporte de uma Tela Transportadora de Biomassa

- Web Plate Verifications
- Web of the Member Verifications

Conclusion

- The connection is correctly designed to resist the applied forces

Splice Joint Description

Connection Details

Connected elements

Element	Profiles	Height	Width	Web thickness	Flange thickness	Rounding radius	Material	Id
Main Beam	HEB200	200mm	200mm	9mm	15mm	18mm	S235 H - EN 10210-1	324
Secondary beam	HEB200	200mm	200mm	9mm	15mm	18mm	S235 H - EN 10210-1	323

Design efforts

Case name	M	N	V
ELU. Wy (T+)	16.7kNm	179kN	0.9kN

Bolt properties

Connecting	Type	Diameter	Number of bolts	Grade	Assembly	Hole diameter	Area
Main beam Top flange - plate	14399-4	16mm	8	10.9	Mu2S	2mm	0m ²
Secondary beam Top flange - plate	14399-4	16mm	8	10.9	Mu2S	2mm	0m ²
Main beam Bottom flange - plate	14399-4	16mm	8	10.9	Mu2S	2mm	0m ²
Secondary beam Bottom flange - plate	14399-4	16mm	8	10.9	Mu2S	2mm	0m ²
Main beam - plate	14399-4	16mm	8	10.9	Mu2S	2mm	0m ²
Secondary beam - plate	14399-4	16mm	8	10.9	Mu2S	2mm	0m ²

Bolt Verification on Right Upper Flange

Conditions

Min/Max bolt edge distance (on load direction)

$$1.2 \cdot d_0 \leq e_1 \leq (4 \cdot t + 40\text{mm})$$

$$21.6\text{mm} \leq 35\text{mm} \leq 80\text{mm}$$

OK

Min/Max bolt edge distance (perpendicular on load direction)

$$1.2 \cdot d_0 \leq e_2 \leq (4 \cdot t + 40\text{mm})$$

$$21.6\text{mm} \leq 40\text{mm} \leq 80\text{mm}$$

OK

Min/Max bolt spacing distance (on load direction)

$$2.2 * d_0 \leq p_1 \leq \min(14 * t; 200\text{mm})$$

$$39.6\text{mm} \leq 55\text{mm} \leq 140\text{mm}$$

OK

Min/Max bolt spacing distance (perpendicular on load direction)

$$2.4 * d_0 \leq p_2 \leq \min(14 * t; 200\text{mm})$$

$$43.2\text{mm} \leq 70\text{mm} \leq 140\text{mm}$$

OK

Bolt Shear Verification

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$N_{Ed} / (n * n_f) + N_{f,Ed} / n \leq n_s * \alpha_v * f_{ub} * A_s / \gamma_{Mb}$$

$$179\text{kN} / (8 * 2) + (89.7\text{kN})/8 \leq 1 * 0.5 * 1000\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / 1.25$$

$$22.4\text{kN} \leq 62.8\text{kN}$$

$$35.67 \%$$

OK

Bolt Bearing Verification

Bolt Bearing on splice plate

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{v,Ed} \leq 1 * k_1 * \alpha_b * f_u * d * \Sigma(t_i) / \gamma_{Mb}$$

$$22.4\text{kN} \leq 1 * 2.5 * 0.65 * 360\text{N/mm}^2 * 16\text{mm} * 10\text{mm} / 1.25$$

$$22.4\text{kN} \leq 74.7\text{kN}$$

$$30 \%$$

OK

Bolt Bearing on member's flange

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{v,Ed} \leq 1 * k_1 * \alpha_b * f_u * d * \Sigma(t_i) / \gamma_{Mb}$$

$$22.4\text{kN} \leq 1 * 2.5 * 0.77 * 360\text{N/mm}^2 * 16\text{mm} * 15\text{mm} / 1.25$$

$$22.4\text{kN} \leq 132.8\text{kN}$$

$$16.87 \%$$

OK

Splice Plate Verifications

Tension Yielding verification

$$N_{Ed \text{ splice}} \leq N_{pl,Rd}$$

$$N_{Ed} / n_f + N_{f,Ed} \leq A * f_y / \gamma_{M0}$$

$$179\text{kN}/2 + (79.5\text{kN}) \leq 0\text{m}^2 * 235\text{N/mm}^2 / 1$$

$$169\text{kN} \leq 352.5\text{kN}$$

$$47.95 \%$$

OK

Tension Ultimate Verification

$$N_{Ed \text{ splice}} \leq N_{u,Rd}$$

$$N_{Ed \text{ splice}} \leq 0.9 * A_{net} * f_u / \gamma_{M2}$$

$$169\text{kN} \leq 0.9 * 0\text{m}^2 * 360\text{N/mm}^2 / 1.25$$

$$169\text{kN} \leq 295.5\text{kN}$$

$$57.2 \%$$

OK

Block Tearing Verification

$$N_{Ed \text{ splice}} \leq V_{eff,1,Rd}$$

$$N_{Ed \text{ splice}} \leq f_u * A_{nt} / \gamma_{M2} + f_y * A_{nv} / [\gamma_{M0} * \text{SQRT}(3)]$$

Dimensionamento de uma estrutura metálica de suporte de uma Tela Transportadora de Biomassa

$$169\text{kN} \leq 360\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / 1.25 + 235\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / (1 * 1.73))$$

$$169\text{kN} \leq 521.5\text{kN}$$

$$32.41 \%$$

OK

Flange Verifications

Tension Yielding verification

$$N_{Ed \text{ flange}} \leq N_{pl,Rd}$$

$$N_{Ed}/n_f + N_{f,Ed} \leq A_f * f_y / \gamma_{M0}$$

$$179\text{kN}/2 + 90.3\text{kN} \leq 0\text{m}^2 * 235\text{N/mm}^2 / 1$$

$$179.8\text{kN} \leq 705\text{kN}$$

$$25.5 \%$$

OK

Tension Ultimate Verification

$$N_{Ed \text{ flange}} \leq N_{u,Rd}$$

$$N_{Ed \text{ flange}} \leq 0.9 * A_{net,f} * f_u / \gamma_{M2}$$

$$179.8\text{kN} \leq 0.9 * 0\text{m}^2 * 360\text{N/mm}^2 / 1.25$$

$$179.8\text{kN} \leq 637.6\text{kN}$$

$$28.19 \%$$

OK

Block Tearing Verification

$$N_{Ed \text{ flange}} \leq V_{eff,1,Rd}$$

$$N_{Ed \text{ flange}} \leq f_u * A_{nt} / \gamma_{M2} + f_y * A_{nv} / [\gamma_{M0} * \text{SQRT}(3)]$$

$$179.8\text{kN} \leq 360\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / 1.25 + 235\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / (1 * 1.73))$$

$$179.8\text{kN} \leq 817.3\text{kN}$$

$$21.99 \%$$

OK

Bolt Verification on Left Upper Flange

Conditions

Min/Max bolt edge distance (on load direction)

$$1.2 * d_0 \leq e_1 \leq (4 * t + 40\text{mm})$$

$$21.6\text{mm} \leq 35\text{mm} \leq 80\text{mm}$$

OK

Min/Max bolt edge distance (perpendicular on load direction)

$$1.2 * d_0 \leq e_2 \leq (4 * t + 40\text{mm})$$

$$21.6\text{mm} \leq 40\text{mm} \leq 80\text{mm}$$

OK

Min/Max bolt spacing distance (on load direction)

$$2.2 * d_0 \leq p_1 \leq \min(14 * t; 200\text{mm})$$

$$39.6\text{mm} \leq 55\text{mm} \leq 140\text{mm}$$

OK

Min/Max bolt spacing distance (perpendicular on load direction)

$$2.4 * d_0 \leq p_2 \leq \min(14 * t; 200\text{mm})$$

$$43.2\text{mm} \leq 70\text{mm} \leq 140\text{mm}$$

OK

Bolt Shear Verification

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$N_{Ed} / (n \cdot n_f) + N_{f,Ed} / n \leq n_s \cdot \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{Mb}$$

$$179\text{kN} / (8 \cdot 2) + (89.7\text{kN})/8 \leq 1 \cdot 0.5 \cdot 1000\text{N/mm}^2 \cdot 0\text{m}^2 / 1.25$$

$$22.4\text{kN} \leq 62.8\text{kN}$$

$$35.67 \%$$

OK

Bolt Bearing Verification

Bolt Bearing on splice plate

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{v,Ed} \leq 1 \cdot k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot \sum(t_i) / \gamma_{Mb}$$

$$22.4\text{kN} \leq 1 \cdot 2.5 \cdot 0.65 \cdot 360\text{N/mm}^2 \cdot 16\text{mm} \cdot 10\text{mm} / 1.25$$

$$22.4\text{kN} \leq 74.7\text{kN}$$

$$30 \%$$

OK

Bolt Bearing on member's flange

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{v,Ed} \leq 1 \cdot k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot \sum(t_i) / \gamma_{Mb}$$

$$22.4\text{kN} \leq 1 \cdot 2.5 \cdot 0.77 \cdot 360\text{N/mm}^2 \cdot 16\text{mm} \cdot 15\text{mm} / 1.25$$

$$22.4\text{kN} \leq 132.8\text{kN}$$

$$16.87 \%$$

OK

Splice Plate Verifications

Tension Yielding verification

$$N_{Ed \text{ splice}} \leq N_{pl,Rd}$$

$$N_{Ed} / n_f + N_{f,Ed} \leq A \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$179\text{kN}/2 + (79.5\text{kN}) \leq 0\text{m}^2 \cdot 235\text{N/mm}^2 / 1$$

$$169\text{kN} \leq 352.5\text{kN}$$

$$47.95 \%$$

OK

Tension Ultimate Verification

$$N_{Ed \text{ splice}} \leq N_{u,Rd}$$

$$N_{Ed \text{ splice}} \leq 0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u / \gamma_{M2}$$

$$169\text{kN} \leq 0.9 \cdot 0\text{m}^2 \cdot 360\text{N/mm}^2 / 1.25$$

$$169\text{kN} \leq 295.5\text{kN}$$

$$57.2 \%$$

OK

Block Tearing Verification

$$N_{Ed \text{ splice}} \leq V_{eff,1,Rd}$$

$$N_{Ed \text{ splice}} \leq f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + f_y \cdot A_{nv} / [\gamma_{M0} \cdot \text{SQRT}(3)]$$

$$169\text{kN} \leq 360\text{N/mm}^2 \cdot 0\text{m}^2 / 1.25 + 235\text{N/mm}^2 \cdot 0\text{m}^2 / (1 \cdot 1.73)$$

$$169\text{kN} \leq 521.5\text{kN}$$

$$32.41 \%$$

OK

Flange Verifications

Tension Yielding verification

$$N_{Ed \text{ flange}} \leq N_{pl,Rd}$$

$$N_{Ed} / n_f + N_{f,Ed} \leq A_f \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$179\text{kN}/2 + 90.3\text{kN} \leq 0\text{m}^2 \cdot 235\text{N/mm}^2 / 1$$

$$179.8\text{kN} \leq 705\text{kN}$$

$$25.5 \%$$

OK

Tension Ultimate Verification

$$N_{Ed \text{ flange}} \leq N_{u,Rd}$$

$$N_{Ed \text{ flange}} \leq 0.9 * A_{net,f} * f_u / \gamma_{M2}$$

$$179.8\text{kN} \leq 0.9 * 0\text{m}^2 * 360\text{N/mm}^2 / 1.25$$

$$179.8\text{kN} \leq 637.6\text{kN}$$

$$28.19 \%$$

OK

Block Tearing Verification

$$N_{Ed \text{ flange}} \leq V_{eff,1,Rd}$$

$$N_{Ed \text{ flange}} \leq f_u * A_{nt} / \gamma_{M2} + f_y * A_{nv} / [\gamma_{M0} * \text{SQRT}(3)]$$

$$179.8\text{kN} \leq 360\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / 1.25 + 235\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / (1 * 1.73)$$

$$179.8\text{kN} \leq 817.3\text{kN}$$

$$21.99 \%$$

OK

Bolt Verification on Right Lower Flange

Conditions

Min/Max bolt edge distance (on load direction)

$$1.2 * d_0 \leq e_1 \leq (4 * t + 40\text{mm})$$

$$21.6\text{mm} \leq 35\text{mm} \leq 80\text{mm}$$

OK

Min/Max bolt edge distance (perpendicular on load direction)

$$1.2 * d_0 \leq e_2 \leq (4 * t + 40\text{mm})$$

$$21.6\text{mm} \leq 40\text{mm} \leq 80\text{mm}$$

OK

Min/Max bolt spacing distance (on load direction)

$$2.2 * d_0 \leq p_1 \leq \min(14 * t; 200\text{mm})$$

$$39.6\text{mm} \leq 55\text{mm} \leq 140\text{mm}$$

OK

Min/Max bolt spacing distance (perpendicular on load direction)

$$2.4 * d_0 \leq p_2 \leq \min(14 * t; 200\text{mm})$$

$$43.2\text{mm} \leq 70\text{mm} \leq 140\text{mm}$$

OK

Bolt Shear Verification

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$N_{Ed} / (n * n_f) - N_{f,Ed} / n \leq n_s * \alpha_v * f_{ub} * A_s / \gamma_{Mb}$$

$$179\text{kN} / (8 * 2) - (89.7\text{kN}) / 8 \leq 1 * 0.5 * 1000\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / 1.25$$

$$0\text{kN} \leq 62.8\text{kN}$$

$$0.04 \%$$

OK

Bolt Bearing Verification

Bolt Bearing on splice plate

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{v,Ed} \leq 1 * k_1 * \alpha_b * f_u * d * \sum(t_i) / \gamma_{Mb}$$

$$0\text{kN} \leq 1 * 2.5 * 0.65 * 360\text{N/mm}^2 * 16\text{mm} * 10\text{mm} / 1.25$$

$$0\text{kN} \leq 74.7\text{kN}$$

$$0.03 \%$$

OK

Bolt Bearing on member's flange

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{v,Ed} \leq 1 * k_1 * \alpha_b * f_u * d * \Sigma(t_i) / \gamma_{Mb}$$

$$0\text{kN} \leq 1 * 2.5 * 0.77 * 360\text{N/mm}^2 * 16\text{mm} * 15\text{mm} / 1.25$$

$$0\text{kN} \leq 132.8\text{kN}$$

$$0.02 \%$$

OK

Splice Plate Verifications

Tension Yielding verification

$$N_{Ed \text{ splice}} \leq N_{pl,Rd}$$

$$N_{Ed} / n_f - N_{f,Ed} \leq A * f_y / \gamma_{M0}$$

$$179\text{kN}/2 - (79.5\text{kN}) \leq 0\text{m}^2 * 235\text{N/mm}^2 / 1$$

$$10\text{kN} \leq 352.5\text{kN}$$

$$2.83 \%$$

OK

Tension Ultimate Verification

$$N_{Ed \text{ splice}} \leq N_{u,Rd}$$

$$N_{Ed \text{ splice}} \leq 0.9 * A_{net} * f_u / \gamma_{M2}$$

$$10\text{kN} \leq 0.9 * 0\text{m}^2 * 360\text{N/mm}^2 / 1.25$$

$$10\text{kN} \leq 295.5\text{kN}$$

$$3.38 \%$$

OK

Block Tearing Verification

$$N_{Ed \text{ splice}} \leq V_{eff,1,Rd}$$

$$N_{Ed \text{ splice}} \leq f_u * A_{nt} / \gamma_{M2} + f_y * A_{nv} / [\gamma_{M0} * \text{SQRT}(3)]$$

$$10\text{kN} \leq 360\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / 1.25 + 235\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / (1 * 1.73)$$

$$10\text{kN} \leq 521.5\text{kN}$$

$$1.91 \%$$

OK

Flange Verifications

Compression Yielding Verification

$$N_{Ed \text{ flange}} \leq N_{c,Rd}$$

$$N_{Ed \text{ flange}} \leq A * f_y / \gamma_{M0}$$

$$-0.8\text{kN} \leq 0\text{m}^2 * 235\text{N/mm}^2 / 1$$

$$-0.8\text{kN} \leq 705\text{kN}$$

$$0.11 \%$$

OK

Bolt Verification on Left Lower Flange

Conditions

Min/Max bolt edge distance (on load direction)

$$1.2 * d_0 \leq e_1 \leq (4 * t + 40\text{mm})$$

$$21.6\text{mm} \leq 35\text{mm} \leq 80\text{mm}$$

OK

Min/Max bolt edge distance (perpendicular on load direction)

$$1.2 * d_0 \leq e_2 \leq (4 * t + 40\text{mm})$$

$$21.6\text{mm} \leq 40\text{mm} \leq 80\text{mm}$$

OK

Min/Max bolt spacing distance (on load direction)

$$2.2 * d_0 \leq p_1 \leq \min(14 * t; 200\text{mm})$$

$$39.6\text{mm} \leq 55\text{mm} \leq 140\text{mm}$$

OK

Min/Max bolt spacing distance (perpendicular on load direction)

$$2.4 * d_0 \leq p_2 \leq \min(14 * t; 200\text{mm})$$

$$43.2\text{mm} \leq 70\text{mm} \leq 140\text{mm}$$

OK

Bolt Shear Verification

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$N_{Ed} / (n * n_f) - N_{f,Ed} / n \leq n_s * \alpha_v * f_{ub} * A_s / \gamma_{Mb}$$

$$179\text{kN} / (8 * 2) - (89.7\text{kN})/8 \leq 1 * 0.5 * 1000\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / 1.25$$

$$0\text{kN} \leq 62.8\text{kN}$$

$$0.04 \%$$

OK

Bolt Bearing Verification

Bolt Bearing on splice plate

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{v,Ed} \leq 1 * k_1 * \alpha_b * f_u * d * \Sigma(t_i) / \gamma_{Mb}$$

$$0\text{kN} \leq 1 * 2.5 * 0.65 * 360\text{N/mm}^2 * 16\text{mm} * 10\text{mm} / 1.25$$

$$0\text{kN} \leq 74.7\text{kN}$$

$$0.03 \%$$

OK

Bolt Bearing on member's flange

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{v,Ed} \leq 1 * k_1 * \alpha_b * f_u * d * \Sigma(t_i) / \gamma_{Mb}$$

$$0\text{kN} \leq 1 * 2.5 * 0.77 * 360\text{N/mm}^2 * 16\text{mm} * 15\text{mm} / 1.25$$

$$0\text{kN} \leq 132.8\text{kN}$$

$$0.02 \%$$

OK

Splice Plate Verifications

Tension Yielding verification

$$N_{Ed \text{ splice}} \leq N_{pl,Rd}$$

$$N_{Ed} / n_f - N_{f,Ed} \leq A * f_y / \gamma_{M0}$$

$$179\text{kN}/2 - (79.5\text{kN}) \leq 0\text{m}^2 * 235\text{N/mm}^2 / 1$$

$$10\text{kN} \leq 352.5\text{kN}$$

$$2.83 \%$$

OK

Tension Ultimate Verification

$$N_{Ed \text{ splice}} \leq N_{u,Rd}$$

$$N_{Ed \text{ splice}} \leq 0.9 * A_{net} * f_u / \gamma_{M2}$$

$$10\text{kN} \leq 0.9 * 0\text{m}^2 * 360\text{N/mm}^2 / 1.25$$

$$10\text{kN} \leq 295.5\text{kN}$$

$$3.38 \%$$

OK

Block Tearing Verification

$$N_{Ed \text{ splice}} \leq V_{eff,1,Rd}$$

$$N_{Ed \text{ splice}} \leq f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + f_y \cdot A_{nv} / [\gamma_{M0} \cdot \text{SQRT}(3)]$$

$$10kN \leq 360N/mm^2 \cdot 0m^2 / 1.25 + 235N/mm^2 \cdot 0m^2 / (1 \cdot 1.73)$$

$$10kN \leq 521.5kN$$

$$1.91 \%$$

OK

Flange Verifications

Compression Yielding Verification

$$N_{Ed \text{ flange}} \leq N_{c,Rd}$$

$$N_{Ed \text{ flange}} \leq A \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$-0.8kN \leq 0m^2 \cdot 235N/mm^2 / 1$$

$$-0.8kN \leq 705kN$$

$$0.11 \%$$

OK

Bolt Verification on Right Web

Conditions

Min/Max bolt edge distance (on load direction)

$$1.2 \cdot d_0 \leq e_1 \leq (4 \cdot t + 40mm)$$

$$21.6mm \leq 35mm \leq 76mm$$

OK

Min/Max bolt edge distance (perpendicular on load direction)

$$1.2 \cdot d_0 \leq e_2 \leq (4 \cdot t + 40mm)$$

$$21.6mm \leq 35mm \leq 76mm$$

OK

Min/Max bolt spacing distance (on load direction)

$$2.2 \cdot d_0 \leq p_1 \leq \min(14 \cdot t; 200mm)$$

$$39.6mm \leq 60mm \leq 126mm$$

OK

Min/Max bolt spacing distance (perpendicular on load direction)

$$2.4 \cdot d_0 \leq p_2 \leq \min(14 \cdot t; 200mm)$$

$$43.2mm \leq 50mm \leq 126mm$$

OK

Bolt Shear Verification

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$\text{SQRT}((F_{v,Ed,Nx} + F_{v,Ed,Mxi})^2 + (F_{v,Ed,Vy} + F_{v,Ed,Myi})^2) \leq n_s \cdot \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{Mb}$$

$$\text{SQRT}((22.4kN + 15.5kN)^2 + (0.1kN + 38.7kN)^2) \leq 2 \cdot 0.5 \cdot 1000N/mm^2 \cdot 0m^2 / 1.25$$

$$54.2kN \leq 125.6kN$$

$$43.14 \%$$

OK

Bolt Bearing Verification

Bolt Bearing on web Plate

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{v,Ed} \leq 1 * k_1 * \alpha_b * f_u * d * \Sigma(t_i) / \gamma_{Mb}$$

$$54.2\text{kN} \leq 1 * 2.19 * 0.65 * 360\text{N/mm}^2 * 16\text{mm} * 20\text{mm} / 1.25$$

$$54.2\text{kN} \leq 130.7\text{kN}$$

$$41.44 \%$$

OK

Bolt Bearing on web of the member

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{v,Ed} \leq 1 * k_1 * \alpha_b * f_u * d * \Sigma(t_i) / \gamma_{Mb}$$

$$54.2\text{kN} \leq 1 * 2.19 * 0.86 * 360\text{N/mm}^2 * 16\text{mm} * 9\text{mm} / 1.25$$

$$54.2\text{kN} \leq 78.2\text{kN}$$

$$69.32 \%$$

OK

Web Plate Verifications

Shear Yielding Verification

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$V_{Ed} \leq n_{Obj} * f_y * A_v / (\gamma_{M0} * \text{SQRT}(3))$$

$$0.9\text{kN} \leq 2 * 235\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / (1 * 1.73)$$

$$0.9\text{kN} \leq 352.8\text{kN}$$

$$0.26 \%$$

OK

Shear Ultimate Verification

$$V_{Ed} \leq V_{u,Rd}$$

$$V_{Ed} \leq n_{Obj} * 0.9 * f_u * A_{v,Net} / (\gamma_{M2} * \text{SQRT}(3))$$

$$0.9\text{kN} \leq 2 * 0.9 * 360\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / (1.25 * 1.73)$$

$$0.9\text{kN} \leq 281.3\text{kN}$$

$$0.32 \%$$

OK

Block Tearing Verification

$$V_{Ed} \leq V_{eff,2,Rd}$$

$$V_{Ed} \leq n_{Obj} * (0.5 * f_u * A_{nt} / \gamma_{M2} + f_y * A_{nv} / (\gamma_{M0} * \text{SQRT}(3)))$$

$$0.9\text{kN} \leq 2 * (0.5 * 360\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / 1.25 + 235\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / (1 * 1.73))$$

$$0.9\text{kN} \leq 259.4\text{kN}$$

$$0.35 \%$$

OK

Web of the Member Verifications

Member Web in Shear

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

$$V_{Ed} \leq n_{Obj} * f_y * A_v / (\gamma_{M0} * \text{SQRT}(3))$$

$$0.9\text{kN} \leq 1 * 235\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / (1 * 1.73)$$

$$0.9\text{kN} \leq 158.7\text{kN}$$

$$0.57 \%$$

OK

Block Tearing Verification

$$V_{Ed} \leq V_{eff,2,Rd}$$

$$V_{Ed} \leq n_{Obj} * (0.5 * f_u * A_{nt} / \gamma_{M2} + f_y * A_{nv} / (\gamma_{M0} * \text{SQRT}(3)))$$

$$0.9\text{kN} \leq 1 * (0.5 * 360\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / 1.25 + 235\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / (1 * 1.73))$$

$$0.9\text{kN} \leq 156.9\text{kN}$$

$$0.57 \%$$

OK

Bolt Verification on Left Web

Conditions

Min/Max bolt edge distance (on load direction)

$$1.2 * d_0 \leq e_1 \leq (4 * t + 40\text{mm})$$

$$21.6\text{mm} \leq 35\text{mm} \leq 76\text{mm}$$

OK

Min/Max bolt edge distance (perpendicular on load direction)

$$1.2 * d_0 \leq e_2 \leq (4 * t + 40\text{mm})$$

$$21.6\text{mm} \leq 43\text{mm} \leq 76\text{mm}$$

OK

Min/Max bolt spacing distance (on load direction)

$$2.2 * d_0 \leq p_1 \leq \min(14 * t; 200\text{mm})$$

$$39.6\text{mm} \leq 60\text{mm} \leq 126\text{mm}$$

OK

Min/Max bolt spacing distance (perpendicular on load direction)

$$2.4 * d_0 \leq p_2 \leq \min(14 * t; 200\text{mm})$$

$$43.2\text{mm} \leq 55\text{mm} \leq 126\text{mm}$$

OK

Bolt Shear Verification

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$\text{SQRT}((F_{v,Ed,Nx} + F_{v,Ed,Mxi})^2 + (F_{v,Ed,vy} + F_{v,Ed,Myi})^2) \leq n_s * \alpha_v * f_{ub} * A_s / \gamma_{Mb}$$

$$\text{SQRT}((22.4\text{kN} + 13.3\text{kN})^2 + (0.1\text{kN} + 36.6\text{kN})^2) \leq 2 * 0.5 * 1000\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / 1.25$$

$$51.2\text{kN} \leq 125.6\text{kN}$$

$$40.73 \%$$

OK

Bolt Bearing Verification

Bolt Bearing on web Plate

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{v,Ed} \leq 1 * k_1 * \alpha_b * f_u * d * \Sigma(t_i) / \gamma_{Mb}$$

$$51.2\text{kN} \leq 1 * 2.5 * 0.65 * 360\text{N/mm}^2 * 16\text{mm} * 20\text{mm} / 1.25$$

$$51.2\text{kN} \leq 149.3\text{kN}$$

$$34.26 \%$$

OK

Bolt Bearing on web of the member

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{v,Ed} \leq 1 * k_1 * \alpha_b * f_u * d * \Sigma(t_i) / \gamma_{Mb}$$

$$51.2\text{kN} \leq 1 * 2.5 * 0.86 * 360\text{N/mm}^2 * 16\text{mm} * 9\text{mm} / 1.25$$

$$51.2\text{kN} \leq 89.3\text{kN}$$

$$57.3 \%$$

OK

Web Plate Verifications

Shear Yielding Verification

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$
$$V_{Ed} \leq n_{Obj} * f_y * A_v / (\gamma_{M0} * \text{SQRT}(3))$$
$$0.9\text{kN} \leq 2 * 235\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / (1 * 1.73)$$
$$0.9\text{kN} \leq 352.8\text{kN}$$
$$0.26 \%$$

OK

Shear Ultimate Verification

$$V_{Ed} \leq V_{u,Rd}$$
$$V_{Ed} \leq n_{Obj} * 0.9 * f_u * A_{v,Net} / (\gamma_{M2} * \text{SQRT}(3))$$
$$0.9\text{kN} \leq 2 * 0.9 * 360\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / (1.25 * 1.73)$$
$$0.9\text{kN} \leq 281.3\text{kN}$$
$$0.32 \%$$

OK

Block Tearing Verification

$$V_{Ed} \leq V_{eff,2,Rd}$$
$$V_{Ed} \leq n_{Obj} * (0.5 * f_u * A_{nt} / \gamma_{M2} + f_y * A_{nv} / (\gamma_{M0} * \text{SQRT}(3)))$$
$$0.9\text{kN} \leq 2 * (0.5 * 360\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / 1.25 + 235\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / (1 * 1.73))$$
$$0.9\text{kN} \leq 282.4\text{kN}$$
$$0.32 \%$$

OK

Web of the Member Verifications

Member Web in Shear

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$
$$V_{Ed} \leq n_{Obj} * f_y * A_v / (\gamma_{M0} * \text{SQRT}(3))$$
$$0.9\text{kN} \leq 1 * 235\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / (1 * 1.73)$$
$$0.9\text{kN} \leq 158.7\text{kN}$$
$$0.57 \%$$

OK

Block Tearing Verification

$$V_{Ed} \leq V_{eff,2,Rd}$$
$$V_{Ed} \leq n_{Obj} * (0.5 * f_u * A_{nt} / \gamma_{M2} + f_y * A_{nv} / (\gamma_{M0} * \text{SQRT}(3)))$$
$$0.9\text{kN} \leq 1 * (0.5 * 360\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / 1.25 + 235\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / (1 * 1.73))$$
$$0.9\text{kN} \leq 156.9\text{kN}$$
$$0.57 \%$$

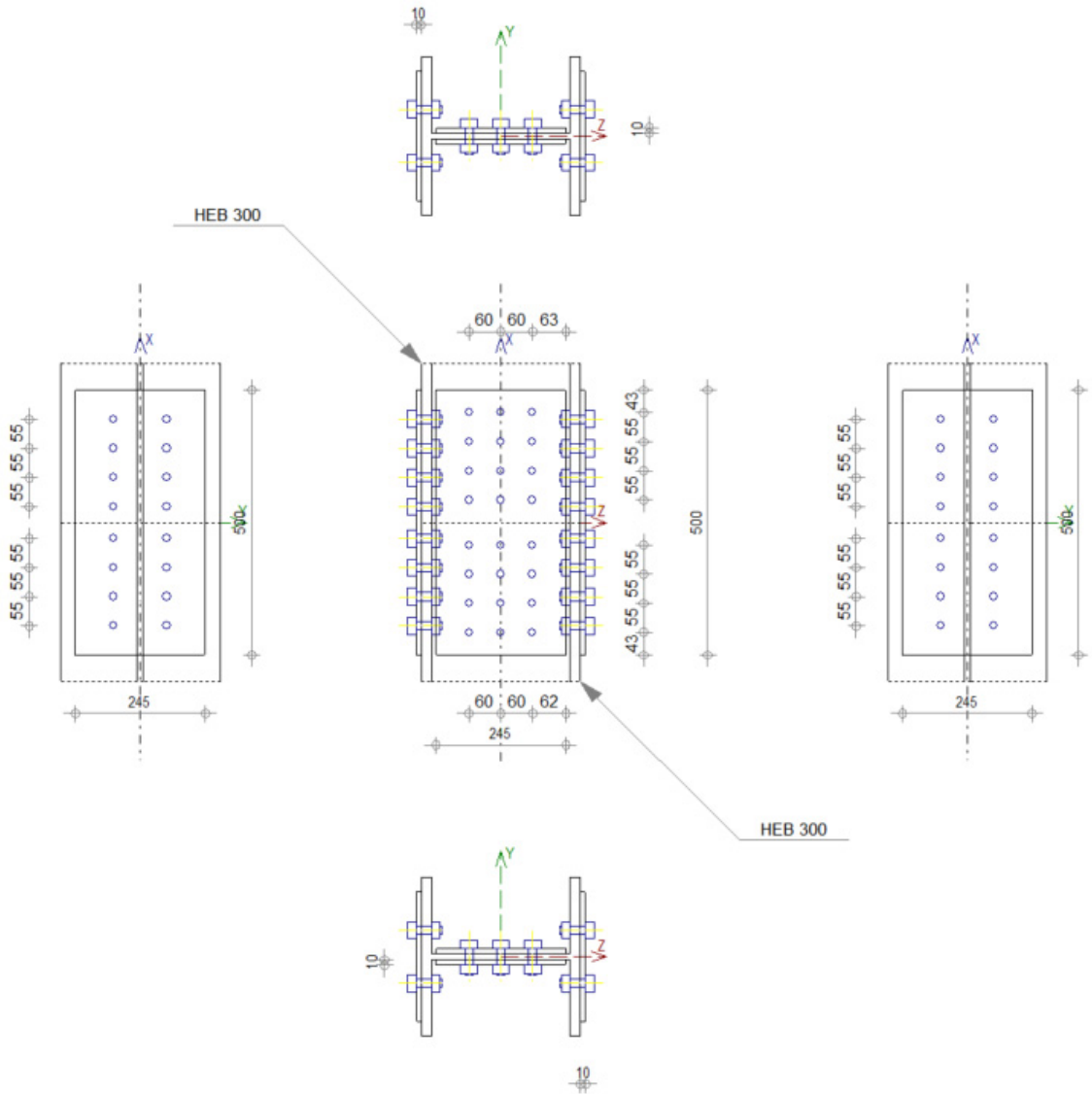
OK

Conclusion

The connection is correctly designed to resist the applied forces

→ Procedimento 2 – “Robot”

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2017 Calculation of the column-to-column splice connection EN 1993-1-8:2005/AC:2009	Ratio 0.29
--	--	----------------------



GENERAL

Connection no.: 2
Connection name: Empalme Escora

LOWER COLUMN

Section: HEB 200
 $h_{c1} = 200$ [mm] Height of beam section
 $b_{fc1} = 200$ [mm] Width of beam section
 $t_{wc1} = 9$ [mm] Thickness of the web of beam section
 $t_{fc1} = 15$ [mm] Thickness of the flange of beam section
 $r_{c1} = 18$ [mm] Radius of beam section fillet
 $A_{c1} = 78.08$ [cm²] Cross-sectional area of a beam
 $I_{yc1} = 5696.18$ [cm⁴] Moment of inertia of the beam section
Material: S 235
 $f_{yc1} = 235.00$ [MPa] Resistance
 $f_{uc1} = 360.00$ [MPa]

UPPER COLUMN

Section: HEB 200
 $h_{c2} = 200$ [mm] Height of beam section
 $b_{fc2} = 200$ [mm] Width of beam section
 $t_{wc2} = 9$ [mm] Thickness of the web of beam section
 $t_{fc2} = 15$ [mm] Thickness of the flange of beam section
 $r_{c2} = 18$ [mm] Radius of beam section fillet
 $A_{c2} = 78.08$ [cm²] Cross-sectional area of a beam
 $I_{yc2} = 5696.18$ [cm⁴] Moment of inertia of the beam section
Material: S 235
 $f_{yc2} = 235.00$ [MPa] Resistance
 $f_{uc2} = 360.00$ [MPa]

SPLICE PLATE

Type: bilateral
 $l_{pw} = 400$ [mm] Plate length
 $h_{pw} = 150$ [mm] Plate height
 $t_{pw} = 10$ [mm] Plate thickness
Material: S 235
 $f_{ypw} = 235.00$ [MPa] Design resistance
 $f_{upw} = 360.00$ [MPa] Tensile resistance

RIGHT EXTERNAL PLATE

$l_{pe} = 400$ [mm] Plate length
 $h_{pe} = 150$ [mm] Plate height
 $t_{pe} = 10$ [mm] Plate thickness
Material: S 235
 $f_{ype} = 235.00$ [MPa] Design resistance
 $f_{upe} = 360.00$ [MPa] Tensile resistance

LEFT EXTERNAL PLATE

$l_{pe} = 400$ [mm] Plate length
 $h_{pe} = 150$ [mm] Plate height
 $t_{pe} = 10$ [mm] Plate thickness

Material: S 235
 $f_{ypc} = 235.00$ [MPa] Design resistance
 $f_{upc} = 360.00$ [MPa] Tensile resistance

LOWER SIDE

BOLTS CONNECTING A SPLICE PLATE WITH THE COLUMN WEB

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

Connection category A

Class = 10.9 Bolt class
 $d = 16$ [mm] Bolt diameter
 $d_0 = 18$ [mm] Bolt opening diameter
 $A_s = 1.57$ [cm²] Effective section area of a bolt
 $A_v = 2.01$ [cm²] Area of bolt section
 $f_{yb} = 900.00$ [MPa] Yield strength of bolt
 $f_{ub} = 1000.00$ [MPa] Bolt tensile resistance
 $n_h = 4$ Number of bolt columns
 $n_v = 2$ Number of bolt rows
 $e_1 = 45$ [mm] Level of first bolt
 $p_2 = 45$ [mm] Horizontal spacing
 $p_1 = 60$ [mm] Vertical spacing

BOLTS CONNECTING A FLANGE PLATE WITH THE COLUMN RIGHT FLANGE

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

Connection category A

Class = 10.9 Bolt class
 $d = 16$ [mm] Bolt diameter
 $d_0 = 18$ [mm] Bolt opening diameter
 $A_s = 1.57$ [cm²] Effective section area of a bolt
 $A_v = 2.01$ [cm²] Area of bolt section
 $f_{yb} = 900.00$ [MPa] Yield strength of bolt
 $f_{ub} = 1000.00$ [MPa] Bolt tensile resistance
 $n_h = 1$ Number of bolt columns
 $n_v = 4$ Number of bolt rows
 $e_1 = 35$ [mm] Level of first bolt
 $p_1 = 45$ [mm] Vertical spacing

BOLTS CONNECTING A FLANGE PLATE WITH THE COLUMN LEFT FLANGE

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

Connection category A

Class = 10.9 Bolt class
 $d = 16$ [mm] Bolt diameter
 $d_0 = 18$ [mm] Bolt opening diameter
 $A_s = 1.57$ [cm²] Effective section area of a bolt
 $A_v = 2.01$ [cm²] Area of bolt section
 $f_{yb} = 900.00$ [MPa] Yield strength of bolt
 $f_{ub} = 1000.00$ [MPa] Bolt tensile resistance
 $n_h = 1$ Number of bolt columns
 $n_v = 4$ Number of bolt rows
 $e_1 = 35$ [mm] Level of first bolt
 $p_1 = 45$ [mm] Vertical spacing

UPPER SIDE

BOLTS CONNECTING A SPLICE PLATE WITH THE COLUMN WEB

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

Connection category A

Class =	10.9		Bolt class
d =	16	[mm]	Bolt diameter
d ₀ =	18	[mm]	Bolt opening diameter
A _s =	1.57	[cm ²]	Effective section area of a bolt
A _v =	2.01	[cm ²]	Area of bolt section
f _{yb} =	900.00	[MPa]	Yield strength of bolt
f _{ub} =	1000.00	[MPa]	Bolt tensile resistance
n _h =	4		Number of bolt columns
n _v =	2		Number of bolt rows
e ₁ =	45	[mm]	Level of first bolt
p ₂ =	45	[mm]	Horizontal spacing
p ₁ =	60	[mm]	Vertical spacing

BOLTS CONNECTING A FLANGE PLATE WITH THE COLUMN RIGHT FLANGE

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

Connection category A

Class =	10.9		Bolt class
d =	16	[mm]	Bolt diameter
d ₀ =	18	[mm]	Bolt opening diameter
A _s =	1.57	[cm ²]	Effective section area of a bolt
A _v =	2.01	[cm ²]	Area of bolt section
f _{yb} =	900.00	[MPa]	Yield strength of bolt
f _{ub} =	1000.00	[MPa]	Bolt tensile resistance
n _h =	1		Number of bolt columns
n _v =	4		Number of bolt rows
e ₁ =	35	[mm]	Level of first bolt
p ₁ =	45	[mm]	Vertical spacing

BOLTS CONNECTING A FLANGE PLATE WITH THE COLUMN LEFT FLANGE

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

Connection category A

Class =	10.9		Bolt class
d =	16	[mm]	Bolt diameter
d ₀ =	18	[mm]	Bolt opening diameter
A _s =	1.57	[cm ²]	Effective section area of a bolt
A _v =	2.01	[cm ²]	Area of bolt section
f _{yb} =	900.00	[MPa]	Yield strength of bolt
f _{ub} =	1000.00	[MPa]	Bolt tensile resistance
n _h =	1		Number of bolt columns
n _v =	4		Number of bolt rows
e ₁ =	35	[mm]	Level of first bolt
p ₁ =	45	[mm]	Vertical spacing

MATERIAL FACTORS

γ _{M0} =	1.00	Partial safety factor	[2.2]
γ _{M2} =	1.25	Partial safety factor	[2.2]

LOADS

Case: Manual calculations.




ULTIMATE LIMIT STATE

$N_{Ed1} =$	179.00	[kN]	Axial force
$V_{y,Ed1} =$	0.03	[kN]	Shear force
$V_{z,Ed1} =$	0.87	[kN]	Shear force
$M_{y,Ed1} =$	16.70	[kN*m]	Bending moment
$M_{Vz,Ed1} =$	-0.60	[kN*m]	Bending moment
$N_{Ed2} =$	179.00	[kN]	Axial force
$V_{y,Ed2} =$	0.03	[kN]	Shear force
$V_{z,Ed2} =$	0.87	[kN]	Shear force
$M_{y,Ed2} =$	16.70	[kN*m]	Bending moment
$M_{Vz,Ed2} =$	-0.60	[kN*m]	Bending moment

RESULTS

Results for one side of connection (geometry and loads are symmetrical)


Axial force

Plate	A_i [cm ²]	EQUIVALENT FORCES N_i [kN]	EQUIVALENT FORCES $N_i(M_{y,Ed})$ [kN]	Resultant force $N_{Ed,i}$ [kN]
	$A_{pw} = 30.00$	89.50	-	$N_{Ed,pw} = 89.50$
	$A_{pfue} = 15.00$	44.75	67.97	$N_{Ed,pfue} = 112.72$
	$A_{pfle} = 15.00$	44.75	-67.97	$N_{Ed,pfle} = -23.22$



$$N_i = (N_{Ed} * A_i) / (2 * A_{wp} + A_{pfue} + A_{pfle})$$

$$N_{Ed,i} = N_i + N_i(M_{y,Ed})$$

Shear force Z




Plate	A_i [cm ²]	$V_{z,Ed,i}$ [kN]
	$A_{z,pw} = 30.00$	$V_{z,Ed,pw} = 0.87$

Shear force Y

Plate	$A_{y,i}$ [cm ²]	$V_{y,Ed,i}$ [kN]
	$A_{y,fupe} = 15.00$	$V_{y,Ed,fupe} = 0.01$
	$A_{y,flpe} = 15.00$	$V_{y,Ed,flpe} = 0.01$


$$V_{y,i} = (V_{y,Ed} * A_{y,i}) / (A_{pfue} + A_{pfle})$$

Bending moment Y

Plate	$I_{y,i}$ [cm ⁴]	EQUIVALENT FORCES $M_{y,i}$ [kN*m]	Resultant force $M_{y,Ed,i}$ [kN*m]
	$I_{y,pw} = 562.50$	2.43	$M_{y,Ed,pw} = 2.43$
	$I_{y,pfue} = 1655.00$	7.14	-
	$I_{y,pfle} = 1655.00$	7.14	-


$$M_{y,i} = (M_{y,Ed} * I_{y,i}) / (2 * I_{pw} + I_{pfue} + I_{pfle})$$

Bending moment Z

Plate	$I_{z,i}$ [cm ⁴]	$M_{z,i}$ [kN*m]
	$I_{z,pfue} = 281.25$	$M_{z,Ed,pfue} = -0.30$

Dimensionamento de uma estrutura metálica de suporte de uma Tela Transportadora de Biomassa

Bending moment Z

Plate	I _{z,i} [cm ⁴]	M _{z,i} [kN*m]
	I _{z,pfle} = 281.25	M _{z,Ed,pfle} = -0.30

$$M_i = (M_{z,Ed} * I_{z,i}) / (I_{z,pfue} + I_{z,pfle})$$

BOLTS CONNECTING A SPLICE PLATE WITH THE COLUMN WEB

BOLT CAPACITIES

$$F_{V,Rd} = 193.02 \text{ [kN]} \quad \text{Shear bolt resistance in the unthreaded portion of a bolt} \quad F_{V,Rd} = 0.6 * f_{ub} * A_v * m / \gamma_{M2}$$

Bolt bearing on the column web

Direction x

$$k_{1x} = 2.50 \quad \text{Coefficient for calculation of } F_{b,Rd} \quad k_{1x} = \min[2.8 * (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 * (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$$

$$k_{1x} > 0.0 \quad 2.50 > 0.00 \quad \text{verified}$$

$$\alpha_{bx} = 0.58 \quad \text{Coefficient for calculation of } F_{b,Rd} \quad \alpha_{bx} = \min[e_2/(3*d_0), p_2/(3*d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$$

$$\alpha_{bx} > 0.0 \quad 0.58 > 0.00 \quad \text{verified}$$

$$F_{b,Rd1x} = 60.48 \text{ [kN]} \quad \text{Bearing resistance of a single bolt} \quad F_{b,Rd1x} = k_{1x} * \alpha_{bx} * f_u * d * \sum t_i / \gamma_{M2}$$

Direction z

$$k_{1z} = 1.80 \quad \text{Coefficient for calculation of } F_{b,Rd} \quad k_{1z} = \min[2.8 * (e_2/d_0) - 1.7, 1.4 * (p_2/d_0) - 1.7, 2.5]$$

$$k_{1z} > 0.0 \quad 1.80 > 0.00 \quad \text{verified}$$

$$\alpha_{bz} = 0.86 \quad \text{Coefficient for calculation of } F_{b,Rd} \quad \alpha_{bz} = \min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$$

$$\alpha_{bz} > 0.0 \quad 0.86 > 0.00 \quad \text{verified}$$

$$F_{b,Rd1z} = 64.28 \text{ [kN]} \quad \text{Bearing resistance of a single bolt} \quad F_{b,Rd1z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * \sum t_i / \gamma_{M2}$$

Bolt bearing on the plate

Direction x

$$k_{1x} = 2.50 \quad \text{Coefficient for calculation of } F_{b,Rd} \quad k_{1x} = \min[2.8 * (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 * (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$$

$$k_{1x} > 0.0 \quad 2.50 > 0.00 \quad \text{verified}$$

$$\alpha_{bx} = 0.58 \quad \text{Coefficient for calculation of } F_{b,Rd} \quad \alpha_{bx} = \min[e_2/(3*d_0), p_2/(3*d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$$

$$\alpha_{bx} > 0.0 \quad 0.58 > 0.00 \quad \text{verified}$$

$$F_{b,Rd2x} = 134.40 \text{ [kN]} \quad \text{Bearing resistance of a single bolt} \quad F_{b,Rd2x} = k_{1x} * \alpha_{bx} * f_u * d * \sum t_i / \gamma_{M2}$$

Direction z

$$k_{1z} = 1.80 \quad \text{Coefficient for calculation of } F_{b,Rd} \quad k_{1z} = \min[2.8 * (e_2/d_0) - 1.7, 1.4 * (p_2/d_0) - 1.7, 2.5]$$

$$k_{1z} > 0.0 \quad 1.80 > 0.00 \quad \text{verified}$$

$$\alpha_{bz} = 0.83 \quad \text{Coefficient for calculation of } F_{b,Rd} \quad \alpha_{bz} = \min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$$

$$\alpha_{bz} > 0.0 \quad 0.83 > 0.00 \quad \text{verified}$$

$$F_{b,Rd2z} = 138.24 \text{ [kN]} \quad \text{Bearing resistance of a single bolt} \quad F_{b,Rd2z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * \sum t_i / \gamma_{M2}$$

ULTIMATE LIMIT STATE

Bolt shear

$$e_0 = 100 \text{ [mm]} \quad \text{Shear force eccentricity relative to the center of gravity of a bolt group} \quad e_0 = e_{2b} + 0.5 * (s_1 + (c - 1) * p_2)$$

$$M_y = 2.51 \text{ [kN*m]} \quad \text{Real bending moment} \quad M_y = M_{y,Ed,pw} + V_{z,Ed,pw} * e_0$$

$$F_{x,N} = 11.19 \text{ [kN]} \quad \text{Component force in a bolt due to influence of the longitudinal force on the x direction} \quad F_{x,N} = |N_{Ed,pw}| / n_b$$

$$F_{z,Vz} = 0.11 \text{ [kN]} \quad \text{Component force in a bolt due to influence of the shear force Vz on the z direction} \quad F_{z,Vz} = |V_{z,Ed,pw}| / n_b$$

$$F_{x,My} = 2.75 \text{ [kN]} \quad \text{Component force in a bolt due to influence of the moment My on the x direction} \quad F_{x,My} = |M_y| * z_i / \sum (x_i^2 + z_i^2)$$

$$F_{z,My} = 6.18 \text{ [kN]} \quad \text{Component force in a bolt due to influence of the moment My on the z direction} \quad F_{z,My} = |M_y| * x_i / \sum (x_i^2 + z_i^2)$$

$$F_{x,Ed} = 13.93 \text{ [kN]} \quad \text{Design total force in a bolt on the direction x} \quad F_{x,Ed} = F_{x,N} + F_{x,My}$$

$$F_{z,Ed} = 6.29 \text{ [kN]} \quad \text{Design total force in a bolt on the direction z} \quad F_{z,Ed} = F_{z,Vz} + F_{z,My}$$

$e_0 = 100$ [mm]	Shear force eccentricity relative to the center of gravity of a bolt group	$e_0 = e_{2b} + 0.5 \cdot (s_1 + (c-1) \cdot p_2)$
$F_{Ed} = 15.29$ [kN]	Resultant shear force in a bolt	$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$
$F_{Rd,x} = 60.48$ [kN]	Effective design capacity of a bolt on the direction x	$F_{Rd,x} = \min(F_{bRd1,x}, F_{bRd2,x})$
$F_{Rd,z} = 64.28$ [kN]	Effective design capacity of a bolt on the direction z	$F_{Rd,z} = \min(F_{bRd1,z}, F_{bRd2,z})$
$ F_{x,Ed} \leq F_{Rd,x}$	$ 13.93 < 60.48$	verified (0.23)
$ F_{z,Ed} \leq F_{Rd,z}$	$ 6.29 < 64.28$	verified (0.10)
$F_{Ed} \leq F_{V,Rd}$	$15.29 < 193.02$	verified (0.08)

BOLTS CONNECTING A FLANGE PLATE WITH THE COLUMN RIGHT FLANGE

BOLT CAPACITIES

$F_{V,Rd} = 96.51$ [kN] Shear resistance of the shank of a single bolt $F_{V,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_v \cdot m / \gamma_{M2}$

Bolt bearing on the column flange

Direction x

$k_{1x} = 2.50$ Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$ $k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1x} > 0.0$ $2.50 > 0.00$ verified

$\alpha_{bx} = 0.58$ Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bx} > 0.0$ $0.58 > 0.00$ verified

$F_{b,Rd1x} = 100.80$ [kN] Bearing resistance of a single bolt $F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$

Direction y

$k_{1y} = 1.80$ Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$ $k_{1y} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1y} > 0.0$ $1.80 > 0.00$ verified

$\alpha_{by} = 1.00$ Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$ $\alpha_{by} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{by} > 0.0$ $1.00 > 0.00$ verified

$F_{b,Rd1y} = 124.42$ [kN] Bearing resistance of a single bolt $F_{b,Rd1y} = k_{1y} \cdot \alpha_{by} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$

Bolt bearing on the plate

Direction x

$k_{1x} = 2.50$ Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$ $k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1x} > 0.0$ $2.50 > 0.00$ verified

$\alpha_{bx} = 0.56$ Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bx} > 0.0$ $0.56 > 0.00$ verified

$F_{b,Rd2x} = 64.00$ [kN] Bearing resistance of a single bolt $F_{b,Rd2x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$

Direction y

$k_{1y} = 1.80$ Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$ $k_{1y} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1y} > 0.0$ $1.80 > 0.00$ verified

$\alpha_{by} = 0.69$ Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$ $\alpha_{by} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{by} > 0.0$ $0.69 > 0.00$ verified

$F_{b,Rd2y} = 57.60$ [kN] Bearing resistance of a single bolt $F_{b,Rd2y} = k_{1y} \cdot \alpha_{by} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$

ULTIMATE LIMIT STATE

Bolt shear

$e_0 = 103$ [mm] Shear force eccentricity relative to the center of gravity of a bolt group $e_0 = e_{1b} + 0.5 \cdot (r-1) \cdot p_1$

$M_z = 0.30$ [kN*m] Real bending moment $M_z = M_{z,Ed,pf} + V_{y,Ed,pf} \cdot e_0$

$F_{x,N} = 14.52$ [kN] Component force in a bolt due to influence of the longitudinal force on the x direction $F_{x,N} = |N_{Ed,pf}| / n_b$

$F_{y,Vy} = 0.00$ [kN] Component force in a bolt due to influence of the shear force Vy on the y direction $F_{y,Vy} = |V_{y,Ed,pf}| / n_b$

$F_{x,Mz} = 0.36$ [kN] Component force in a bolt due to influence of the moment Mz on the $F_{x,Mz} = |M_z| \cdot y_i / \sum (x_i^2 + y_i^2)$

Dimensionamento de uma estrutura metálica de suporte de uma Tela Transportadora de Biomassa

Bolt shear

$e_0 = 103$ [mm]	Shear force eccentricity relative to the center of gravity of a bolt group	$e_0 = e_{1b} + 0.5 \cdot (r_1 - 1) \cdot p_1$
=	x direction	i^2
$F_{y,Mz} = 0.64$ [kN]	Component force in a bolt due to influence of the moment M_z on the y direction	$F_{y,Mz} = M_z \cdot x_i / \sum (x_i^2 + y_i^2)$
$F_{x,Ed} = 14.87$ [kN]	Design total force in a bolt on the direction x	$F_{x,Ed} = F_{x,N} + F_{x,Mz}$
$F_{y,Ed} = 0.64$ [kN]	Design total force in a bolt on the direction y	$F_{y,Mz} = F_{y,Vy} + F_{y,Mz}$
$F_{Ed} = 14.88$ [kN]	Resultant shear force in a bolt	$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{y,Ed}^2}$
$F_{x,Rd} = 64.00$ [kN]	Effective design capacity of a bolt on the direction x	$F_{x,Rd} = \min(F_{x,bRd1}, F_{x,bRd2})$
$F_{y,Rd} = 57.60$ [kN]	Effective design capacity of a bolt on the direction y	$F_{y,Rd} = \min(F_{y,bRd1}, F_{y,bRd2})$
$ F_{x,Ed} \leq F_{x,Rd}$	$ 14.87 < 64.00$	verified (0.23)
$ F_{y,Ed} \leq F_{y,Rd}$	$ 0.64 < 57.60$	verified (0.01)
$F_{Ed} \leq F_{V,Rd}$	$14.88 < 96.51$	verified (0.15)

BOLTS CONNECTING A FLANGE PLATE WITH THE COLUMN LEFT FLANGE

BOLT CAPACITIES

$F_{V,Rd} = 96.51$ [kN] Shear resistance of the shank of a single bolt $F_{V,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_v \cdot m / \gamma_{M2}$

Bolt bearing on the column flange

Direction x

$k_{1x} = 2.50$ Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$ $k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1x} > 0.0$ $2.50 > 0.00$ **verified**

$\alpha_{bx} = 0.58$ Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bx} > 0.0$ $0.58 > 0.00$ **verified**

$F_{b,Rd1x} = 100.80$ [kN] Bearing resistance of a single bolt $F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$

Direction y

$k_{1y} = 1.80$ Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$ $k_{1y} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1y} > 0.0$ $1.80 > 0.00$ **verified**

$\alpha_{by} = 1.00$ Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$ $\alpha_{by} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{by} > 0.0$ $1.00 > 0.00$ **verified**

$F_{b,Rd1y} = 124.42$ [kN] Bearing resistance of a single bolt $F_{b,Rd1y} = k_{1y} \cdot \alpha_{by} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$

Bolt bearing on the plate

Direction x

$k_{1x} = 2.50$ Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$ $k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1x} > 0.0$ $2.50 > 0.00$ **verified**

$\alpha_{bx} = 0.56$ Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bx} > 0.0$ $0.56 > 0.00$ **verified**

$F_{b,Rd2x} = 64.00$ [kN] Bearing resistance of a single bolt $F_{b,Rd2x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$

Direction y

$k_{1y} = 1.80$ Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$ $k_{1y} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1y} > 0.0$ $1.80 > 0.00$ **verified**

$\alpha_{by} = 0.69$ Coefficient for calculation of $F_{b,Rd}$ $\alpha_{by} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{by} > 0.0$ $0.69 > 0.00$ **verified**

$F_{b,Rd2y} = 57.60$ [kN] Bearing resistance of a single bolt $F_{b,Rd2y} = k_{1y} \cdot \alpha_{by} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$

ULTIMATE LIMIT STATE

Bolt shear

$e_0 = 103$ [mm]	Shear force eccentricity relative to the center of gravity of a bolt group	$e_0 = e_{1b} + 0.5 \cdot (r-1) \cdot p_1$
$M_z = 0.30$ [kN·m]	Real bending moment	$M_z = M_{z,Ed,pr} + V_{y,Ed,pr} \cdot e_0$
$F_{x,N} = 3.33$ [kN]	Component force in a bolt due to influence of the longitudinal force on the x direction	$F_{x,N} = N_{Ed,pr} / n_b$
$F_{y,Vy} = 0.00$ [kN]	Component force in a bolt due to influence of the shear force V_y on the y direction	$F_{y,Vy} = V_{y,Ed,pr} / n_b$
$F_{x,Mz} = 0.36$ [kN]	Component force in a bolt due to influence of the moment M_z on the x direction	$F_{x,Mz} = M_z \cdot y_i / \sum (x_i^2 + y_i^2)$
$F_{y,Mz} = 0.64$ [kN]	Component force in a bolt due to influence of the moment M_z on the y direction	$F_{y,Mz} = M_z \cdot x_i / \sum (x_i^2 + y_i^2)$
$F_{x,Ed} = 2.97$ [kN]	Design total force in a bolt on the direction x	$F_{x,Ed} = F_{x,N} + F_{x,Mz}$
$F_{y,Ed} = 0.64$ [kN]	Design total force in a bolt on the direction y	$F_{y,Ed} = F_{y,Vy} + F_{y,Mz}$
$F_{Ed} = 3.04$ [kN]	Resultant shear force in a bolt	$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{y,Ed}^2}$
$F_{x,Rd} = 64.00$ [kN]	Effective design capacity of a bolt on the direction x	$F_{x,Rd} = \min(F_{x,bRd1}, F_{x,bRd2})$
$F_{y,Rd} = 57.60$ [kN]	Effective design capacity of a bolt on the direction y	$F_{y,Rd} = \min(F_{y,bRd1}, F_{y,bRd2})$
$ F_{x,Ed} \leq F_{x,Rd}$	$ -2.97 < 64.00$	verified (0.05)
$ F_{y,Ed} \leq F_{y,Rd}$	$ 0.64 < 57.60$	verified (0.01)
$F_{Ed} \leq F_{v,Rd}$	$3.04 < 96.51$	verified (0.03)

VERIFICATION OF THE SECTION DUE TO BLOCK TEARING - [3.10]

COLUMN

Nr	Model	A_{nv} [cm ²]	A_{nt} [cm ²]	V_0 [kN]	$V_{eff,Rd}$ [kN]	$ V_0 /V_{eff,Rd}$	Status
1		9.27	9.40	0.87 (*1)	261.20 (*)	0.00	verified
2		9.40	44.40	89.50 (*2)	1406.20 (**)	0.06	verified
3		9.40	44.40	89.50 (*2)	1406.20 (**)	0.06	verified
4		18.81	3.78	89.50 (*2)	364.07 (**)	0.25	verified
5		16.05	8.02	116.12 (*3)	897.76 (***)	0.13	verified

(*1) $V_0 = V_{zEd1}$

(*2) $V_0 = N_{wEd}$

(*3) $V_0 = N_{fuEd}$

(*) $V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$

(**) $V_{effRd} = f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$

(***) $V_{effRd} = 2 \cdot [f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}]$

SPLICE PLATE

Nr	Model	A_{nv} [cm ²]	A_{nt} [cm ²]	V_0 [kN]	$V_{eff,Rd}$ [kN]	$ V_0 /V_{eff,Rd}$	Status
1		7.80	10.45	0.43 (*1)	256.31 (*)	0.00	verified
2		10.45	7.80	44.75 (*2)	366.42 (**)	0.12	verified
3		10.45	7.80	44.75 (*2)	366.42 (**)	0.12	verified
4		20.90	4.20	44.75 (*2)	404.53 (**)	0.11	verified

Dimensionamento de uma estrutura metálica de suporte de uma Tela Transportadora de Biomassa




(*1) $V_0 = V_{zEd1}$

(*2) $V_0 = N_{wEd}$

(*) $V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$

(**) $V_{effRd} = f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$

RIGHT EXTERNAL PLATE

Nr	Model	A_{nv} [cm ²]	A_{nt} [cm ²]	V_0 [kN]	$V_{eff,Rd}$ [kN]	$ V_0 /V_{eff,Rd}$	Status
1		4.80	10.20	0.01 (*1)	212.01 (*)	0.00	verified
2		10.20	8.55	112.72 (*2)	384.63 (**)	0.29	verified
3		20.40	5.70	112.72 (*2)	440.94 (**)	0.26	verified

(*1) $V_0 = 0.5 \cdot V_{yEd1}$

(*2) $V_0 = N_{fueEd}$

(*) $V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$

(**) $V_{effRd} = f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$

LEFT EXTERNAL PLATE

Nr	Model	A_{nv} [cm ²]	A_{nt} [cm ²]	V_0 [kN]	$V_{eff,Rd}$ [kN]	$ V_0 /V_{eff,Rd}$	Status
1		4.80	10.20	0.01 (*1)	212.01 (*)	0.00	verified

(*1) $V_0 = 0.5 \cdot V_{yEd1}$

(*) $V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$

VERIFICATION OF SECTIONS WEAKENED BY OPENINGS - [5.4]

COLUMN

$A_t = 46.08$ [cm²] Area of tension zone of the gross section

$A_{t,net} = 37.44$ [cm²] Net area of the section in tension

$0.9 \cdot (A_{t,net}/A_t) \geq (f_y \cdot \gamma_{M2}) / (f_u \cdot \gamma_{M0})$ 0.73 < 0.82

$W = 569.62$ [cm³] Elastic section modulus

$W_{net} = 569.62$ [cm³] Elastic section modulus

$M_{c,Rdnet} = 133.86$ [kN*m] Design resistance of the section for bending

$M_{c,Rdnet} = W_{net} \cdot f_{yp} / \gamma_{M0}$

$|M_0| \leq M_{c,Rdnet}$ |16.70| < 133.86 **verified**

(0.12)

$A_v = 18.00$ [cm²] Effective section area for shear

$A_v = h_p \cdot t_p$

$A_{v,net} = 14.76$ [cm²] Net area of a section effective for shear

$A_{v,net} = A_v - n_v \cdot d_0 \cdot t_p$

$V_{pl,Rd} = 244.22$ [kN] Design plastic resistance for shear

$V_{pl,Rd} = (A_v \cdot f_{yp}) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$

$|V_0| \leq V_{pl,Rd}$ |0.87| < 244.22 **verified**

(0.00)

SPLICE PLATE

$A_t = 14.18$ [cm²] Area of tension zone of the gross section

$A_{t,net} = 10.58$ [cm²] Net area of the section in tension

$0.9 \cdot (A_{t,net}/A_t) \geq (f_y \cdot \gamma_{M2}) / (f_u \cdot \gamma_{M0})$ 0.67 < 0.82

$W = 37.50$ [cm³] Elastic section modulus

$W_{net} = 33.05$ [cm³] Elastic section modulus

$M_{c,Rdnet} = 7.77$ [kN*m] Design resistance of the section for bending

$M_{c,Rdnet} = W_{net} \cdot f_{yp} / \gamma_{M0}$

$|M_0| \leq M_{c,Rdnet}$ |1.26| < 7.77 **verified**

(0.16)

$A_v = 15.00$ [cm²] Effective section area for shear

$A_v = h_p \cdot t_p$

$A_{v,net} = 11.40$ [cm²] Net area of a section effective for shear

$A_{v,net} = A_v - n_v \cdot d_0 \cdot t_p$

$V_{pl,Rd} = 203.52$ [kN] Design plastic resistance for shear

$V_{pl,Rd} = (A_v \cdot f_{yp}) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$

$|V_0| \leq V_{pl,Rd}$ |0.43| < 203.52 **verified**

(0.00)

RIGHT EXTERNAL PLATE

$A_t =$	15.00	[cm ²]	Area of tension zone of the gross section	
$A_{t,net} =$	11.40	[cm ²]	Net area of the section in tension	
$0.9 \cdot (A_{t,net}/A_t) \geq (f_y \cdot \gamma_{M2}) / (f_u \cdot \gamma_{M0})$			0.68 < 0.82	
$W =$	37.50	[cm ³]	Elastic section modulus	
$W_{net} =$	30.62	[cm ³]	Elastic section modulus	
$M_{c,Rdnet} =$	7.20	[kN*m]	Design resistance of the section for bending	$M_{c,Rdnet} = W_{net} \cdot f_{yp} / \gamma_{M0}$
$ M_0 \leq M_{c,Rdnet}$			$ -0.30 < 7.20$	verified (0.04)
$A_v =$	15.00	[cm ²]	Effective section area for shear	$A_v = h_p \cdot t_p$
$A_{v,net} =$	11.40	[cm ²]	Net area of a section effective for shear	$A_{v,net} = A_v - n_v \cdot d_0 \cdot t_p$
$V_{pl,Rd} =$	203.52	[kN]	Design plastic resistance for shear	$V_{pl,Rd} = (A_v \cdot f_{yp}) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$
$ V_0 \leq V_{pl,Rd}$			$ 0.01 < 203.52$	verified (0.00)

LEFT EXTERNAL PLATE

$A_t =$	15.00	[cm ²]	Area of tension zone of the gross section	
$A_{t,net} =$	11.40	[cm ²]	Net area of the section in tension	
$0.9 \cdot (A_{t,net}/A_t) \geq (f_y \cdot \gamma_{M2}) / (f_u \cdot \gamma_{M0})$			0.68 < 0.82	
$W =$	37.50	[cm ³]	Elastic section modulus	
$W_{net} =$	30.62	[cm ³]	Elastic section modulus	
$M_{c,Rdnet} =$	7.20	[kN*m]	Design resistance of the section for bending	$M_{c,Rdnet} = W_{net} \cdot f_{yp} / \gamma_{M0}$
$ M_0 \leq M_{c,Rdnet}$			$ -0.30 < 7.20$	verified (0.04)
$A_v =$	15.00	[cm ²]	Effective section area for shear	$A_v = h_p \cdot t_p$
$A_{v,net} =$	11.40	[cm ²]	Net area of a section effective for shear	$A_{v,net} = A_v - n_v \cdot d_0 \cdot t_p$
$V_{pl,Rd} =$	203.52	[kN]	Design plastic resistance for shear	$V_{pl,Rd} = (A_v \cdot f_{yp}) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$
$ V_0 \leq V_{pl,Rd}$			$ 0.01 < 203.52$	verified (0.00)

Connection conforms to the code	Ratio	0.29
--	--------------	------

◆ **Conclusão**

Ambos os procedimentos resultam na verificação a segurança dos critérios de dimensionamento destas ligações.

ANEXO XV – Ligação Base do Pilar com Plintos

Apresentam-se os relatórios completos do dimensionamento das ligações mais esforçadas realizados em “Advance Steel” e “Robot”.

→ Procedimento 1 – “Advance Steel”

Base plate

Standard: EC3

Base plate Description

Anchor Bolt Verification

- Conditions
- Anchor Bolt Tension Verification
- Anchor Bolt Punching Shear Resistance
- Anchor Bolt Shear And Tension Verification
- Design Tension Resistance - Individual Anchor Bolt Rows
- Design Tension Resistance - Group of Anchor Bolt Rows

Weld Verification Column flange - plate

- Conditions
- Weld verification

Weld Verification Column web - plate

- Conditions
- Weld verification

Resistance of column base plate

- Column base plate in axial forces - compression
- Column base plate in shear force

Column Verification

- Column Web Panel in Shear

Conclusion

- The connection is correctly designed to resist the applied forces

Base plate Description

Connection Details

Connected elements

Element	Profiles	Height	Width	Web thickness	Flange thickness	Rounding radius	Material	Id
Column	HEB300	300mm	300mm	11mm	19mm	27mm	S235	39
Concrete beam	C50	500mm	500mm	0mm	0mm	0mm	C20/25	10814

Dimensionamento de uma estrutura metálica de suporte de uma Tela Transportadora de Biomassa

Design efforts

Case name	M	N	V
SimpleMaxTorsor	0kNm	142.7kN	2.3kN

Welds thickness

Weld name	Thickness
Column flange - plate	4mm
Column web - plate	4mm

Anchor properties

Connecting	Type	Diameter	Number of anchors	Grade	Assembly	Hole diameter	Area
Base plate - Concrete block	US J-Round Anchors	20mm	4	10.9	MuS	2mm	0m ²

Anchor Bolt Verification

Conditions

Min/Max bolt edge distance (on load direction)

$$1.2 \cdot d_0 \leq e_1 \leq (4 \cdot t + 40\text{mm})$$

$$26.4\text{mm} \leq 100\text{mm} \leq 100\text{mm}$$

OK

Min/Max bolt edge distance (perpendicular on load direction)

$$1.2 \cdot d_0 \leq e_2 \leq (4 \cdot t + 40\text{mm})$$

$$26.4\text{mm} \leq 100\text{mm} \leq 100\text{mm}$$

OK

Min/Max bolt spacing distance (on load direction)

$$2.2 \cdot d_0 \leq p_1 \leq \min(14 \cdot t; 200\text{mm})$$

$$48.4\text{mm} \leq 200\text{mm} \leq 200\text{mm}$$

OK

Min/Max bolt spacing distance (perpendicular on load direction)

$$2.4 \cdot d_0 \leq p_2 \leq \min(14 \cdot t; 200\text{mm})$$

$$52.8\text{mm} \leq 200\text{mm} \leq 200\text{mm}$$

OK

Anchor Bolt Tension Verification

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$$

$$N_{Ed} / (n_{obj} \cdot n) \leq k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{Mb}$$

$$142.7\text{kN} / (1 \cdot 4) \leq 0.9 \cdot 1040\text{N/mm}^2 \cdot 0\text{m}^2 / 1.25$$

$$35.7\text{kN} \leq 183.5\text{kN}$$

$$19.45 \%$$

OK

Anchor Bolt Punching Shear Resistance

$$F_{vb,Ed} \leq F_{vb,Rd}$$

$$V_{Ed}/(n_{obj} \cdot n) \leq \min(k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot \Sigma(t_i) / \gamma_{M2}; \alpha_b \cdot f_{ub} \cdot A_s / \gamma_{Mb})$$

$$2.3kN/(1 \cdot 4) \leq \min(2.5 \cdot 1 \cdot 360N/mm^2 \cdot 20mm \cdot 15mm / 1.25; 0.17 \cdot 1040N/mm^2 \cdot 0m^2 / 1.25)$$

$$0.6kN \leq 34.7kN$$

$$1.66 \%$$

OK

Anchor Bolt Shear And Tension Verification

$$F_{v,Ed} / F_{v,Rd} + F_{t,Ed} / (1.4 \cdot F_{t,Rd}) \leq 1$$

$$0.6kN / 34.7kN + 35.7kN / (1.4 \cdot 183.5kN) \leq 1$$

$$0.16 \leq 1$$

OK

Design Tension Resistance - Individual Anchor Bolt Rows

Anchor bolt row 1:

$$F_{t1,Ed} \leq F_{t1,Rd}$$

$$n_v \cdot [M_{Ed} \cdot h_1 / (n_v \cdot \Sigma(h_i^2)) + N_{Ed} / (n_{obj} \cdot n_{h,t})] \leq F_{t1,ep,Rd}$$

$$2 \cdot [0kNm \cdot 240.5mm / (2 \cdot 0.12m^2) + 142.7kN / (1 \cdot 4)] \leq 166.1kN$$

$$71.3kN \leq 166.1kN \text{ from (Design tension resistance for end plate in bending)}$$

$$42.95 \%$$

OK

Anchor bolt row 2:

$$F_{t2,Ed} \leq F_{t2,Rd}$$

$$n_v \cdot [M_{Ed} \cdot h_2 / (n_v \cdot \Sigma(h_i^2)) + N_{Ed} / (n_{obj} \cdot n_{h,t})] \leq F_{t2,ep,Rd}$$

$$2 \cdot [0kNm \cdot 40.5mm / (2 \cdot 0.12m^2) + 142.7kN / (1 \cdot 4)] \leq 142.5kN$$

$$71.3kN \leq 142.5kN \text{ from (Design tension resistance for end plate in bending)}$$

$$50.08 \%$$

OK

Design Tension Resistance - Group of Anchor Bolt Rows

Anchor bolt rows 1-2:

$$\Sigma(F_{tr,Ed}) \leq F_{t1-2,ep,Rd}$$

$$142.7kN \leq 396.7kN \text{ from (Design tension resistance for base plate in bending)}$$

$$35.97 \%$$

OK

Weld Verification Column flange - plate

Conditions

$$a < 0.7 \cdot \min(t_p; t_{cf})$$

$$4mm \leq 10.5mm$$

OK

Minimum weld thickness

$$3 \text{ mm} \leq a$$

$$3mm \leq 4mm$$

OK

Minimum weld length

$$\max(30mm; 6 \cdot a) \leq l_{eff}$$

Dimensionamento de uma estrutura metálica de suporte de uma Tela Transportadora de Biomassa

$30\text{mm} \leq 565\text{mm}$

OK

Maximum weld length

$l_{\text{eff}} \leq 150 * a$

$565\text{mm} \leq 600\text{mm}$

OK

Weld verification

$F_{w,Ed,Res} \leq F_{w,Rd}$

$M_{Ed} / h_f + N_{Ed} / 2 \leq n_{Obj} * n_w * f_{vw,d} * a * l_{\text{eff}}$

$0\text{kNm} / 281\text{mm} + 142.7\text{kN} / 2 \leq 1 * 1 * 207.8\text{N/mm}^2 * 4\text{mm} * 565\text{mm}$

$71.3\text{kN} \leq 469.7\text{kN}$

15.19 %

OK

Weld Verification Column web - plate

Conditions

$a < 0.7 * \min(t_p; t_{cw})$

$4\text{mm} \leq 7.7\text{mm}$

OK

Minimum weld thickness

$3\text{mm} \leq a$

$3\text{mm} \leq 4\text{mm}$

OK

Minimum weld length

$\max(30\text{mm}; 6 * a) \leq l_{\text{eff}}$

$30\text{mm} \leq 200\text{mm}$

OK

Maximum weld length

$l_{\text{eff}} \leq 150 * a$

$200\text{mm} \leq 600\text{mm}$

OK

Weld verification

$F_{w,Ed,Res} \leq F_{w,Rd}$

$V_{Ed} \leq n_{Obj} * n_w * f_{vw,d} * a * l_{\text{eff}}$

$2.3\text{kN} \leq 1 * 2 * 207.8\text{N/mm}^2 * 4\text{mm} * 200\text{mm}$

$2.3\text{kN} \leq 332.6\text{kN}$

0.69 %

OK

Resistance of column base plate

Column base plate in axial forces - compression

Conditions

if $N_{c,Ed} > 0$ verification is not necessary

Column base plate in shear force

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$F_{v,Ed} \leq C_{F,d} * N_{c,Ed} + n * F_{vb,Rd}$$

$$2.3\text{kN} \leq 0.2 * 0\text{kN} + 4 * 34.7\text{kN}$$

$$2.3\text{kN} \leq 138.6\text{kN}$$

$$1.66 \%$$

OK

Column Verification

Column Web Panel in Shear

Conditions

$$d / t_w \leq 69 * \epsilon$$

$$208\text{mm} / 11\text{mm} \leq 69 * 1$$

$$18.91 \leq 69$$

OK

Column web panel in shear

$$V_{wp,Ed} \leq V_{wp,Rd}$$

$$V_{Ed} \leq 0.9 * f_{y,wc} * A_{vc} / (\text{SQRT}(3) * \gamma_{M0})$$

$$2.3\text{kN} \leq 0.9 * 235\text{N/mm}^2 * 0\text{m}^2 / (1.73 * 1)$$

$$2.3\text{kN} \leq 579.4\text{kN}$$

$$0.4 \%$$

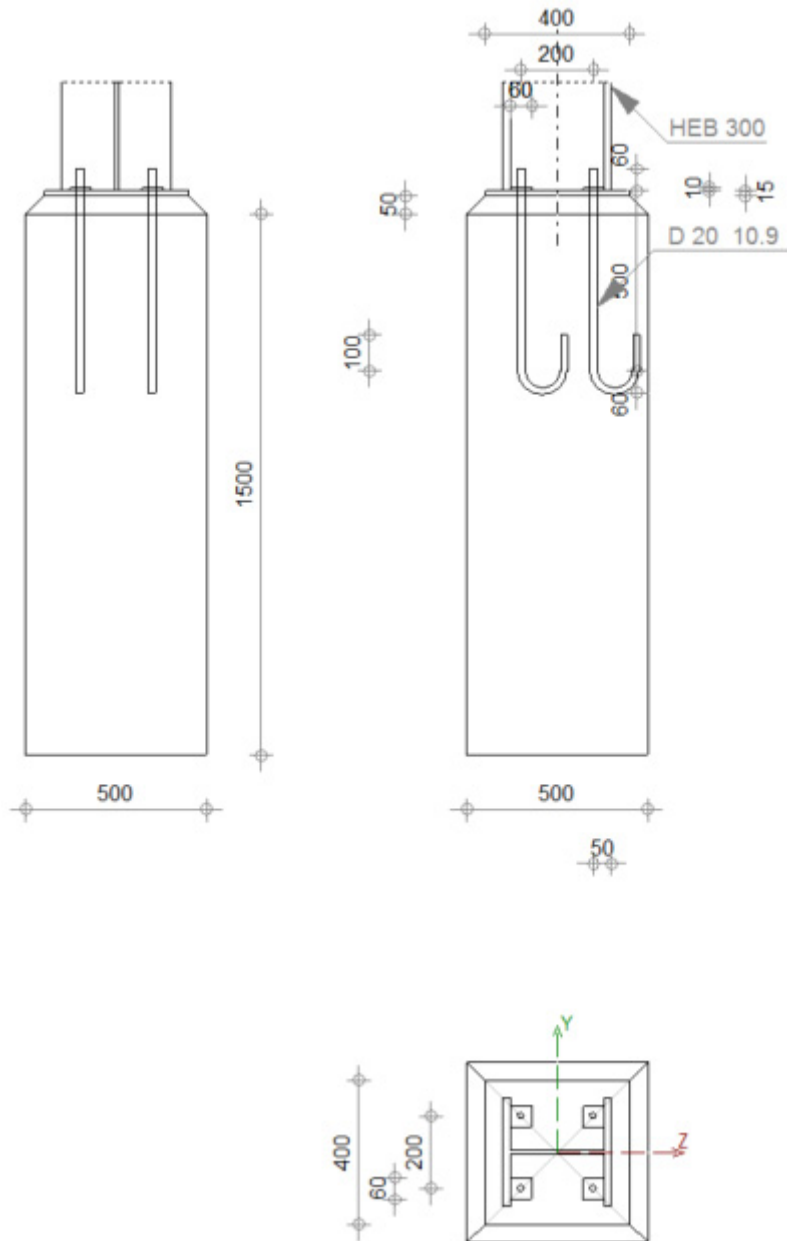
OK

Conclusion

The connection is correctly designed to resist the applied forces

→ Procedimento 2 – “Robot”

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2017	
	Pinned column base design Eurocode 3: EN 1993-1-8:2005/AC:2009 + CEB Design Guide: Design of fastenings in concrete	Ratio 0.45



GENERAL

Connection no.: 3
 Connection name: Base do Pilar
 Structure node: 387
 Structure bars: 422

GEOMETRY

COLUMN

Section: HEB 300
 Bar no.: 422
 $L_c = 9.52$ [m] Column length
 $\alpha = 97.5$ [Deg] Inclination angle
 $h_c = 300$ [mm] Height of column section
 $b_{fc} = 300$ [mm] Width of column section
 $t_{wc} = 11$ [mm] Thickness of the web of column section
 $t_{fc} = 19$ [mm] Thickness of the flange of column section
 $r_c = 27$ [mm] Radius of column section fillet
 $A_c = 149.08$ [cm²] Cross-sectional area of a column
 $I_{yc} = 25165.70$ [cm⁴] Moment of inertia of the column section
 Material: S 235
 $f_{yc} = 235.00$ [MPa] Resistance
 $f_{uc} = 360.00$ [MPa] Yield strength of a material

COLUMN BASE

$l_{pd} = 400$ [mm] Length
 $b_{pd} = 400$ [mm] Width
 $t_{pd} = 15$ [mm] Thickness
 Material: S 235
 $f_{ypd} = 235.00$ [MPa] Resistance
 $f_{upd} = 360.00$ [MPa] Yield strength of a material

ANCHORAGE

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

Class = 10.9 Anchor class
 $f_{yb} = 900.00$ [MPa] Yield strength of the anchor material
 $f_{ub} = 1000.00$ [MPa] Tensile strength of the anchor material
 $d = 20$ [mm] Bolt diameter
 $A_s = 2.45$ [cm²] Effective section area of a bolt
 $A_v = 3.14$ [cm²] Area of bolt section
 $n_v = 2$ Number of bolt columns
 $n_H = 2$ Number of bolt rows
 $e_H = 200$ [mm] Horizontal spacing
 $e_v = 200$ [mm] Vertical spacing

Anchor dimensions

$L_1 = 60$ [mm]
 $L_2 = 500$ [mm]
 $L_3 = 120$ [mm]
 $L_4 = 100$ [mm]

Washer

$l_{wd} = 60$ [mm] Length
 $b_{wd} = 60$ [mm] Width

Dimensionamento de uma estrutura metálica de suporte de uma Tela Transportadora de Biomassa

Washer

$l_{wd} = 60$ [mm] Length
 $t_{wd} = 10$ [mm] Thickness

MATERIAL FACTORS

$\gamma_{M0} = 1.00$ Partial safety factor
 $\gamma_{M2} = 1.25$ Partial safety factor
 $\gamma_C = 1.50$ Partial safety factor

SPREAD FOOTING

$L = 500$ [mm] Spread footing length
 $B = 500$ [mm] Spread footing width
 $H = 1500$ [mm] Spread footing height

Concrete

Class C30/37
 $f_{ck} = 30.00$ [MPa] Characteristic resistance for compression

Grout layer

$t_g = 50$ [mm] Thickness of leveling layer (grout)
 $f_{ck,g} = 12.00$ [MPa] Characteristic resistance for compression
 $C_{f,d} = 0.30$ Coeff. of friction between the base plate and concrete

WELDS

$a_p = 7$ [mm] Footing plate of the column base

LOADS

Case: 18: 0.3 * X 1 * Y 14*0.30+15*1.00
 $N_{j,Ed} = 142.73$ [kN] Axial force
 $V_{j,Ed,y} = -2.34$ [kN] Shear force
 $V_{j,Ed,z} = 1.25$ [kN] Shear force

RESULTS

TENSION ZONE

STEEL FAILURE

$A_b = 2.45$ [cm²] Effective anchor area [Table 3.4]
 $f_{ub} = 1000.00$ [MPa] Tensile strength of the anchor material [Table 3.4]
 $\beta = 0.85$ Reduction factor of anchor resistance [3.6.1.(3)]
 $F_{t,Rd,s1} = \beta * 0.9 * f_{ub} * A_b / \gamma_{M2}$
 $F_{t,Rd,s1} = 149.94$ [kN] Anchor resistance to steel failure [Table 3.4]
 $\gamma_{Ms} = 1.20$ Partial safety factor CEB [3.2.3.2]
 $f_{yb} = 900.00$ [MPa] Yield strength of the anchor material CEB [9.2.2]
 $F_{t,Rd,s2} = f_{yb} * A_b / \gamma_{Ms}$
 $F_{t,Rd,s2} = 183.75$ [kN] Anchor resistance to steel failure CEB [9.2.2]
 $F_{t,Rd,s} = \min(F_{t,Rd,s1}, F_{t,Rd,s2})$
 $F_{t,Rd,s} = 149.94$ [kN] Anchor resistance to steel failure

PULL-OUT FAILURE

$f_{ck} = 30.00$ [MPa] Characteristic compressive strength of concrete EN 1992-1:[3.1.2]
 $f_{ctd} = 0.7 * 0.3 * f_{ck}^{2/3} / \gamma_C$
 $f_{ctd} = 1.3$ [MPa] Design tensile resistance EN 1992-1:[8.4.2.(2)]
 $\eta_1 = 1.0$ Coeff. related to the quality of the bond conditions and concreting conditions EN 1992-1:[8.4.2.(2)]
 $\eta_1 = 0$

$f_{ctd} = 0.7 \cdot 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} / \gamma_C$		
$f_{ctd} = 1.3 \left[\frac{\text{MPa}}{5} \right]$	Design tensile resistance	EN 1992-1: [8.4.2.(2)]
$\eta_2 = \frac{1.0}{0}$	Coeff. related to the bar diameter	EN 1992-1: [8.4.2.(2)]
$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$		
$f_{bd} = 3.04$ [MPa]	Design value of the ultimate bond stress	EN 1992-1: [8.4.2.(2)]
$h_{ef} = 500$ [mm]	Effective anchorage depth	EN 1992-1: [8.4.2.(2)]
$F_{t,Rd,p} = \pi \cdot d \cdot h_{ef} \cdot f_{bd}$		
$F_{t,Rd,p} = 95.54$ [kN]	Design uplift capacity	EN 1992-1: [8.4.2.(2)]

TENSILE RESISTANCE OF AN ANCHOR

$F_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd,s}, F_{t,Rd,p})$	
$F_{t,Rd} = 95.54$ [kN]	Tensile resistance of an anchor

BENDING OF THE BASE PLATE

$l_{eff,1} = 409$ [mm]	Effective length for a single bolt for mode 1	[6.2.6.5]
$l_{eff,2} = 409$ [mm]	Effective length for a single bolt for mode 2	[6.2.6.5]
$m = 87$ [mm]	Distance of a bolt from the stiffening edge	[6.2.6.5]
$M_{pl,1,Rd} = 5.40$ [kN*m]	Plastic resistance of a plate for mode 1	[6.2.4]
$M_{pl,2,Rd} = 5.40$ [kN*m]	Plastic resistance of a plate for mode 2	[6.2.4]
$F_{T,1,Rd} = 249.67$ [kN]	Resistance of a plate for mode 1	[6.2.4]
$F_{T,2,Rd} = 160.34$ [kN]	Resistance of a plate for mode 2	[6.2.4]
$F_{T,3,Rd} = 191.09$ [kN]	Resistance of a plate for mode 3	[6.2.4]
$F_{t,pl,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$		
$F_{t,pl,Rd} = 160.34$ [kN]	Tension resistance of a plate	[6.2.4]

TENSILE RESISTANCE OF A COLUMN WEB

$t_{wc} = 11$ [mm]	Effective thickness of the column web	[6.2.6.3.(8)]
$b_{eff,t,wc} = 409$ [mm]	Effective width of the web for tension	[6.2.6.3.(2)]
$A_{vc} = 47.43$ [cm ²]	Shear area	EN1993-1-1: [6.2.6.(3)]
$\omega = 0.68$	Reduction factor for interaction with shear	[6.2.6.3.(4)]
$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{yc} / \gamma_{M0}$		
$F_{t,wc,Rd} = 717.61$ [kN]	Column web resistance	[6.2.6.3.(1)]

RESISTANCES OF SPREAD FOOTING IN THE TENSION ZONE

$N_{j,Rd} = 320.69$ [kN]	Resistance of a spread footing for axial tension	[6.2.8.3]
--------------------------	--	-----------

CONNECTION CAPACITY CHECK

$N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$ (6.24)	$0.45 < 1.00$	verified	(0.45)
---------------------------------------	---------------	----------	--------

SHEAR

BEARING PRESSURE OF AN ANCHOR BOLT ONTO THE BASE PLATE

Shear force $V_{j,Ed,y}$

$\alpha_{d,y} = 1.52$	Coeff. taking account of the bolt position - in the direction of shear	[Table 3.4]
$\alpha_{b,y} = 1.00$	Coeff. for resistance calculation $F_{1,vb,Rd}$	[Table 3.4]
$k_{1,y} = 2.50$	Coeff. taking account of the bolt position - perpendicularly to the direction of shear	[Table 3.4]
$F_{1,vb,Rd,y} = k_{1,y} \cdot \alpha_{b,y} \cdot f_{up} \cdot d \cdot t_p / \gamma_{M2}$		
$F_{1,vb,Rd,y} = 216.00$ [kN]	Resistance of an anchor bolt for bearing pressure onto the base plate	[6.2.2.(7)]

Shear force $V_{j,Ed,z}$

$\alpha_{d,z} = 1.52$	Coeff. taking account of the bolt position - in the direction of shear	[Table 3.4]
$\alpha_{b,z} = 1.00$	Coeff. for resistance calculation $F_{1,vb,Rd}$	[Table 3.4]
$k_{1,z} = 2.50$	Coeff. taking account of the bolt position - perpendicularly to the direction of shear	[Table 3.4]
$F_{1,vb,Rd,z} = k_{1,z} \cdot \alpha_{b,z} \cdot f_{up} \cdot d \cdot t_p / \gamma_{M2}$		
$F_{1,vb,Rd,z} = 216.00$ [kN]	Resistance of an anchor bolt for bearing pressure onto the base plate	[6.2.2.(7)]

SHEAR OF AN ANCHOR BOLT

$\alpha_b = 0.25$	Coeff. for resistance calculation $F_{2,vb,Rd}$	[6.2.2.(7)]
$A_{vb} = 3.14$ [cm ²]	Area of bolt section	[6.2.2.(7)]

Dimensionamento de uma estrutura metálica de suporte de uma Tela Transportadora de Biomassa

$\alpha_b =$	0.25	Coeff. for resistance calculation $F_{2,vb,Rd}$	[6.2.2.(7)]
$f_{ub} =$	1000.00 [MPa]	Tensile strength of the anchor material	[6.2.2.(7)]
$\gamma_{M2} =$	1.25	Partial safety factor	[6.2.2.(7)]

$$F_{2,vb,Rd} = \alpha_b \cdot f_{ub} \cdot A_{vb} / \gamma_{M2}$$

$$F_{2,vb,Rd} = 62.33 \text{ [kN]} \quad \text{Shear resistance of a bolt - without lever arm} \quad [6.2.2.(7)]$$

SPLITTING RESISTANCE

$C_{f,d} =$	0.30	Coeff. of friction between the base plate and concrete	[6.2.2.(6)]
$N_{c,Ed} =$	0.00 [kN]	Compressive force	[6.2.2.(6)]
$F_{f,Rd} =$	$C_{f,d} \cdot N_{c,Ed}$		
$F_{f,Rd} =$	0.00 [kN]	Slip resistance	[6.2.2.(6)]

SHEAR CHECK

$V_{j,Rd,y} =$	$n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,y}, F_{2,vb,Rd}) + F_{f,Rd}$		
$V_{j,Rd,y} =$	249.32 [kN]	Connection resistance for shear	CEB [9.3.1]
$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} \leq 1,0$	0.01 < 1.00	verified	(0.01)
$V_{j,Rd,z} =$	$n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,z}, F_{2,vb,Rd}) + F_{f,Rd}$		
$V_{j,Rd,z} =$	249.32 [kN]	Connection resistance for shear	CEB [9.3.1]
$V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$	0.01 < 1.00	verified	(0.01)
$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} + V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$	0.01 < 1.00	verified	(0.01)

WELDS BETWEEN THE COLUMN AND THE BASE PLATE

$\sigma_{\perp} =$	8.47 [MPa]	Normal stress in a weld	[4.5.3.(7)]
$\tau_{\perp} =$	8.47 [MPa]	Perpendicular tangent stress	[4.5.3.(7)]
$\tau_{y } =$	-0.28 [MPa]	Tangent stress parallel to $V_{j,Ed,y}$	[4.5.3.(7)]
$\tau_{z } =$	0.34 [MPa]	Tangent stress parallel to $V_{j,Ed,z}$	[4.5.3.(7)]
$\beta_W =$	0.80	Resistance-dependent coefficient	[4.5.3.(7)]
$\sigma_{\perp} / (0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}) \leq 1.0$ (4.1)	0.03 < 1.00	verified	(0.03)
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{y }^2 + \tau_{z }^2))} / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2})) \leq 1.0$ (4.1)	0.05 < 1.00	verified	(0.05)
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{z }^2 + \tau_{\perp}^2))} / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2})) \leq 1.0$ (4.1)	0.05 < 1.00	verified	(0.05)

WEAKEST COMPONENT:

BASE PLATE - BENDING

Connection conforms to the code	Ratio	0.45
--	-------	------

◆ Conclusão

Ambos os procedimentos verificação a segurança destas ligações.

ANEXO XVI – Plintos

De seguida são apresentados os resultados do dimensionamento dos plintos obtidos através do software “Robot”.

→ Plinto PL1

1 Level:

- Name : Level ±0.00
- Reference level : ---
- Concrete creep coefficient : $\phi_p = 2.33$
- Cement class : N
- Environment class : XC4
- Structure class : S2

2 Column: PL1

Number: 1

2.1 Material properties:

- Concrete : C30/37 $f_{ck} = 30.00$ (MPa)
- Unit weight : 2501.36 (kG/m³)
- Aggregate size : 20.0 (mm)
- Longitudinal reinforcement: : B500C $f_{yk} = 500.00$ (MPa)
- Ductility class : C
- Transversal reinforcement: : B500C $f_{yk} = 500.00$ (MPa)

2.2 Geometry:

- 2.2.1 Rectangular 60.0 x 60.0 (cm)
- 2.2.2 Height: L = 1.50 (m)
- 2.2.3 Slab thickness = 0.00 (m)
- 2.2.4 Beam height = 0.00 (m)
- 2.2.5 Cover = 4.0 (cm)

2.3 Calculation options:

- Calculations according to : EN 1992-1-1:2004 AC:2008
- Seismic dispositions : No requirements
- Precast column : no
- Pre-design : no
- Slenderness taken into account : yes
- Compression : with bending
- Ties : to slab
- Fire resistance class : No requirements

Dimensionamento de uma estrutura metálica de suporte de uma Tela Transportadora de
Biomassa

2.4 Loads:

Case	Nature	Group	γ_f	N (kN)	My(s) (kN*m)	My(i) (kN*m)	Mz(s) (kN*m)	Mz(i) (kN*m)
ELU.Pass(T+) Wxxp	design(Structural)	869	1.00	122.84	-65.28	0.00	-4.83	0.00
ELU.Pass(T-) Wxxp	design(Structural)	869	1.00	117.12	-57.04	0.00	-4.85	0.00
ELU.Pass(T+) Wy	design(Structural)	869	1.00	93.34	-57.60	0.00	-12.78	0.00
ELU.Pass(T-) Wy	design(Structural)	869	1.00	87.62	-49.35	0.00	-12.80	0.00
ELU.Pass(T+) Wyy	design(Structural)	869	1.00	142.68	-56.80	0.00	4.52	0.00
ELU.Pass(T-) Wyy	design(Structural)	869	1.00	136.97	-48.56	0.00	4.49	0.00
ELU.Pass(T+) Wz	design(Structural)	869	1.00	118.07	-65.54	0.00	-5.01	0.00
ELU.Pass(T-) Wz	design(Structural)	869	1.00	112.35	-57.30	0.00	-5.03	0.00
ELU.Pass(T+) Wzz	design(Structural)	869	1.00	117.65	-49.20	0.00	-3.25	0.00
ELU.Pass(T-) Wzz	design(Structural)	869	1.00	111.94	-40.95	0.00	-3.27	0.00
ELU.Pass(T+) Wxp	design(Structural)	869	1.00	113.18	-49.12	0.00	-3.39	0.00
ELU.Pass(T-) Wxp	design(Structural)	869	1.00	107.47	-40.87	0.00	-3.41	0.00
ELU.Mat(T+) Wxxp	design(Structural)	869	1.00	97.91	-51.61	0.00	-3.40	0.00
ELU.Mat(T-) Wxxp	design(Structural)	869	1.00	92.19	-43.37	0.00	-3.42	0.00
ELU.Mat(T+) Wy	design(Structural)	869	1.00	68.41	-43.93	0.00	-11.35	0.00
ELU.Mat(T-) Wy	design(Structural)	869	1.00	62.69	-35.68	0.00	-11.37	0.00
ELU.Mat(T+) Wyy	design(Structural)	869	1.00	117.75	-43.13	0.00	5.95	0.00
ELU.Mat(T-) Wyy	design(Structural)	869	1.00	112.04	-34.89	0.00	5.92	0.00
ELU.Mat(T+) Wz	design(Structural)	869	1.00	93.14	-51.87	0.00	-3.57	0.00
ELU.Mat(T-) Wz	design(Structural)	869	1.00	87.42	-43.63	0.00	-3.60	0.00
ELU.Mat(T+) Wzz	design(Structural)	869	1.00	92.72	-35.53	0.00	-1.82	0.00
ELU.Mat(T-) Wzz	design(Structural)	869	1.00	87.01	-27.29	0.00	-1.84	0.00
ELU.Mat(T+) Wxp	design(Structural)	869	1.00	88.25	-35.45	0.00	-1.96	0.00
ELU.Mat(T-) Wxp	design(Structural)	869	1.00	82.54	-27.21	0.00	-1.98	0.00
ELU.Wxxp (T+)	design(Structural)	869	1.00	98.43	-55.94	0.00	-3.85	0.00
ELU.Wxxp (T-)	design(Structural)	869	1.00	92.71	-47.70	0.00	-3.88	0.00
ELU.Wy (T+)	design(Structural)	869	1.00	49.26	-43.13	0.00	-17.10	0.00
ELU.Wy (T-)	design(Structural)	869	1.00	43.55	-34.89	0.00	-17.13	0.00
ELU.Wyy (T+)	design(Structural)	869	1.00	131.50	-41.81	0.00	11.72	0.00
ELU.Wyy (T-)	design(Structural)	869	1.00	125.78	-33.56	0.00	11.70	0.00
ELU.Wz (T+)	design(Structural)	869	1.00	90.47	-56.37	0.00	-4.15	0.00
ELU.Wz (T-)	design(Structural)	869	1.00	84.76	-48.13	0.00	-4.17	0.00
ELU.Wzz (T+)	design(Structural)	869	1.00	89.78	-29.14	0.00	-1.22	0.00
ELU.Wzz (T-)	design(Structural)	869	1.00	84.07	-20.89	0.00	-1.24	0.00
ELU.Wxp (T+)	design(Structural)	869	1.00	82.34	-29.00	0.00	-1.45	0.00
ELU.Wxp (T-)	design(Structural)	869	1.00	76.62	-20.76	0.00	-1.48	0.00
ELU.Temp+ Wxxp	design(Structural)	869	1.00	97.66	-54.10	0.00	-3.36	0.00
ELU.Temp- Wxxp	design(Structural)	869	1.00	88.14	-40.36	0.00	-3.40	0.00
ELU.Temp+ Wy	design(Structural)	869	1.00	68.16	-46.41	0.00	-11.31	0.00
ELU.Temp- Wy	design(Structural)	869	1.00	58.64	-32.67	0.00	-11.35	0.00
ELU.Temp+ Wyy	design(Structural)	869	1.00	117.51	-45.61	0.00	5.99	0.00
ELU.Temp- Wyy	design(Structural)	869	1.00	107.98	-31.87	0.00	5.94	0.00
ELU.Temp+ Wz	design(Structural)	869	1.00	92.89	-54.35	0.00	-3.54	0.00
ELU.Temp- Wz	design(Structural)	869	1.00	83.37	-40.61	0.00	-3.58	0.00
ELU.Temp+ Wzz	design(Structural)	869	1.00	92.48	-38.01	0.00	-1.78	0.00
ELU.Temp- Wzz	design(Structural)	869	1.00	82.95	-24.27	0.00	-1.82	0.00
ELU.Temp+ Wxp	design(Structural)	869	1.00	88.01	-37.93	0.00	-1.92	0.00
ELU.Temp- Wxp	design(Structural)	869	1.00	78.49	-24.19	0.00	-1.96	0.00
ELS.Pass(T+) Wxxp	Design SLS()	869	1.00	87.00	-45.69	0.00	-3.38	0.00
ELS.Pass(T-) Wxxp	Design SLS()	869	1.00	83.19	-40.19	0.00	-3.40	0.00
ELS.Pass(T+) Wy	Design SLS()	869	1.00	67.34	-40.56	0.00	-8.68	0.00
ELS.Pass(T-) Wy	Design SLS()	869	1.00	63.53	-35.07	0.00	-8.70	0.00
ELS.Pass(T+) Wyy	Design SLS()	869	1.00	100.23	-40.03	0.00	2.85	0.00
ELS.Pass(T-) Wyy	Design SLS()	869	1.00	96.42	-34.54	0.00	2.83	0.00
ELS.Pass(T+) Wz	Design SLS()	869	1.00	83.82	-45.86	0.00	-3.50	0.00
ELS.Pass(T-) Wz	Design SLS()	869	1.00	80.01	-40.36	0.00	-3.52	0.00
ELS.Pass(T+) Wzz	Design SLS()	869	1.00	83.55	-34.96	0.00	-2.33	0.00
ELS.Pass(T-) Wzz	Design SLS()	869	1.00	79.74	-29.47	0.00	-2.35	0.00
ELS.Pass(T+) Wxp	Design SLS()	869	1.00	80.57	-34.91	0.00	-2.42	0.00
ELS.Pass(T-) Wxp	Design SLS()	869	1.00	76.76	-29.41	0.00	-2.44	0.00
ELS.Mat(T+) Wxxp	Design SLS()	869	1.00	70.38	-36.58	0.00	-2.43	0.00
ELS.Mat(T-) Wxxp	Design SLS()	869	1.00	66.57	-31.08	0.00	-2.44	0.00
ELS.Mat(T+) Wy	Design SLS()	869	1.00	50.72	-31.45	0.00	-7.73	0.00
ELS.Mat(T-) Wy	Design SLS()	869	1.00	46.91	-25.96	0.00	-7.75	0.00
ELS.Mat(T+) Wyy	Design SLS()	869	1.00	83.61	-30.92	0.00	3.80	0.00
ELS.Mat(T-) Wyy	Design SLS()	869	1.00	79.80	-25.43	0.00	3.79	0.00
ELS.Mat(T+) Wz	Design SLS()	869	1.00	67.20	-36.75	0.00	-2.55	0.00

ELS.Mat(T-) Wz	Design SLS()	869	1.00	63.39	-31.25	0.00	-2.56	0.00
ELS.Mat(T+) Wzz	Design SLS()	869	1.00	66.92	-25.85	0.00	-1.37	0.00
ELS.Mat(T-) Wzz	Design SLS()	869	1.00	63.12	-20.36	0.00	-1.39	0.00
ELS.Mat(T+) Wxp	Design SLS()	869	1.00	63.95	-25.80	0.00	-1.47	0.00
ELS.Mat(T-) Wxp	Design SLS()	869	1.00	60.14	-20.30	0.00	-1.48	0.00
ELS.Wxxp (T+)	Design SLS()	869	1.00	70.73	-39.46	0.00	-2.73	0.00
ELS.Wxxp (T-)	Design SLS()	869	1.00	66.92	-33.96	0.00	-2.75	0.00
ELS.Wy (T+)	Design SLS()	869	1.00	37.95	-30.92	0.00	-11.56	0.00
ELS.Wy (T-)	Design SLS()	869	1.00	34.14	-25.42	0.00	-11.58	0.00
ELS.Wyy (T+)	Design SLS()	869	1.00	92.77	-30.04	0.00	7.65	0.00
ELS.Wyy (T-)	Design SLS()	869	1.00	88.97	-24.54	0.00	7.64	0.00
ELS.Wz (T+)	Design SLS()	869	1.00	65.43	-39.75	0.00	-2.93	0.00
ELS.Wz (T-)	Design SLS()	869	1.00	61.62	-34.25	0.00	-2.95	0.00
ELS.Wzz (T+)	Design SLS()	869	1.00	64.97	-21.59	0.00	-0.97	0.00
ELS.Wzz (T-)	Design SLS()	869	1.00	61.16	-16.09	0.00	-0.99	0.00
ELS.Wxp (T+)	Design SLS()	869	1.00	60.00	-21.50	0.00	-1.13	0.00
ELS.Wxp (T-)	Design SLS()	869	1.00	56.19	-16.00	0.00	-1.15	0.00
ELS.Temp+ Wxxp	Design SLS()	869	1.00	70.22	-38.23	0.00	-2.40	0.00
ELS.Temp- Wxxp	Design SLS()	869	1.00	63.87	-29.07	0.00	-2.43	0.00
ELS.Temp+ Wy	Design SLS()	869	1.00	50.55	-33.11	0.00	-7.70	0.00
ELS.Temp- Wy	Design SLS()	869	1.00	44.20	-23.94	0.00	-7.73	0.00
ELS.Temp+ Wyy	Design SLS()	869	1.00	83.45	-32.58	0.00	3.83	0.00
ELS.Temp- Wyy	Design SLS()	869	1.00	77.10	-23.41	0.00	3.80	0.00
ELS.Temp+ Wz	Design SLS()	869	1.00	67.04	-38.40	0.00	-2.52	0.00
ELS.Temp- Wz	Design SLS()	869	1.00	60.69	-29.24	0.00	-2.55	0.00
ELS.Temp+ Wzz	Design SLS()	869	1.00	66.76	-27.51	0.00	-1.35	0.00
ELS.Temp- Wzz	Design SLS()	869	1.00	60.41	-18.35	0.00	-1.38	0.00
ELS.Temp+ Wxp	Design SLS()	869	1.00	63.78	-27.45	0.00	-1.44	0.00
ELS.Temp- Wxp	Design SLS()	869	1.00	57.44	-18.29	0.00	-1.47	0.00
CP+0,8SC	design(Structural)	869	1.00	58.31	-24.48	0.00	-1.70	0.00

γ_f - load factor

2.5 Calculation results:

Safety factors $R_d/E_d = 2.74 > 1.0$

2.5.1 ULS/ALS Analysis

Design combination: ELU.Pass(T+) Wz (A)

Combination type: ULS

Internal forces:

$N_{sd} = 118.07$ (kN) $M_{sdy} = -65.54$ (kN*m) $M_{sdz} = -5.01$ (kN*m)

Design forces:

Upper node

$N = 118.07$ (kN) $N^*etotz = -65.98$ (kN*m) $N^*etoty = -5.01$ (kN*m)

Eccentricity:	e_z (My/N)	e_y (Mz/N)
Static	$e_{Ed} = -55.5$ (cm)	-4.2 (cm)
Imperfection	$e_i = 0.4$ (cm)	0.0 (cm)
Initial	$e_0 = -55.1$ (cm)	-4.2 (cm)
Minimal	$e_{min} = 2.0$ (cm)	2.0 (cm)
Total	$e_{tot} = -55.9$ (cm)	-4.2 (cm)

2.5.1.1. Detailed analysis-Direction Y:

2.5.1.1.1 Slenderness analysis

Non-sway structure

L (m)	L_0 (m)	λ	λ_{lim}	
1.50	1.50	8.66	78.08	Short column

2.5.1.1.2 Buckling analysis

$M_2 = 0.00$ (kN*m) $M_1 = -65.54$ (kN*m)

Case: Cross-section at the column end (Upper node), Slenderness not taken into account
 $M_0 = -65.54 \text{ (kN}^*\text{m)}$
 $ea = \theta_1 * l_0 / 2 = 0.4 \text{ (cm)}$
 $\theta_1 = \theta_0 * \alpha_\eta * \alpha_m = 0.01$
 $\theta_0 = 0.01$
 $\alpha_h = 1.00$
 $\alpha_m = (0,5(1+1/m))^{0.5} = 1.00$
 $m = 1.00$
 $Ma = N * ea = 0.44 \text{ (kN}^*\text{m)}$
 $ME_{dmin} = 2.36 \text{ (kN}^*\text{m)}$
 $M_0Ed = \max(ME_{dmin}, M_0 + Ma) = -65.98 \text{ (kN}^*\text{m)}$

2.5.1.2. Detailed analysis-Direction Z:

$M_2 = 0.00 \text{ (kN}^*\text{m)}$ $M_1 = -5.01 \text{ (kN}^*\text{m)}$
 Case: Cross-section at the column end (Upper node), Slenderness not taken into account
 $M_0 = -5.01 \text{ (kN}^*\text{m)}$
 $ea = 0.0 \text{ (cm)}$
 $Ma = N * ea = 0.00 \text{ (kN}^*\text{m)}$
 $ME_{dmin} = 2.36 \text{ (kN}^*\text{m)}$
 $M_0Ed = \max(ME_{dmin}, M_0 + Ma) = -5.01 \text{ (kN}^*\text{m)}$

2.5.2 Reinforcement:

Real (provided) area $As_r = 7.85 \text{ (cm}^2\text{)}$
 Ratio: $\rho = 0.22 \%$

2.6 Reinforcement:

Main bars (B500C):

- 10 $\phi 10$ $l = 1.46 \text{ (m)}$

Transversal reinforcement: (B500C):

stirrups: 12 $\phi 6$ $l = 2.18 \text{ (m)}$
 pins 36 $\phi 6$ $l = 0.64 \text{ (m)}$

3 Material survey:

- Concrete volume = 0.54 (m³)
- Formwork = 3.60 (m²)
- Steel B500C
- Total weight = 19.91 (kG)
- Density = 36.87 (kG/m³)
- Average diameter = 6.9 (mm)
- Reinforcement survey:

Diameter	Length (m)	Weight (kG)	Number (No.)	Total weight (kG)
6	0.64	0.14	36	5.10
6	2.18	0.48	12	5.80
10	1.46	0.90	10	9.00

→ **Plinto PL2**

1 Level:

- Name :
- Reference level : ---
- Concrete creep coefficient : $\varphi_p = 2.33$
- Cement class : N
- Environment class : XC4
- Structure class : S2

2 Column: P2

Number: 1

2.1 Material properties:

- Concrete : C30/37 $f_{ck} = 30.00$ (MPa)
- Unit weight : 2501.36 (kG/m³)
- Aggregate size : 20.0 (mm)
- Longitudinal reinforcement: : B500C $f_{yk} = 500.00$ (MPa)
- Ductility class : C
- Transversal reinforcement: : B500C $f_{yk} = 500.00$ (MPa)

2.2 Geometry:

- 2.2.1 Rectangular 60.0 x 60.0 (cm)
- 2.2.2 Height: L = 1.50 (m)
- 2.2.3 Slab thickness = 0.00 (m)
- 2.2.4 Beam height = 0.00 (m)
- 2.2.5 Cover = 4.0 (cm)

2.3 Calculation options:

- Calculations according to : EN 1992-1-1:2004 AC:2008
- Seismic dispositions : No requirements
- Precast column : no
- Pre-design : no
- Slenderness taken into account : yes
- Compression : with bending
- Ties : to slab
- Fire resistance class : No requirements

2.4 Loads:

Case	Nature	Group	γ_f	N (kN)	My(s) (kN*m)	My(i) (kN*m)	Mz(s) (kN*m)	Mz(i) (kN*m)
ELU.Pass(T+) Wxyp	design(Structural)	870	1.00	121.97	-65.33	0.00	4.84	0.00
ELU.Pass(T-) Wxyp	design(Structural)	870	1.00	116.28	-57.10	0.00	4.86	0.00
ELU.Pass(T+) Wy	design(Structural)	870	1.00	141.75	-56.79	0.00	-4.46	0.00
ELU.Pass(T-) Wy	design(Structural)	870	1.00	136.06	-48.55	0.00	-4.45	0.00
ELU.Pass(T+) Wyy	design(Structural)	870	1.00	92.55	-57.71	0.00	12.75	0.00
ELU.Pass(T-) Wyy	design(Structural)	870	1.00	86.86	-49.47	0.00	12.77	0.00
ELU.Pass(T+) Wz	design(Structural)	870	1.00	117.27	-65.59	0.00	5.02	0.00
ELU.Pass(T-) Wz	design(Structural)	870	1.00	111.58	-57.35	0.00	5.03	0.00

Dimensionamento de uma estrutura metálica de suporte de uma Tela Transportadora de
Biomassa

ELU.Pass(T+) Wzz	design(Structural)	870	1.00	116.73	-49.25	0.00	3.26	0.00
ELU.Pass(T-) Wzz	design(Structural)	870	1.00	111.04	-41.02	0.00	3.28	0.00
ELU.Pass(T+) Wxp	design(Structural)	870	1.00	112.33	-49.17	0.00	3.40	0.00
ELU.Pass(T-) Wxp	design(Structural)	870	1.00	106.64	-40.93	0.00	3.42	0.00
ELU.Mat(T+) Wxyp	design(Structural)	870	1.00	97.29	-51.66	0.00	3.41	0.00
ELU.Mat(T-) Wxyp	design(Structural)	870	1.00	91.60	-43.42	0.00	3.42	0.00
ELU.Mat(T+) Wy	design(Structural)	870	1.00	117.07	-43.11	0.00	-5.90	0.00
ELU.Mat(T-) Wy	design(Structural)	870	1.00	111.38	-34.87	0.00	-5.88	0.00
ELU.Mat(T+) Wyy	design(Structural)	870	1.00	67.86	-44.04	0.00	11.32	0.00
ELU.Mat(T-) Wyy	design(Structural)	870	1.00	62.17	-35.80	0.00	11.34	0.00
ELU.Mat(T+) Wz	design(Structural)	870	1.00	92.58	-51.91	0.00	3.58	0.00
ELU.Mat(T-) Wz	design(Structural)	870	1.00	86.89	-43.67	0.00	3.60	0.00
ELU.Mat(T+) Wzz	design(Structural)	870	1.00	92.04	-35.58	0.00	1.83	0.00
ELU.Mat(T-) Wzz	design(Structural)	870	1.00	86.35	-27.34	0.00	1.85	0.00
ELU.Mat(T+) Wxp	design(Structural)	870	1.00	87.64	-35.49	0.00	1.97	0.00
ELU.Mat(T-) Wxp	design(Structural)	870	1.00	81.95	-27.25	0.00	1.99	0.00
ELU.Wxyp (T+)	design(Structural)	870	1.00	97.83	-55.98	0.00	3.86	0.00
ELU.Wxyp (T-)	design(Structural)	870	1.00	92.14	-47.74	0.00	3.88	0.00
ELU.Wy (T+)	design(Structural)	870	1.00	130.79	-41.74	0.00	-11.65	0.00
ELU.Wy (T-)	design(Structural)	870	1.00	125.10	-33.50	0.00	-11.63	0.00
ELU.Wyy (T+)	design(Structural)	870	1.00	48.78	-43.28	0.00	17.05	0.00
ELU.Wyy (T-)	design(Structural)	870	1.00	43.09	-35.04	0.00	17.06	0.00
ELU.Wz (T+)	design(Structural)	870	1.00	89.99	-56.41	0.00	4.16	0.00
ELU.Wz (T-)	design(Structural)	870	1.00	84.29	-48.17	0.00	4.17	0.00
ELU.Wzz (T+)	design(Structural)	870	1.00	89.09	-29.18	0.00	1.23	0.00
ELU.Wzz (T-)	design(Structural)	870	1.00	83.40	-20.94	0.00	1.25	0.00
ELU.Wxp (T+)	design(Structural)	870	1.00	81.76	-29.04	0.00	1.46	0.00
ELU.Wxp (T-)	design(Structural)	870	1.00	76.06	-20.80	0.00	1.48	0.00
ELU.Temp+ Wxyp	design(Structural)	870	1.00	97.06	-54.13	0.00	3.37	0.00
ELU.Temp- Wxyp	design(Structural)	870	1.00	87.57	-40.40	0.00	3.40	0.00
ELU.Temp+ Wy	design(Structural)	870	1.00	116.84	-45.59	0.00	-5.93	0.00
ELU.Temp- Wy	design(Structural)	870	1.00	107.35	-31.86	0.00	-5.90	0.00
ELU.Temp+ Wyy	design(Structural)	870	1.00	67.63	-46.51	0.00	11.28	0.00
ELU.Temp- Wyy	design(Structural)	870	1.00	58.15	-32.78	0.00	11.31	0.00
ELU.Temp+ Wz	design(Structural)	870	1.00	92.35	-54.39	0.00	3.55	0.00
ELU.Temp- Wz	design(Structural)	870	1.00	82.87	-40.66	0.00	3.58	0.00
ELU.Temp+ Wzz	design(Structural)	870	1.00	91.81	-38.05	0.00	1.80	0.00
ELU.Temp- Wzz	design(Structural)	870	1.00	82.33	-24.32	0.00	1.82	0.00
ELU.Temp+ Wxp	design(Structural)	870	1.00	87.41	-37.97	0.00	1.93	0.00
ELU.Temp- Wxp	design(Structural)	870	1.00	77.93	-24.24	0.00	1.96	0.00
ELS.Pass(T+) Wxyp	Design SLS()	870	1.00	86.40	-45.72	0.00	3.39	0.00
ELS.Pass(T-) Wxyp	Design SLS()	870	1.00	82.60	-40.23	0.00	3.40	0.00
ELS.Pass(T+) Wy	Design SLS()	870	1.00	99.58	-40.03	0.00	-2.81	0.00
ELS.Pass(T-) Wy	Design SLS()	870	1.00	95.79	-34.54	0.00	-2.80	0.00
ELS.Pass(T+) Wyy	Design SLS()	870	1.00	66.78	-40.64	0.00	8.66	0.00
ELS.Pass(T-) Wyy	Design SLS()	870	1.00	62.98	-35.15	0.00	8.68	0.00
ELS.Pass(T+) Wz	Design SLS()	870	1.00	83.26	-45.89	0.00	3.51	0.00
ELS.Pass(T-) Wz	Design SLS()	870	1.00	79.47	-40.40	0.00	3.52	0.00
ELS.Pass(T+) Wzz	Design SLS()	870	1.00	82.90	-35.00	0.00	2.34	0.00
ELS.Pass(T-) Wzz	Design SLS()	870	1.00	79.11	-29.51	0.00	2.35	0.00
ELS.Pass(T+) Wxp	Design SLS()	870	1.00	79.97	-34.95	0.00	2.43	0.00
ELS.Pass(T-) Wxp	Design SLS()	870	1.00	76.17	-29.46	0.00	2.44	0.00
ELS.Mat(T+) Wxyp	Design SLS()	870	1.00	69.94	-36.61	0.00	2.43	0.00
ELS.Mat(T-) Wxyp	Design SLS()	870	1.00	66.14	-31.11	0.00	2.45	0.00
ELS.Mat(T+) Wy	Design SLS()	870	1.00	83.12	-30.91	0.00	-3.77	0.00
ELS.Mat(T-) Wy	Design SLS()	870	1.00	79.33	-25.42	0.00	-3.76	0.00
ELS.Mat(T+) Wyy	Design SLS()	870	1.00	50.32	-31.52	0.00	7.71	0.00
ELS.Mat(T-) Wyy	Design SLS()	870	1.00	46.53	-26.03	0.00	7.72	0.00
ELS.Mat(T+) Wz	Design SLS()	870	1.00	66.80	-36.78	0.00	2.55	0.00
ELS.Mat(T-) Wz	Design SLS()	870	1.00	63.01	-31.28	0.00	2.56	0.00
ELS.Mat(T+) Wzz	Design SLS()	870	1.00	66.44	-25.89	0.00	1.38	0.00
ELS.Mat(T-) Wzz	Design SLS()	870	1.00	62.65	-20.39	0.00	1.39	0.00
ELS.Mat(T+) Wxp	Design SLS()	870	1.00	63.51	-25.83	0.00	1.47	0.00
ELS.Mat(T-) Wxp	Design SLS()	870	1.00	59.72	-20.34	0.00	1.49	0.00
ELS.Wxyp (T+)	Design SLS()	870	1.00	70.30	-39.49	0.00	2.74	0.00
ELS.Wxyp (T-)	Design SLS()	870	1.00	66.50	-34.00	0.00	2.75	0.00
ELS.Wy (T+)	Design SLS()	870	1.00	92.28	-30.00	0.00	-7.60	0.00
ELS.Wy (T-)	Design SLS()	870	1.00	88.48	-24.50	0.00	-7.59	0.00
ELS.Wyy (T+)	Design SLS()	870	1.00	37.60	-31.02	0.00	11.53	0.00
ELS.Wyy (T-)	Design SLS()	870	1.00	33.81	-25.53	0.00	11.54	0.00
ELS.Wz (T+)	Design SLS()	870	1.00	65.07	-39.77	0.00	2.93	0.00
ELS.Wz (T-)	Design SLS()	870	1.00	61.28	-34.28	0.00	2.95	0.00
ELS.Wzz (T+)	Design SLS()	870	1.00	64.47	-21.62	0.00	0.98	0.00

ELS.Wzz (T-)	Design SLS()	870	1.00	60.68	-16.13	0.00	1.00	0.00
ELS.Wxp (T+)	Design SLS()	870	1.00	59.58	-21.53	0.00	1.14	0.00
ELS.Wxp (T-)	Design SLS()	870	1.00	55.79	-16.04	0.00	1.15	0.00
ELS.Temp+ Wxyp	Design SLS()	870	1.00	69.78	-38.26	0.00	2.41	0.00
ELS.Temp- Wxyp	Design SLS()	870	1.00	63.46	-29.10	0.00	2.43	0.00
ELS.Temp+ Wy	Design SLS()	870	1.00	82.97	-32.56	0.00	-3.79	0.00
ELS.Temp- Wy	Design SLS()	870	1.00	76.65	-23.41	0.00	-3.77	0.00
ELS.Temp+ Wyy	Design SLS()	870	1.00	50.17	-33.18	0.00	7.69	0.00
ELS.Temp- Wyy	Design SLS()	870	1.00	43.84	-24.02	0.00	7.71	0.00
ELS.Temp+ Wz	Design SLS()	870	1.00	66.65	-38.43	0.00	2.53	0.00
ELS.Temp- Wz	Design SLS()	870	1.00	60.33	-29.27	0.00	2.55	0.00
ELS.Temp+ Wzz	Design SLS()	870	1.00	66.29	-27.54	0.00	1.36	0.00
ELS.Temp- Wzz	Design SLS()	870	1.00	59.97	-18.38	0.00	1.38	0.00
ELS.Temp+ Wxp	Design SLS()	870	1.00	63.36	-27.48	0.00	1.45	0.00
ELS.Temp- Wxp	Design SLS()	870	1.00	57.03	-18.33	0.00	1.47	0.00
CP+0,8SC	design(Structural)	870	1.00	57.94	-24.51	0.00	1.70	0.00

γ_f - load factor

2.5 Calculation results:

Safety factors $R_d/E_d = 2.04 > 1.0$

2.5.1 ULS/ALS Analysis

Design combination: ELU.Wyy (T+) (A)

Combination type: ULS

Internal forces:

$N_{sd} = 48.78$ (kN) $M_{sdy} = -43.28$ (kN*m) $M_{sdz} = 17.05$ (kN*m)

Design forces:

Upper node

$N = 48.78$ (kN) $N^*e_{totz} = -43.46$ (kN*m) $N^*e_{toty} = 17.05$ (kN*m)

Eccentricity:	ez (My/N)	ey (Mz/N)
Static	eEd: -88.7 (cm)	34.9 (cm)
Imperfection	ei: 0.4 (cm)	0.0 (cm)
Initial	e0: -88.4 (cm)	34.9 (cm)
Minimal	emin: 2.0 (cm)	2.0 (cm)
Total	etot: -89.1 (cm)	34.9 (cm)

2.5.1.1. Detailed analysis-Direction Y:

2.5.1.1.1 Slenderness analysis

Non-sway structure

L (m)	Lo (m)	λ	λ_{lim}	
1.50	1.50	8.66	121.48	Short column

2.5.1.1.2 Buckling analysis

$M_2 = 0.00$ (kN*m) $M_1 = -43.28$ (kN*m)

Case: Cross-section at the column end (Upper node), Slenderness not taken into account

$M_0 = -43.28$ (kN*m)

$ea = \theta_1 * l_0 / 2 = 0.4$ (cm)

$\theta_1 = \theta_0 * \alpha_\eta * \alpha_m = 0.01$

$\theta_0 = 0.01$

$\alpha_h = 1.00$

$\alpha_m = (0.5(1+1/m))^{0.5} = 1.00$

$m = 1.00$

$Ma = N^*ea = 0.18$ (kN*m)

$ME_{dmin} = 0.98$ (kN*m)

$M_0Ed = \max(ME_{dmin}, M_0 + Ma) = -43.46$ (kN*m)

2.5.1.2. Detailed analysis-Direction Z:

$M2 = 17.05 \text{ (kN*m)}$ $M1 = 0.00 \text{ (kN*m)}$
 Case: Cross-section at the column end (Upper node), Slenderness not taken into account
 $M0 = 17.05 \text{ (kN*m)}$
 $ea = 0.0 \text{ (cm)}$
 $Ma = N*ea = 0.00 \text{ (kN*m)}$
 $MEdmin = 0.98 \text{ (kN*m)}$
 $M0Ed = \max(MEdmin, M0 + Ma) = 17.05 \text{ (kN*m)}$

2.5.2 Reinforcement:

Real (provided) area $Asr = 7.85 \text{ (cm}^2\text{)}$
 Ratio: $\rho = 0.22 \%$

2.6 Reinforcement:

Main bars (B500C):

- 10 $\phi 10$ $l = 1.46 \text{ (m)}$

Transversal reinforcement: (B500C):

stirrups: 12 $\phi 8$ $l = 2.18 \text{ (m)}$
 pins 36 $\phi 8$ $l = 0.68 \text{ (m)}$

3 Material survey:

- Concrete volume = 0.54 (m³)
- Formwork = 3.60 (m²)
- Steel B500C
 - Total weight = 28.94 (kG)
 - Density = 53.60 (kG/m³)
 - Average diameter = 8.4 (mm)
 - Reinforcement survey:

Diameter	Length (m)	Weight (kG)	Number (No.)	Total weight (kG)
8	0.68	0.27	36	9.63
8	2.18	0.86	12	10.31
10	1.46	0.90	10	9.00

→ **Plinto PL3**

1 Level:

- Name :
- Reference level : ---
- Concrete creep coefficient : $\varphi_p = 2.33$
- Cement class : N
- Environment class : XC4
- Structure class : S2

2 Column: P3

Number: 1

2.1 Material properties:

- Concrete : C30/37 $f_{ck} = 30.00$ (MPa)
- Unit weight : 2501.36 (kG/m³)
- Aggregate size : 20.0 (mm)
- Longitudinal reinforcement: : B500C $f_{yk} = 500.00$ (MPa)
- Ductility class : C
- Transversal reinforcement: : B500C $f_{yk} = 500.00$ (MPa)

2.2 Geometry:

- 2.2.1 Rectangular 60.0 x 60.0 (cm)
- 2.2.2 Height: L = 1.50 (m)
- 2.2.3 Slab thickness = 0.00 (m)
- 2.2.4 Beam height = 0.00 (m)
- 2.2.5 Cover = 4.0 (cm)

2.3 Calculation options:

- Calculations according to : EN 1992-1-1:2004 AC:2008
- Seismic dispositions : No requirements
- Precast column : no
- Pre-design : no
- Slenderness taken into account : yes
- Compression : with bending
- Ties : to beam
- Fire resistance class : No requirements

2.4 Loads:

Case	Nature	Group	γ_f	N (kN)	My(s) (kN*m)	My(i) (kN*m)	Mz(s) (kN*m)	Mz(i) (kN*m)
ELU.Pass(T+) Wxyp	design(Structural)	867	1.00	198.33	-10.44	0.00	24.90	0.00
ELU.Pass(T-) Wxyp	design(Structural)	867	1.00	205.40	-10.44	0.00	25.53	0.00
ELU.Pass(T+) Wy	design(Structural)	867	1.00	63.55	0.01	0.00	-7.77	0.00
ELU.Pass(T-) Wy	design(Structural)	867	1.00	70.61	0.01	0.00	-7.14	0.00
ELU.Pass(T+) Wyy	design(Structural)	867	1.00	341.91	0.01	0.00	57.69	0.00
ELU.Pass(T-) Wyy	design(Structural)	867	1.00	348.98	0.01	0.00	58.32	0.00
ELU.Pass(T+) Wz	design(Structural)	867	1.00	192.41	0.01	0.00	24.10	0.00
ELU.Pass(T-) Wz	design(Structural)	867	1.00	199.48	0.01	0.00	24.73	0.00

Dimensionamento de uma estrutura metálica de suporte de uma Tela Transportadora de
Biomassa

ELU.Pass(T+) Wzz	design(Structural)	867	1.00	213.20	0.02	0.00	26.92	0.00
ELU.Pass(T-) Wzz	design(Structural)	867	1.00	220.27	0.02	0.00	27.55	0.00
ELU.Pass(T+) Wxp	design(Structural)	867	1.00	207.13	10.47	0.00	26.09	0.00
ELU.Pass(T-) Wxp	design(Structural)	867	1.00	214.20	10.46	0.00	26.73	0.00
ELU.Mat(T+) Wxxp	design(Structural)	867	1.00	159.51	-10.44	0.00	19.62	0.00
ELU.Mat(T-) Wxxp	design(Structural)	867	1.00	166.58	-10.44	0.00	20.25	0.00
ELU.Mat(T+) Wy	design(Structural)	867	1.00	24.73	0.01	0.00	-13.05	0.00
ELU.Mat(T-) Wy	design(Structural)	867	1.00	31.80	0.01	0.00	-12.42	0.00
ELU.Mat(T+) Wyy	design(Structural)	867	1.00	303.09	0.01	0.00	52.41	0.00
ELU.Mat(T-) Wyy	design(Structural)	867	1.00	310.16	0.01	0.00	53.04	0.00
ELU.Mat(T+) Wz	design(Structural)	867	1.00	153.60	0.01	0.00	18.82	0.00
ELU.Mat(T-) Wz	design(Structural)	867	1.00	160.66	0.00	0.00	19.45	0.00
ELU.Mat(T+) Wzz	design(Structural)	867	1.00	174.38	0.02	0.00	21.64	0.00
ELU.Mat(T-) Wzz	design(Structural)	867	1.00	181.45	0.01	0.00	22.27	0.00
ELU.Mat(T+) Wxp	design(Structural)	867	1.00	168.31	10.46	0.00	20.81	0.00
ELU.Mat(T-) Wxp	design(Structural)	867	1.00	175.38	10.46	0.00	21.45	0.00
ELU.Wxxp (T+)	design(Structural)	867	1.00	151.62	-17.41	0.00	18.55	0.00
ELU.Wxxp (T-)	design(Structural)	867	1.00	158.69	-17.41	0.00	19.18	0.00
ELU.Wy (T+)	design(Structural)	867	1.00	-73.01	0.01	0.00	-35.90	0.00
ELU.Wy (T-)	design(Structural)	867	1.00	-65.95	0.01	0.00	-35.27	0.00
ELU.Wyy (T+)	design(Structural)	867	1.00	390.93	0.01	0.00	73.20	0.00
ELU.Wyy (T-)	design(Structural)	867	1.00	398.00	0.01	0.00	73.83	0.00
ELU.Wz (T+)	design(Structural)	867	1.00	141.76	0.00	0.00	17.21	0.00
ELU.Wz (T-)	design(Structural)	867	1.00	148.83	-0.00	0.00	17.84	0.00
ELU.Wzz (T+)	design(Structural)	867	1.00	176.41	0.02	0.00	21.91	0.00
ELU.Wzz (T-)	design(Structural)	867	1.00	183.47	0.02	0.00	22.55	0.00
ELU.Wxp (T+)	design(Structural)	867	1.00	166.29	17.43	0.00	20.54	0.00
ELU.Wxp (T-)	design(Structural)	867	1.00	173.36	17.43	0.00	21.17	0.00
ELU.Temp+ Wxxp	design(Structural)	867	1.00	151.52	-10.44	0.00	18.68	0.00
ELU.Temp- Wxxp	design(Structural)	867	1.00	163.30	-10.45	0.00	19.73	0.00
ELU.Temp+ Wy	design(Structural)	867	1.00	16.74	0.01	0.00	-13.99	0.00
ELU.Temp- Wy	design(Structural)	867	1.00	28.52	0.01	0.00	-12.94	0.00
ELU.Temp+ Wyy	design(Structural)	867	1.00	295.10	0.01	0.00	51.46	0.00
ELU.Temp- Wyy	design(Structural)	867	1.00	306.88	0.01	0.00	52.52	0.00
ELU.Temp+ Wz	design(Structural)	867	1.00	145.60	0.01	0.00	17.87	0.00
ELU.Temp- Wz	design(Structural)	867	1.00	157.38	0.00	0.00	18.93	0.00
ELU.Temp+ Wzz	design(Structural)	867	1.00	166.39	0.02	0.00	20.69	0.00
ELU.Temp- Wzz	design(Structural)	867	1.00	178.17	0.01	0.00	21.75	0.00
ELU.Temp+ Wxp	design(Structural)	867	1.00	160.32	10.46	0.00	19.87	0.00
ELU.Temp- Wxp	design(Structural)	867	1.00	172.10	10.46	0.00	20.92	0.00
ELS.Pass(T+) Wxxp	Design SLS()	867	1.00	142.05	-6.96	0.00	17.77	0.00
ELS.Pass(T-) Wxxp	Design SLS()	867	1.00	146.76	-6.96	0.00	18.19	0.00
ELS.Pass(T+) Wy	Design SLS()	867	1.00	52.20	0.01	0.00	-4.01	0.00
ELS.Pass(T-) Wy	Design SLS()	867	1.00	56.91	0.01	0.00	-3.59	0.00
ELS.Pass(T+) Wyy	Design SLS()	867	1.00	237.78	0.01	0.00	39.63	0.00
ELS.Pass(T-) Wyy	Design SLS()	867	1.00	242.49	0.01	0.00	40.05	0.00
ELS.Pass(T+) Wz	Design SLS()	867	1.00	138.11	0.01	0.00	17.23	0.00
ELS.Pass(T-) Wz	Design SLS()	867	1.00	142.82	0.00	0.00	17.65	0.00
ELS.Pass(T+) Wzz	Design SLS()	867	1.00	151.97	0.01	0.00	19.11	0.00
ELS.Pass(T-) Wzz	Design SLS()	867	1.00	156.68	0.01	0.00	19.53	0.00
ELS.Pass(T+) Wxp	Design SLS()	867	1.00	147.92	6.98	0.00	18.56	0.00
ELS.Pass(T-) Wxp	Design SLS()	867	1.00	152.63	6.98	0.00	18.99	0.00
ELS.Mat(T+) Wxxp	Design SLS()	867	1.00	116.17	-6.96	0.00	14.25	0.00
ELS.Mat(T-) Wxxp	Design SLS()	867	1.00	120.88	-6.96	0.00	14.67	0.00
ELS.Mat(T+) Wy	Design SLS()	867	1.00	26.32	0.01	0.00	-7.53	0.00
ELS.Mat(T-) Wy	Design SLS()	867	1.00	31.03	0.01	0.00	-7.11	0.00
ELS.Mat(T+) Wyy	Design SLS()	867	1.00	211.90	0.01	0.00	36.11	0.00
ELS.Mat(T-) Wyy	Design SLS()	867	1.00	216.61	0.01	0.00	36.53	0.00
ELS.Mat(T+) Wz	Design SLS()	867	1.00	112.23	0.00	0.00	13.71	0.00
ELS.Mat(T-) Wz	Design SLS()	867	1.00	116.94	0.00	0.00	14.13	0.00
ELS.Mat(T+) Wzz	Design SLS()	867	1.00	126.09	0.01	0.00	15.59	0.00
ELS.Mat(T-) Wzz	Design SLS()	867	1.00	130.80	0.01	0.00	16.02	0.00
ELS.Mat(T+) Wxp	Design SLS()	867	1.00	122.04	6.98	0.00	15.04	0.00
ELS.Mat(T-) Wxp	Design SLS()	867	1.00	126.75	6.97	0.00	15.47	0.00
ELS.Wxxp (T+)	Design SLS()	867	1.00	110.91	-11.61	0.00	13.53	0.00
ELS.Wxxp (T-)	Design SLS()	867	1.00	115.63	-11.61	0.00	13.96	0.00
ELS.Wy (T+)	Design SLS()	867	1.00	-38.84	0.01	0.00	-22.77	0.00
ELS.Wy (T-)	Design SLS()	867	1.00	-34.13	0.01	0.00	-22.34	0.00
ELS.Wyy (T+)	Design SLS()	867	1.00	270.45	0.01	0.00	49.97	0.00
ELS.Wyy (T-)	Design SLS()	867	1.00	275.16	0.01	0.00	50.39	0.00
ELS.Wz (T+)	Design SLS()	867	1.00	104.34	0.00	0.00	12.64	0.00
ELS.Wz (T-)	Design SLS()	867	1.00	109.05	-0.00	0.00	13.06	0.00
ELS.Wzz (T+)	Design SLS()	867	1.00	127.44	0.01	0.00	15.78	0.00

ELS.Wzz (T-)	Design SLS()	867	1.00	132.15	0.01	0.00	16.20	0.00
ELS.Wxp (T+)	Design SLS()	867	1.00	120.70	11.62	0.00	14.86	0.00
ELS.Wxp (T-)	Design SLS()	867	1.00	125.41	11.62	0.00	15.28	0.00
ELS.Temp+ Wxyp	Design SLS()	867	1.00	110.85	-6.96	0.00	13.62	0.00
ELS.Temp- Wxyp	Design SLS()	867	1.00	118.70	-6.96	0.00	14.32	0.00
ELS.Temp+ Wy	Design SLS()	867	1.00	20.99	0.01	0.00	-8.16	0.00
ELS.Temp- Wy	Design SLS()	867	1.00	28.84	0.00	0.00	-7.46	0.00
ELS.Temp+ Wyy	Design SLS()	867	1.00	206.57	0.01	0.00	35.48	0.00
ELS.Temp- Wyy	Design SLS()	867	1.00	214.42	0.00	0.00	36.18	0.00
ELS.Temp+ Wz	Design SLS()	867	1.00	106.90	0.00	0.00	13.08	0.00
ELS.Temp- Wz	Design SLS()	867	1.00	114.76	0.00	0.00	13.79	0.00
ELS.Temp+ Wzz	Design SLS()	867	1.00	120.76	0.01	0.00	14.96	0.00
ELS.Temp- Wzz	Design SLS()	867	1.00	128.61	0.01	0.00	15.67	0.00
ELS.Temp+ Wxp	Design SLS()	867	1.00	116.72	6.98	0.00	14.41	0.00
ELS.Temp- Wxp	Design SLS()	867	1.00	124.57	6.97	0.00	15.12	0.00
CP+0,8SC	design(Structural)	867	1.00	111.55	0.01	0.00	13.48	0.00

γ_f - load factor

2.5 Calculation results:

Note: Tension force in the column!

Safety factors $Rd/Ed = 1.74 > 1.0$

2.5.1 ULS/ALS Analysis

Design combination: ELU.Wy (T+) (A)

Combination type: ULS

Internal forces:

$N_{sd} = -73.01$ (kN) $M_{sdy} = 0.01$ (kN*m) $M_{sdz} = -35.90$ (kN*m)

Design forces:

Upper node

$N = -73.01$ (kN) $N^*etotz = 0.01$ (kN*m) $N^*etoty = -35.90$ (kN*m)

Eccentricity:

	ez (My/N)	ey (Mz/N)
Static	eEd: -0.0 (cm)	49.2 (cm)
Imperfection	ei: 0.0 (cm)	0.0 (cm)
II order	e2: 0.0 (cm)	0.0 (cm)
Minimal	emin: 0.0 (cm)	0.0 (cm)
Total	etot: -0.0 (cm)	49.2 (cm)

2.5.1.1. Detailed analysis-Direction Y:

2.5.1.1.1 Slenderness analysis

Non-sway structure

L (m)	Lo (m)	λ	λ_{lim}	
1.50	1.50	8.66	inf.	Short column

2.5.1.1.2 Buckling analysis

$M_2 = 0.01$ (kN*m) $M_1 = 0.00$ (kN*m)

Case: Cross-section at the column end (Upper node), Slenderness not taken into account

$M_0 = 0.01$ (kN*m)

$ea = 0.0$ (cm)

$Ma = N^*ea = 0.00$ (kN*m)

$ME_{dmin} = 0.00$ (kN*m)

$M_{0Ed} = \max(ME_{dmin}, M_0 + Ma) = 0.01$ (kN*m)

2.5.1.2. Detailed analysis-Direction Z:

$M_2 = 0.00$ (kN*m) $M_1 = -35.90$ (kN*m)

Case: Cross-section at the column end (Upper node), Slenderness not taken into account

$M_0 = -35.90$ (kN*m)

$$\begin{aligned}
 ea &= 0.0 \text{ (cm)} \\
 Ma &= N \cdot ea = 0.00 \text{ (kN}\cdot\text{m)} \\
 MEdmin &= 0.00 \text{ (kN}\cdot\text{m)} \\
 M0Ed &= \max(MEdmin, M0 + Ma) = -35.90 \text{ (kN}\cdot\text{m)}
 \end{aligned}$$

2.5.2 Reinforcement:

$$\begin{aligned}
 \text{Real (provided) area} & & Asr &= 7.85 \text{ (cm}^2\text{)} \\
 \text{Ratio:} & & \rho &= 0.22 \%
 \end{aligned}$$

2.6 Reinforcement:

Main bars (B500C):

- 10 ϕ 10 l = 1.46 (m)

Transversal reinforcement: (B500C):

$$\text{stirrups:} \quad 12 \phi 6 \quad l = 2.18 \text{ (m)}$$

$$\text{pins} \quad 36 \phi 6 \quad l = 0.64 \text{ (m)}$$

3 Material survey:

- Concrete volume = 0.54 (m³)
- Formwork = 3.60 (m²)
- Steel B500C
 - Total weight = 19.91 (kG)
 - Density = 36.87 (kG/m³)
 - Average diameter = 6.9 (mm)
 - Reinforcement survey:

Diameter	Length (m)	Weight (kG)	Number (No.)	Total weight (kG)
6	0.64	0.14	36	5.10
6	2.18	0.48	12	5.80
10	1.46	0.90	10	9.00

→ **Plinto PL4**

1 Level:

- Name :
- Reference level : ---
- Concrete creep coefficient : $\varphi_p = 2.33$
- Cement class : N
- Environment class : XC4
- Structure class : S2

2 Column: P4

Number: 1

2.1 Material properties:

- Concrete : C30/37 $f_{ck} = 30.00$ (MPa)
- Unit weight : 2501.36 (kG/m³)
- Aggregate size : 20.0 (mm)
- Longitudinal reinforcement: : B500C $f_{yk} = 500.00$ (MPa)
- Ductility class : C
- Transversal reinforcement: : B500C $f_{yk} = 500.00$ (MPa)

2.2 Geometry:

- 2.2.1 Rectangular 60.0 x 60.0 (cm)
- 2.2.2 Height: L = 1.50 (m)
- 2.2.3 Slab thickness = 0.00 (m)
- 2.2.4 Beam height = 0.00 (m)
- 2.2.5 Cover = 4.0 (cm)

2.3 Calculation options:

- Calculations according to : EN 1992-1-1:2004 AC:2008
- Seismic dispositions : No requirements
- Precast column : no
- Pre-design : no
- Slenderness taken into account : yes
- Compression : with bending
- Ties : to slab
- Fire resistance class : No requirements

2.4 Loads:

Case	Nature	Group	γ_f	N (kN)	My(s) (kN*m)	My(i) (kN*m)	Mz(s) (kN*m)	Mz(i) (kN*m)
ELU.Pass(T+) Wxyp	design(Structural)	868	1.00	199.21	-10.44	0.00	-25.00	0.00
ELU.Pass(T-) Wxyp	design(Structural)	868	1.00	206.03	-10.44	0.00	-25.55	0.00
ELU.Pass(T+) Wy	design(Structural)	868	1.00	342.84	0.01	0.00	-57.80	0.00
ELU.Pass(T-) Wy	design(Structural)	868	1.00	349.66	0.01	0.00	-58.35	0.00
ELU.Pass(T+) Wyy	design(Structural)	868	1.00	64.28	0.01	0.00	7.69	0.00
ELU.Pass(T-) Wyy	design(Structural)	868	1.00	71.10	0.01	0.00	7.13	0.00
ELU.Pass(T+) Wz	design(Structural)	868	1.00	193.25	0.01	0.00	-24.19	0.00
ELU.Pass(T-) Wz	design(Structural)	868	1.00	200.07	0.01	0.00	-24.74	0.00

Dimensionamento de uma estrutura metálica de suporte de uma Tela Transportadora de
Biomassa

ELU.Pass(T+) Wzz	design(Structural)	868	1.00	214.01	0.02	0.00	-27.01	0.00
ELU.Pass(T-) Wzz	design(Structural)	868	1.00	220.83	0.02	0.00	-27.57	0.00
ELU.Pass(T+) Wxp	design(Structural)	868	1.00	207.90	10.47	0.00	-26.18	0.00
ELU.Pass(T-) Wxp	design(Structural)	868	1.00	214.72	10.46	0.00	-26.74	0.00
ELU.Mat(T+) Wxyp	design(Structural)	868	1.00	160.27	-10.44	0.00	-19.72	0.00
ELU.Mat(T-) Wxyp	design(Structural)	868	1.00	167.09	-10.44	0.00	-20.27	0.00
ELU.Mat(T+) Wy	design(Structural)	868	1.00	303.90	0.01	0.00	-52.52	0.00
ELU.Mat(T-) Wy	design(Structural)	868	1.00	310.72	0.01	0.00	-53.07	0.00
ELU.Mat(T+) Wyy	design(Structural)	868	1.00	25.34	0.01	0.00	12.97	0.00
ELU.Mat(T-) Wyy	design(Structural)	868	1.00	32.16	0.01	0.00	12.42	0.00
ELU.Mat(T+) Wz	design(Structural)	868	1.00	154.31	0.01	0.00	-18.91	0.00
ELU.Mat(T-) Wz	design(Structural)	868	1.00	161.13	0.00	0.00	-19.46	0.00
ELU.Mat(T+) Wzz	design(Structural)	868	1.00	175.07	0.02	0.00	-21.73	0.00
ELU.Mat(T-) Wzz	design(Structural)	868	1.00	181.89	0.01	0.00	-22.29	0.00
ELU.Mat(T+) Wxp	design(Structural)	868	1.00	168.96	10.46	0.00	-20.90	0.00
ELU.Mat(T-) Wxp	design(Structural)	868	1.00	175.78	10.46	0.00	-21.46	0.00
ELU.Wxyp (T+)	design(Structural)	868	1.00	152.39	-17.41	0.00	-18.65	0.00
ELU.Wxyp (T-)	design(Structural)	868	1.00	159.21	-17.41	0.00	-19.20	0.00
ELU.Wy (T+)	design(Structural)	868	1.00	391.79	0.01	0.00	-73.31	0.00
ELU.Wy (T-)	design(Structural)	868	1.00	398.60	0.01	0.00	-73.87	0.00
ELU.Wyy (T+)	design(Structural)	868	1.00	-72.49	0.01	0.00	35.83	0.00
ELU.Wyy (T-)	design(Structural)	868	1.00	-65.67	0.01	0.00	35.28	0.00
ELU.Wz (T+)	design(Structural)	868	1.00	142.46	0.00	0.00	-17.30	0.00
ELU.Wz (T-)	design(Structural)	868	1.00	149.28	-0.00	0.00	-17.86	0.00
ELU.Wzz (T+)	design(Structural)	868	1.00	177.07	0.02	0.00	-22.01	0.00
ELU.Wzz (T-)	design(Structural)	868	1.00	183.89	0.02	0.00	-22.56	0.00
ELU.Wxp (T+)	design(Structural)	868	1.00	166.88	17.43	0.00	-20.62	0.00
ELU.Wxp (T-)	design(Structural)	868	1.00	173.70	17.43	0.00	-21.17	0.00
ELU.Temp+ Wxyp	design(Structural)	868	1.00	152.36	-10.44	0.00	-18.81	0.00
ELU.Temp- Wxyp	design(Structural)	868	1.00	163.72	-10.45	0.00	-19.73	0.00
ELU.Temp+ Wy	design(Structural)	868	1.00	295.99	0.01	0.00	-51.61	0.00
ELU.Temp- Wy	design(Structural)	868	1.00	307.36	0.01	0.00	-52.53	0.00
ELU.Temp+ Wyy	design(Structural)	868	1.00	17.43	0.01	0.00	13.88	0.00
ELU.Temp- Wyy	design(Structural)	868	1.00	28.80	0.01	0.00	12.96	0.00
ELU.Temp+ Wz	design(Structural)	868	1.00	146.40	0.01	0.00	-18.00	0.00
ELU.Temp- Wz	design(Structural)	868	1.00	157.77	0.00	0.00	-18.92	0.00
ELU.Temp+ Wzz	design(Structural)	868	1.00	167.16	0.02	0.00	-20.82	0.00
ELU.Temp- Wzz	design(Structural)	868	1.00	178.53	0.01	0.00	-21.74	0.00
ELU.Temp+ Wxp	design(Structural)	868	1.00	161.05	10.46	0.00	-19.99	0.00
ELU.Temp- Wxp	design(Structural)	868	1.00	172.42	10.46	0.00	-20.91	0.00
ELS.Pass(T+) Wxyp	Design SLS()	868	1.00	142.67	-6.96	0.00	-17.84	0.00
ELS.Pass(T-) Wxyp	Design SLS()	868	1.00	147.21	-6.96	0.00	-18.21	0.00
ELS.Pass(T+) Wy	Design SLS()	868	1.00	238.42	0.01	0.00	-39.70	0.00
ELS.Pass(T-) Wy	Design SLS()	868	1.00	242.97	0.01	0.00	-40.07	0.00
ELS.Pass(T+) Wyy	Design SLS()	868	1.00	52.71	0.01	0.00	3.95	0.00
ELS.Pass(T-) Wyy	Design SLS()	868	1.00	57.26	0.01	0.00	3.59	0.00
ELS.Pass(T+) Wz	Design SLS()	868	1.00	138.69	0.01	0.00	-17.30	0.00
ELS.Pass(T-) Wz	Design SLS()	868	1.00	143.24	0.00	0.00	-17.67	0.00
ELS.Pass(T+) Wzz	Design SLS()	868	1.00	152.54	0.01	0.00	-19.18	0.00
ELS.Pass(T-) Wzz	Design SLS()	868	1.00	157.08	0.01	0.00	-19.55	0.00
ELS.Pass(T+) Wxp	Design SLS()	868	1.00	148.46	6.98	0.00	-18.63	0.00
ELS.Pass(T-) Wxp	Design SLS()	868	1.00	153.01	6.98	0.00	-18.99	0.00
ELS.Mat(T+) Wxyp	Design SLS()	868	1.00	116.71	-6.96	0.00	-14.32	0.00
ELS.Mat(T-) Wxyp	Design SLS()	868	1.00	121.25	-6.96	0.00	-14.69	0.00
ELS.Mat(T+) Wy	Design SLS()	868	1.00	212.46	0.01	0.00	-36.18	0.00
ELS.Mat(T-) Wy	Design SLS()	868	1.00	217.01	0.01	0.00	-36.55	0.00
ELS.Mat(T+) Wyy	Design SLS()	868	1.00	26.75	0.01	0.00	7.47	0.00
ELS.Mat(T-) Wyy	Design SLS()	868	1.00	31.30	0.01	0.00	7.11	0.00
ELS.Mat(T+) Wz	Design SLS()	868	1.00	112.73	0.00	0.00	-13.78	0.00
ELS.Mat(T-) Wz	Design SLS()	868	1.00	117.28	0.00	0.00	-14.15	0.00
ELS.Mat(T+) Wzz	Design SLS()	868	1.00	126.58	0.01	0.00	-15.66	0.00
ELS.Mat(T-) Wzz	Design SLS()	868	1.00	131.12	0.01	0.00	-16.03	0.00
ELS.Mat(T+) Wxp	Design SLS()	868	1.00	122.50	6.98	0.00	-15.11	0.00
ELS.Mat(T-) Wxp	Design SLS()	868	1.00	127.05	6.97	0.00	-15.47	0.00
ELS.Wxyp (T+)	Design SLS()	868	1.00	111.46	-11.61	0.00	-13.60	0.00
ELS.Wxyp (T-)	Design SLS()	868	1.00	116.00	-11.61	0.00	-13.97	0.00
ELS.Wy (T+)	Design SLS()	868	1.00	271.05	0.01	0.00	-50.05	0.00
ELS.Wy (T-)	Design SLS()	868	1.00	275.60	0.01	0.00	-50.41	0.00
ELS.Wyy (T+)	Design SLS()	868	1.00	-38.46	0.01	0.00	22.72	0.00
ELS.Wyy (T-)	Design SLS()	868	1.00	-33.92	0.01	0.00	22.35	0.00
ELS.Wz (T+)	Design SLS()	868	1.00	104.83	0.00	0.00	-12.71	0.00
ELS.Wz (T-)	Design SLS()	868	1.00	109.38	-0.00	0.00	-13.07	0.00
ELS.Wzz (T+)	Design SLS()	868	1.00	127.91	0.01	0.00	-15.84	0.00

ELS.Wzz (T-)	Design SLS()	868	1.00	132.45	0.01	0.00	-16.21	0.00
ELS.Wxp (T+)	Design SLS()	868	1.00	121.11	11.62	0.00	-14.92	0.00
ELS.Wxp (T-)	Design SLS()	868	1.00	125.66	11.62	0.00	-15.29	0.00
ELS.Temp+ Wxyp	Design SLS()	868	1.00	111.43	-6.96	0.00	-13.71	0.00
ELS.Temp- Wxyp	Design SLS()	868	1.00	119.01	-6.96	0.00	-14.32	0.00
ELS.Temp+ Wy	Design SLS()	868	1.00	207.19	0.01	0.00	-35.58	0.00
ELS.Temp- Wy	Design SLS()	868	1.00	214.77	0.00	0.00	-36.19	0.00
ELS.Temp+ Wyy	Design SLS()	868	1.00	21.48	0.01	0.00	8.08	0.00
ELS.Temp- Wyy	Design SLS()	868	1.00	29.06	0.01	0.00	7.47	0.00
ELS.Temp+ Wz	Design SLS()	868	1.00	107.46	0.00	0.00	-13.17	0.00
ELS.Temp- Wz	Design SLS()	868	1.00	115.04	0.00	0.00	-13.78	0.00
ELS.Temp+ Wzz	Design SLS()	868	1.00	121.30	0.01	0.00	-15.05	0.00
ELS.Temp- Wzz	Design SLS()	868	1.00	128.88	0.01	0.00	-15.66	0.00
ELS.Temp+ Wxp	Design SLS()	868	1.00	117.23	6.98	0.00	-14.50	0.00
ELS.Temp- Wxp	Design SLS()	868	1.00	124.81	6.97	0.00	-15.11	0.00
CP+0,8SC	design(Structural)	868	1.00	111.90	0.01	0.00	-13.51	0.00

γ_f - load factor

2.5 Calculation results:

Note: Tension force in the column!

Safety factors $Rd/Ed = 1.75 > 1.0$

2.5.1 ULS/ALS Analysis

Design combination: ELU.Wyy (T+) (A)

Combination type: ULS

Internal forces:

$N_{sd} = -72.49$ (kN) $M_{sdy} = 0.01$ (kN*m) $M_{sdz} = 35.83$ (kN*m)

Design forces:

Upper node

$N = -72.49$ (kN) $N^*etotz = 0.01$ (kN*m) $N^*etoty = 35.83$ (kN*m)

Eccentricity:

	ez (My/N)	ey (Mz/N)
Static	eEd: -0.0 (cm)	-49.4 (cm)
Imperfection	ei: 0.0 (cm)	0.0 (cm)
II order	e2: 0.0 (cm)	0.0 (cm)
Minimal	emin: 0.0 (cm)	0.0 (cm)
Total	etot: -0.0 (cm)	-49.4 (cm)

2.5.1.1. Detailed analysis-Direction Y:

2.5.1.1.1 Slenderness analysis

Non-sway structure

L (m)	Lo (m)	λ	λ_{lim}	
1.50	1.50	8.66	inf.	Short column

2.5.1.1.2 Buckling analysis

$M_2 = 0.01$ (kN*m) $M_1 = 0.00$ (kN*m)

Case: Cross-section at the column end (Upper node), Slenderness not taken into account

$M_0 = 0.01$ (kN*m)

$ea = 0.0$ (cm)

$Ma = N^*ea = 0.00$ (kN*m)

$ME_{dmin} = 0.00$ (kN*m)

$M_{0Ed} = \max(ME_{dmin}, M_0 + Ma) = 0.01$ (kN*m)

2.5.1.2. Detailed analysis-Direction Z:

$M_2 = 35.83$ (kN*m) $M_1 = 0.00$ (kN*m)

Case: Cross-section at the column end (Upper node), Slenderness not taken into account

$M_0 = 35.83$ (kN*m)

$$\begin{aligned}
 ea &= 0.0 \text{ (cm)} \\
 Ma &= N \cdot ea = 0.00 \text{ (kN}\cdot\text{m)} \\
 ME_{dmin} &= 0.00 \text{ (kN}\cdot\text{m)} \\
 M0Ed &= \max(ME_{dmin}, M0 + Ma) = 35.83 \text{ (kN}\cdot\text{m)}
 \end{aligned}$$

2.5.2 Reinforcement:

$$\begin{aligned}
 \text{Real (provided) area} & & Asr &= 7.85 \text{ (cm}^2\text{)} \\
 \text{Ratio:} & & \rho &= 0.22 \%
 \end{aligned}$$

2.6 Reinforcement:

Main bars (B500C):

- 10 ϕ 10 l = 1.46 (m)

Transversal reinforcement: (B500C):

$$\text{stirrups:} \quad 12 \phi 8 \quad l = 2.18 \text{ (m)}$$

$$\text{pins} \quad 36 \phi 8 \quad l = 0.68 \text{ (m)}$$

3 Material survey:

- Concrete volume = 0.54 (m³)
- Formwork = 3.60 (m²)
- Steel B500C
 - Total weight = 28.94 (kG)
 - Density = 53.60 (kG/m³)
 - Average diameter = 8.4 (mm)
 - Reinforcement survey:

Diameter	Length (m)	Weight (kG)	Number (No.)	Total weight (kG)
8	0.68	0.27	36	9.63
8	2.18	0.86	12	10.31
10	1.46	0.90	10	9.00

ANEXO XVII – Sapatas

De seguida apresenta-se os resultados completos do dimensionamento das sapatas através do “Robot”.

→ **Sapata S1**

1 footing: Foundation1-172

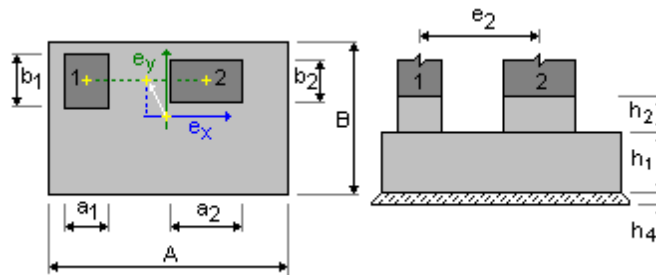
Spread Number: 1

1.1 Basic data

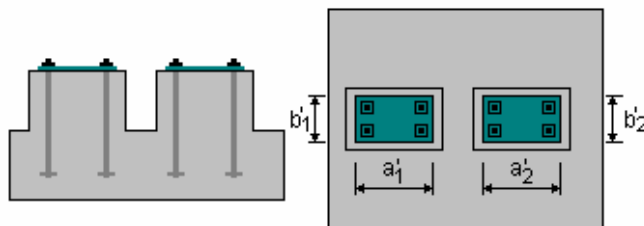
1.1.1 Assumptions

- Geotechnic calculations according to : EN 1997-1:2008
- Concrete calculations according to : EN 1992-1-1:2004 AC:2008
- Shape selection : without limits

1.1.2 Geometry:



A	= 3.50 (m)	a1	= 0.60 (m)	a2	= 0.60 (m)
B	= 1.70 (m)	b1	= 0.60 (m)	b2	= 0.60 (m)
h1	= 0.80 (m)	e2	= 1.05 (m)		
h2	= 1.50 (m)	ex	= 0.00 (m)	ey	= -0.55 (m)
h4	= 0.05 (m)				



a'1	= 50.0 (cm)	a'2	= 50.0 (cm)
b'1	= 50.0 (cm)	b'2	= 50.0 (cm)

c_{nom1} = 6.0 (cm)
 c_{nom2} = 6.0 (cm)
 Cover deviations: C_{dev} = 1.0(cm), C_{dur} = 0.0(cm)

1.1.3 Materials

- Concrete : C30/37; Characteristic strength = 30.00 MPa

Dimensionamento de uma estrutura metálica de suporte de uma Tela Transportadora de Biomassa

Unit weight = 2501.36 (kG/m³)
 Rectangular stress distribution [3.1.7(3)]

- Longitudinal reinforcement : type B500A
 Characteristic strength = 500.00 MPa
 Ductility class: A
 Horizontal branch of the stress-strain diagram
- Transversal reinforcement : type B500A
 Characteristic strength = 500.00 MPa
- Additional reinforcement: : type B500A
 Characteristic strength = 500.00 MPa

1.1.4 Loads:

Foundation loads:

Case	Nature	Group	Pier	N (kN)	Fx (kN)	Fy (kN)	Mx (kN*m)	My (kN*m)
ELU.Pass(T+) Wxxp	design(Structural)----		1	109.86	-171.94	51.95	-0.00	0.00
			2	108.81	171.91	51.41	-0.00	0.00
ELU.Pass(T-) Wxxp	design(Structural)----		1	102.83	94.29	44.49	-0.00	0.00
			2	102.30	-94.28	44.99	-0.00	0.00
ELU.Pass(T+) Wy	design(Structural)----		1	70.41	-162.38	16.14	-0.00	0.00
			2	135.96	174.93	72.72	-0.00	0.00
ELU.Pass(T-) Wy	design(Structural)----		1	63.38	103.85	8.69	-0.00	0.00
			2	129.45	-91.26	66.30	-0.00	0.00
ELU.Pass(T+) Wyy	design(Structural)----		1	137.07	-181.29	73.29	-0.00	-0.00
			2	69.44	168.68	15.67	-0.00	0.00
ELU.Pass(T-) Wyy	design(Structural)----		1	130.04	84.94	65.83	-0.00	-0.00
			2	62.93	-97.51	9.25	-0.00	0.00
ELU.Pass(T+) Wz	design(Structural)----		1	105.38	-171.79	52.22	-0.00	0.00
			2	104.39	171.77	51.67	-0.00	0.00
ELU.Pass(T-) Wz	design(Structural)----		1	98.35	94.44	44.77	-0.00	0.00
			2	97.88	-94.43	45.25	-0.00	0.00
ELU.Pass(T+) Wzz	design(Structural)----		1	101.90	-172.39	37.54	-0.00	-0.00
			2	100.80	172.36	37.05	-0.00	0.00
ELU.Pass(T-) Wzz	design(Structural)----		1	94.87	93.84	30.09	-0.00	-0.00
			2	94.29	-93.83	30.63	-0.00	0.00
ELU.Pass(T+) Wxp	design(Structural)----		1	97.62	-172.25	37.48	-0.00	-0.00
			2	96.59	172.23	36.98	-0.00	0.00
ELU.Pass(T-) Wxp	design(Structural)----		1	90.60	93.98	30.03	-0.00	-0.00
			2	90.09	-93.97	30.56	-0.00	0.00
ELU.Mat(T+) Wxxp	design(Structural)----		1	84.20	-172.12	41.44	-0.00	-0.00
			2	83.36	172.09	40.87	-0.00	0.00
ELU.Mat(T-) Wxxp	design(Structural)----		1	77.17	94.12	33.99	-0.00	-0.00
			2	76.85	-94.11	34.44	-0.00	0.00
ELU.Mat(T+) Wy	design(Structural)----		1	44.76	-162.56	5.63	-0.00	-0.00
			2	110.51	175.11	62.18	-0.00	0.00
ELU.Mat(T-) Wy	design(Structural)----		1	37.73	103.68	-1.82	-0.00	-0.00
			2	104.00	-91.08	55.76	-0.00	0.00
ELU.Mat(T+) Wyy	design(Structural)----		1	111.41	-181.47	62.78	-0.00	-0.00
			2	43.99	168.86	5.13	-0.00	0.00
ELU.Mat(T-) Wyy	design(Structural)----		1	104.38	84.77	55.33	-0.00	-0.00
			2	37.49	-97.34	-1.29	-0.00	0.00
ELU.Mat(T+) Wz	design(Structural)----		1	79.72	-171.97	41.72	-0.00	-0.00
			2	78.94	171.94	41.13	-0.00	0.00
ELU.Mat(T-) Wz	design(Structural)----		1	72.69	94.26	34.26	-0.00	-0.00
			2	72.43	-94.25	34.71	-0.00	0.00
ELU.Mat(T+) Wzz	design(Structural)----		1	76.24	-172.57	27.03	-0.00	-0.00
			2	75.35	172.54	26.51	-0.00	0.00
ELU.Mat(T-) Wzz	design(Structural)----		1	69.21	93.67	19.58	-0.00	-0.00
			2	68.85	-93.66	20.09	-0.00	0.00
ELU.Mat(T+) Wxp	design(Structural)----		1	71.97	-172.43	26.97	-0.00	-0.00
			2	71.14	172.40	26.44	-0.00	0.00
ELU.Mat(T-) Wxp	design(Structural)----		1	64.94	93.80	19.52	-0.00	-0.00
			2	64.64	-93.79	20.02	-0.00	0.00
ELU.Wxxp (T+)	design(Structural)----		1	85.57	-171.94	45.49	-0.00	-0.00
			2	84.74	171.91	44.90	-0.00	0.00
ELU.Wxxp (T-)	design(Structural)----		1	78.54	94.30	38.04	-0.00	-0.00
			2	78.23	-94.29	38.47	-0.00	0.00
ELU.Wy (T+)	design(Structural)----		1	19.83	-156.01	-14.19	-0.00	-0.00

ANEXO XVII – Sapatas

ELU.Wy (T-)	design(Structural)----	2	130.00	176.95	80.42	-0.00	0.00
		1	12.80	110.23	-21.64	-0.00	-0.00
ELU.Wyy (T+)	design(Structural)----	2	123.49	-89.25	74.00	-0.00	0.00
		1	130.93	-187.52	81.06	-0.00	-0.00
ELU.Wyy (T-)	design(Structural)----	2	19.13	166.52	-14.66	-0.00	0.00
		1	123.90	78.72	73.61	-0.00	-0.00
ELU.Wz (T+)	design(Structural)----	2	12.63	-99.67	-21.08	-0.00	0.00
		1	78.10	-171.69	45.95	-0.00	0.00
ELU.Wz (T-)	design(Structural)----	2	77.38	171.67	45.34	-0.00	0.00
		1	71.08	94.54	38.50	-0.00	0.00
ELU.Wzz (T+)	design(Structural)----	2	70.87	-94.53	38.92	-0.00	0.00
		1	72.30	-172.69	21.48	-0.00	-0.00
ELU.Wzz (T-)	design(Structural)----	2	71.40	172.66	20.97	-0.00	0.00
		1	65.28	93.55	14.03	-0.00	-0.00
ELU.Wxp (T+)	design(Structural)----	2	64.89	-93.54	14.55	-0.00	0.00
		1	65.18	-172.46	21.38	-0.00	-0.00
ELU.Wxp (T-)	design(Structural)----	2	64.39	172.43	20.86	-0.00	0.00
		1	58.16	93.78	13.93	-0.00	-0.00
ELU.Temp+ Wxxp	design(Structural)----	2	57.88	-93.76	14.43	-0.00	0.00
		1	84.51	-286.42	43.87	-0.00	-0.00
ELU.Temp- Wxxp	design(Structural)----	2	83.47	286.38	42.85	-0.00	0.00
		1	72.80	157.30	31.45	-0.00	-0.00
ELU.Temp+ Wy	design(Structural)----	2	72.62	-157.28	32.14	-0.00	0.00
		1	45.07	-276.86	8.06	-0.00	-0.00
ELU.Temp- Wy	design(Structural)----	2	110.62	289.40	64.17	-0.00	0.00
		1	33.36	166.86	-4.36	-0.00	-0.00
ELU.Temp+ Wyy	design(Structural)----	2	99.77	-154.26	53.46	-0.00	0.00
		1	111.73	-295.77	65.21	-0.00	-0.00
ELU.Temp- Wyy	design(Structural)----	2	44.10	283.15	7.11	-0.00	0.00
		1	100.01	147.95	52.79	-0.00	-0.00
ELU.Temp+ Wz	design(Structural)----	2	33.26	-160.51	-3.59	-0.00	0.00
		1	80.03	-286.28	44.15	-0.00	-0.00
ELU.Temp- Wz	design(Structural)----	2	79.05	286.23	43.11	-0.00	0.00
		1	68.32	157.45	31.73	-0.00	-0.00
ELU.Temp+ Wzz	design(Structural)----	2	68.20	-157.43	32.41	-0.00	0.00
		1	76.55	-286.87	29.46	-0.00	-0.00
ELU.Temp- Wzz	design(Structural)----	2	75.46	286.83	28.49	-0.00	0.00
		1	64.84	156.85	17.04	-0.00	-0.00
ELU.Temp+ Wxp	design(Structural)----	2	64.62	-156.83	17.79	-0.00	0.00
		1	72.28	-286.74	29.40	-0.00	-0.00
ELU.Temp- Wxp	design(Structural)----	2	71.25	286.69	28.42	-0.00	0.00
		1	60.57	156.99	16.98	-0.00	-0.00
ELS.Pass(T+) Wxxp	design(Structural)----	2	60.41	-156.97	17.72	-0.00	0.00
		1	77.16	-114.65	36.31	-0.00	0.00
ELS.Pass(T-) Wxxp	design(Structural)----	2	76.43	114.63	35.96	-0.00	0.00
		1	72.47	62.84	31.35	-0.00	0.00
ELS.Pass(T+) Wy	design(Structural)----	2	72.09	-62.83	31.68	-0.00	0.00
		1	50.86	-108.28	12.44	-0.00	0.00
ELS.Pass(T-) Wy	design(Structural)----	2	94.54	116.65	50.17	-0.00	0.00
		1	46.18	69.21	7.48	-0.00	0.00
ELS.Pass(T+) Wyy	design(Structural)----	2	90.20	-60.82	45.89	-0.00	0.00
		1	95.30	-120.88	50.54	-0.00	-0.00
ELS.Pass(T-) Wyy	design(Structural)----	2	50.19	112.48	12.14	-0.00	0.00
		1	90.62	56.60	45.57	-0.00	-0.00
ELS.Pass(T+) Wz	design(Structural)----	2	45.85	-64.98	7.86	-0.00	0.00
		1	74.17	-114.55	36.50	-0.00	0.00
ELS.Pass(T-) Wz	design(Structural)----	2	73.49	114.54	36.14	-0.00	0.00
		1	69.49	62.93	31.53	-0.00	0.00
ELS.Pass(T+) Wzz	design(Structural)----	2	69.15	-62.93	31.86	-0.00	0.00
		1	71.85	-114.95	26.71	-0.00	-0.00
ELS.Pass(T-) Wzz	design(Structural)----	2	71.10	114.93	26.39	-0.00	0.00
		1	67.17	62.54	21.74	-0.00	-0.00
ELS.Pass(T+) Wxp	design(Structural)----	2	66.76	-62.53	22.11	-0.00	0.00
		1	69.00	-114.86	26.67	-0.00	-0.00
ELS.Pass(T-) Wxp	design(Structural)----	2	68.29	114.84	26.35	-0.00	0.00
		1	64.32	62.63	21.70	-0.00	-0.00
ELS.Mat(T+) Wxxp	design(Structural)----	2	63.95	-62.62	22.06	-0.00	0.00
		1	60.05	-114.77	29.31	-0.00	-0.00
ELS.Mat(T-) Wxxp	design(Structural)----	2	59.47	114.75	28.93	-0.00	0.00
		1	55.37	62.72	24.34	-0.00	-0.00
ELS.Mat(T+) Wy	design(Structural)----	2	55.13	-62.71	24.65	-0.00	0.00
		1	33.76	-108.40	5.44	-0.00	-0.00
		2	77.57	116.77	43.14	-0.00	0.00

Dimensionamento de uma estrutura metálica de suporte de uma Tela Transportadora de
Biomassa

ELS.Mat(T-) Wy	design(Structural)----	1	29.07	69.09	0.47	-0.00	-0.00
		2	73.23	-60.70	38.86	-0.00	0.00
ELS.Mat(T+) Wyy	design(Structural)----	1	78.20	-121.00	43.54	-0.00	-0.00
		2	33.22	112.60	5.11	-0.00	0.00
ELS.Mat(T-) Wyy	design(Structural)----	1	73.51	56.49	38.57	-0.00	-0.00
		2	28.89	-64.87	0.83	-0.00	0.00
ELS.Mat(T+) Wz	design(Structural)----	1	57.07	-114.67	29.49	-0.00	-0.00
		2	56.52	114.65	29.11	-0.00	0.00
ELS.Mat(T-) Wz	design(Structural)----	1	52.38	62.82	24.53	-0.00	-0.00
		2	52.18	-62.81	24.83	-0.00	0.00
ELS.Mat(T+) Wzz	design(Structural)----	1	54.75	-115.07	19.70	-0.00	-0.00
		2	54.13	115.05	19.36	-0.00	0.00
ELS.Mat(T-) Wzz	design(Structural)----	1	50.06	62.42	14.74	-0.00	-0.00
		2	49.79	-62.41	15.08	-0.00	0.00
ELS.Mat(T+) Wxp	design(Structural)----	1	51.90	-114.98	19.66	-0.00	-0.00
		2	51.32	114.96	19.32	-0.00	0.00
ELS.Mat(T-) Wxp	design(Structural)----	1	47.21	62.51	14.70	-0.00	-0.00
		2	46.99	-62.50	15.03	-0.00	0.00
ELS.Wxxp (T+)	design(Structural)----	1	60.97	-114.65	32.01	-0.00	-0.00
		2	60.39	114.63	31.62	-0.00	0.00
ELS.Wxxp (T-)	design(Structural)----	1	56.28	62.84	27.05	-0.00	-0.00
		2	56.05	-62.83	27.34	-0.00	0.00
ELS.Wy (T+)	design(Structural)----	1	17.14	-104.03	-7.77	-0.00	-0.00
		2	90.56	117.99	55.31	-0.00	0.00
ELS.Wy (T-)	design(Structural)----	1	12.46	73.46	-12.74	-0.00	-0.00
		2	86.22	-59.47	51.02	-0.00	0.00
ELS.Wyy (T+)	design(Structural)----	1	91.20	-125.04	55.72	-0.00	-0.00
		2	16.65	111.04	-8.08	-0.00	0.00
ELS.Wyy (T-)	design(Structural)----	1	86.52	52.45	50.76	-0.00	-0.00
		2	12.31	-66.42	-12.37	-0.00	0.00
ELS.Wz (T+)	design(Structural)----	1	55.99	-114.49	32.32	-0.00	0.00
		2	55.48	114.47	31.92	-0.00	0.00
ELS.Wz (T-)	design(Structural)----	1	51.31	63.00	27.35	-0.00	0.00
		2	51.14	-62.99	27.63	-0.00	0.00
ELS.Wzz (T+)	design(Structural)----	1	52.12	-115.15	16.00	-0.00	-0.00
		2	51.50	115.13	15.67	-0.00	0.00
ELS.Wzz (T-)	design(Structural)----	1	47.44	62.34	11.04	-0.00	-0.00
		2	47.16	-62.33	11.39	-0.00	0.00
ELS.Wxp (T+)	design(Structural)----	1	47.38	-115.00	15.94	-0.00	-0.00
		2	46.82	114.98	15.59	-0.00	0.00
ELS.Wxp (T-)	design(Structural)----	1	42.69	62.49	10.97	-0.00	-0.00
		2	42.48	-62.48	11.31	-0.00	0.00
ELS.Temp+ Wxxp	design(Structural)----	1	60.26	-190.97	30.93	-0.00	-0.00
		2	59.54	190.95	30.26	-0.00	0.00
ELS.Temp- Wxxp	design(Structural)----	1	52.46	104.84	22.65	-0.00	-0.00
		2	52.31	-104.83	23.12	-0.00	0.00
ELS.Temp+ Wy	design(Structural)----	1	33.97	-184.60	7.06	-0.00	-0.00
		2	77.64	192.96	44.47	-0.00	0.00
ELS.Temp- Wy	design(Structural)----	1	26.16	111.21	-1.22	-0.00	-0.00
		2	70.41	-102.81	37.33	-0.00	0.00
ELS.Temp+ Wyy	design(Structural)----	1	78.40	-197.21	45.16	-0.00	-0.00
		2	33.30	188.79	6.43	-0.00	0.00
ELS.Temp- Wyy	design(Structural)----	1	70.60	98.61	36.88	-0.00	-0.00
		2	26.07	-106.98	-0.70	-0.00	0.00
ELS.Temp+ Wz	design(Structural)----	1	57.28	-190.88	31.12	-0.00	-0.00
		2	56.59	190.85	30.43	-0.00	0.00
ELS.Temp- Wz	design(Structural)----	1	49.47	104.94	22.84	-0.00	-0.00
		2	49.36	-104.93	23.29	-0.00	0.00
ELS.Temp+ Wzz	design(Structural)----	1	54.96	-191.27	21.33	-0.00	-0.00
		2	54.20	191.25	20.69	-0.00	0.00
ELS.Temp- Wzz	design(Structural)----	1	47.15	104.54	13.05	-0.00	-0.00
		2	46.97	-104.53	13.55	-0.00	0.00
ELS.Temp+ Wxp	design(Structural)----	1	52.11	-191.18	21.29	-0.00	-0.00
		2	51.40	191.15	20.64	-0.00	0.00
ELS.Temp- Wxp	design(Structural)----	1	44.30	104.63	13.01	-0.00	-0.00
		2	44.17	-104.62	13.50	-0.00	0.00
CP+0,8SC	design(Structural)----	1	46.43	-0.46	18.89	-0.00	-0.00
		2	46.12	0.46	18.96	-0.00	0.00

Backfill loads:

Case Nature Q1
(kN/m2)

1.1.5 Combination list

1/	ULS : ELU.Pass(T+) Wxxp N=218.66 My=-0.55 Fx=-0.03 Fy=103.35
2/	ULS : ELU.Pass(T-) Wxxp N=205.13 My=-0.28 Fx=0.01 Fy=89.48
3/	ULS : ELU.Pass(T+) Wy N=206.37 My=34.41 Fx=12.55 Fy=88.86
4/	ULS : ELU.Pass(T-) Wy N=192.84 My=34.69 Fx=12.59 Fy=74.99
5/	ULS : ELU.Pass(T+) Wyy N=206.51 My=-35.50 Fx=-12.61 Fy=88.96
6/	ULS : ELU.Pass(T-) Wyy N=192.98 My=-35.23 Fx=-12.57 Fy=75.09
7/	ULS : ELU.Pass(T+) Wz N=209.76 My=-0.52 Fx=-0.03 Fy=103.90
8/	ULS : ELU.Pass(T-) Wz N=196.23 My=-0.25 Fx=0.01 Fy=90.02
9/	ULS : ELU.Pass(T+) Wzz N=202.70 My=-0.57 Fx=-0.03 Fy=74.59
10/	ULS : ELU.Pass(T-) Wzz N=189.16 My=-0.30 Fx=0.01 Fy=60.72
11/	ULS : ELU.Pass(T+) Wxp N=194.22 My=-0.54 Fx=-0.03 Fy=74.46
12/	ULS : ELU.Pass(T-) Wxp N=180.68 My=-0.27 Fx=0.01 Fy=60.59
13/	ULS : ELU.Mat(T+) Wxxp N=167.56 My=-0.44 Fx=-0.03 Fy=82.30
14/	ULS : ELU.Mat(T-) Wxxp N=154.02 My=-0.17 Fx=0.01 Fy=68.43
15/	ULS : ELU.Mat(T+) Wy N=155.27 My=34.52 Fx=12.55 Fy=67.81
16/	ULS : ELU.Mat(T-) Wy N=141.73 My=34.79 Fx=12.59 Fy=53.94
17/	ULS : ELU.Mat(T+) Wyy N=155.41 My=-35.39 Fx=-12.61 Fy=67.91
18/	ULS : ELU.Mat(T-) Wyy N=141.87 My=-35.12 Fx=-12.57 Fy=54.03
19/	ULS : ELU.Mat(T+) Wz N=158.66 My=-0.41 Fx=-0.03 Fy=82.85
20/	ULS : ELU.Mat(T-) Wz N=145.12 My=-0.14 Fx=0.01 Fy=68.97
21/	ULS : ELU.Mat(T+) Wzz N=151.59 My=-0.46 Fx=-0.03 Fy=53.54
22/	ULS : ELU.Mat(T-) Wzz N=138.06 My=-0.19 Fx=0.01 Fy=39.66
23/	ULS : ELU.Mat(T+) Wxp N=143.11 My=-0.43 Fx=-0.03 Fy=53.41
24/	ULS : ELU.Mat(T-) Wxp N=129.58 My=-0.16 Fx=0.01 Fy=39.53
25/	ULS : ELU.Wxxp (T+) N=170.31 My=-0.44 Fx=-0.03 Fy=90.39
26/	ULS : ELU.Wxxp (T-) N=156.78 My=-0.16 Fx=0.01 Fy=76.52
27/	ULS : ELU.Wy (T+) N=149.83 My=57.84 Fx=20.94 Fy=66.24
28/	ULS : ELU.Wy (T-) N=136.29 My=58.11 Fx=20.98 Fy=52.36
29/	ULS : ELU.Wyy (T+) N=150.06 My=-58.69 Fx=-20.99 Fy=66.40
30/	ULS : ELU.Wyy (T-) N=136.52 My=-58.42 Fx=-20.96 Fy=52.52
31/	ULS : ELU.Wz (T+) N=155.48 My=-0.38 Fx=-0.03 Fy=91.29
32/	ULS : ELU.Wz (T-) N=141.95 My=-0.11 Fx=0.01 Fy=77.42
33/	ULS : ELU.Wzz (T+) N=143.70 My=-0.47 Fx=-0.03 Fy=42.45
34/	ULS : ELU.Wzz (T-) N=130.17 My=-0.20 Fx=0.01 Fy=28.58
35/	ULS : ELU.Wxp (T+) N=129.57 My=-0.42 Fx=-0.03 Fy=42.23
36/	ULS : ELU.Wxp (T-) N=116.03 My=-0.15 Fx=0.01 Fy=28.36
37/	ULS : ELU.Temp+ Wxxp N=167.98 My=-0.55 Fx=-0.04 Fy=86.72
38/	ULS : ELU.Temp- Wxxp N=145.42 My=-0.10 Fx=0.02 Fy=63.60
39/	ULS : ELU.Temp+ Wy N=155.69 My=34.41 Fx=12.54 Fy=72.23
40/	ULS : ELU.Temp- Wy N=133.13 My=34.87 Fx=12.60 Fy=49.10
41/	ULS : ELU.Temp+ Wyy N=155.83 My=-35.50 Fx=-12.62 Fy=72.33
42/	ULS : ELU.Temp- Wyy N=133.27 My=-35.05 Fx=-12.56 Fy=49.20
43/	ULS : ELU.Temp+ Wz N=159.08 My=-0.52 Fx=-0.04 Fy=87.26
44/	ULS : ELU.Temp- Wz N=136.52 My=-0.06 Fx=0.02 Fy=64.14
45/	ULS : ELU.Temp+ Wzz N=152.01 My=-0.57 Fx=-0.04 Fy=57.96
46/	ULS : ELU.Temp- Wzz N=129.46 My=-0.12 Fx=0.02 Fy=34.83
47/	ULS : ELU.Temp+ Wxp N=143.53 My=-0.54 Fx=-0.04 Fy=57.83
48/	ULS : ELU.Temp- Wxp N=120.98 My=-0.08 Fx=0.02 Fy=34.70
49/	ULS : CP+0,8SC N=92.55 My=-0.16 Fx=-0.00 Fy=37.86
50/	SLS : ELS.Pass(T+) Wxxp N=153.59 My=-0.38 Fx=-0.02 Fy=72.28
51/	SLS : ELS.Pass(T-) Wxxp N=144.57 My=-0.20 Fx=0.01 Fy=63.03
52/	SLS : ELS.Pass(T+) Wy N=145.40 My=22.93 Fx=8.37 Fy=62.62
53/	SLS : ELS.Pass(T-) Wy N=136.37 My=23.11 Fx=8.39 Fy=53.37
54/	SLS : ELS.Pass(T+) Wyy N=145.49 My=-23.68 Fx=-8.40 Fy=62.68
55/	SLS : ELS.Pass(T-) Wyy N=136.47 My=-23.50 Fx=-8.38 Fy=53.43
56/	SLS : ELS.Pass(T+) Wz N=147.66 My=-0.36 Fx=-0.02 Fy=72.64
57/	SLS : ELS.Pass(T-) Wz N=138.63 My=-0.18 Fx=0.01 Fy=63.39
58/	SLS : ELS.Pass(T+) Wzz N=142.95 My=-0.40 Fx=-0.02 Fy=53.10
59/	SLS : ELS.Pass(T-) Wzz N=133.92 My=-0.21 Fx=0.01 Fy=43.85
60/	SLS : ELS.Pass(T+) Wxp N=137.29 My=-0.37 Fx=-0.02 Fy=53.01
61/	SLS : ELS.Pass(T-) Wxp N=128.27 My=-0.19 Fx=0.01 Fy=43.77
62/	SLS : ELS.Mat(T+) Wxxp N=119.52 My=-0.31 Fx=-0.02 Fy=58.24
63/	SLS : ELS.Mat(T-) Wxxp N=110.50 My=-0.13 Fx=0.01 Fy=48.99
64/	SLS : ELS.Mat(T+) Wy N=111.33 My=23.00 Fx=8.37 Fy=48.58
65/	SLS : ELS.Mat(T-) Wy N=102.30 My=23.18 Fx=8.39 Fy=39.33
66/	SLS : ELS.Mat(T+) Wyy N=111.42 My=-23.61 Fx=-8.40 Fy=48.65
67/	SLS : ELS.Mat(T-) Wyy N=102.40 My=-23.43 Fx=-8.38 Fy=39.40
68/	SLS : ELS.Mat(T+) Wz N=113.59 My=-0.29 Fx=-0.02 Fy=58.60
69/	SLS : ELS.Mat(T-) Wz N=104.57 My=-0.11 Fx=0.01 Fy=49.35

Dimensionamento de uma estrutura metálica de suporte de uma Tela Transportadora de
Biomassa

70/	SLS : ELS.Mat(T+) Wzz N=108.88 My=-0.32 Fx=-0.02 Fy=39.07
71/	SLS : ELS.Mat(T-) Wzz N=99.85 My=-0.14 Fx=0.01 Fy=29.82
72/	SLS : ELS.Mat(T+) Wxp N=103.22 My=-0.30 Fx=-0.02 Fy=38.98
73/	SLS : ELS.Mat(T-) Wxp N=94.20 My=-0.12 Fx=0.01 Fy=29.73
74/	SLS : ELS.Wxxp (T+) N=121.36 My=-0.30 Fx=-0.02 Fy=63.63
75/	SLS : ELS.Wxxp (T-) N=112.33 My=-0.12 Fx=0.01 Fy=54.38
76/	SLS : ELS.Wy (T+) N=107.70 My=38.54 Fx=13.96 Fy=47.53
77/	SLS : ELS.Wy (T-) N=98.68 My=38.73 Fx=13.99 Fy=38.28
78/	SLS : ELS.Wyy (T+) N=107.86 My=-39.14 Fx=-14.00 Fy=47.64
79/	SLS : ELS.Wyy (T-) N=98.83 My=-38.96 Fx=-13.97 Fy=38.39
80/	SLS : ELS.Wz (T+) N=111.47 My=-0.27 Fx=-0.02 Fy=64.24
81/	SLS : ELS.Wz (T-) N=102.45 My=-0.09 Fx=0.01 Fy=54.99
82/	SLS : ELS.Wzz (T+) N=103.62 My=-0.33 Fx=-0.02 Fy=31.67
83/	SLS : ELS.Wzz (T-) N=94.60 My=-0.15 Fx=0.01 Fy=22.42
84/	SLS : ELS.Wxp (T+) N=94.20 My=-0.29 Fx=-0.02 Fy=31.53
85/	SLS : ELS.Wxp (T-) N=85.17 My=-0.11 Fx=0.01 Fy=22.28
86/	SLS : ELS.Temp+ Wxxp N=119.80 My=-0.38 Fx=-0.03 Fy=61.19
87/	SLS : ELS.Temp- Wxxp N=104.76 My=-0.08 Fx=0.01 Fy=45.77
88/	SLS : ELS.Temp+ Wy N=111.61 My=22.93 Fx=8.36 Fy=51.53
89/	SLS : ELS.Temp- Wy N=96.57 My=23.23 Fx=8.40 Fy=36.11
90/	SLS : ELS.Temp+ Wyy N=111.70 My=-23.68 Fx=-8.42 Fy=51.59
91/	SLS : ELS.Temp- Wyy N=96.66 My=-23.38 Fx=-8.37 Fy=36.17
92/	SLS : ELS.Temp+ Wz N=113.87 My=-0.36 Fx=-0.03 Fy=61.55
93/	SLS : ELS.Temp- Wz N=98.83 My=-0.06 Fx=0.01 Fy=46.13
94/	SLS : ELS.Temp+ Wzz N=109.16 My=-0.40 Fx=-0.03 Fy=42.01
95/	SLS : ELS.Temp- Wzz N=94.12 My=-0.09 Fx=0.01 Fy=26.59
96/	SLS : ELS.Temp+ Wxp N=103.51 My=-0.37 Fx=-0.03 Fy=41.93
97/	SLS : ELS.Temp- Wxp N=88.47 My=-0.07 Fx=0.01 Fy=26.51
98/*	ULS : ELU.Pass(T+) Wxxp N=218.66 My=-0.55 Fx=-0.03 Fy=103.35
99/*	ULS : ELU.Pass(T-) Wxxp N=205.13 My=-0.28 Fx=0.01 Fy=89.48
100/*	ULS : ELU.Pass(T+) Wy N=206.37 My=34.41 Fx=12.55 Fy=88.86
101/*	ULS : ELU.Pass(T-) Wy N=192.84 My=34.69 Fx=12.59 Fy=74.99
102/*	ULS : ELU.Pass(T+) Wyy N=206.51 My=-35.50 Fx=-12.61 Fy=88.96
103/*	ULS : ELU.Pass(T-) Wyy N=192.98 My=-35.23 Fx=-12.57 Fy=75.09
104/*	ULS : ELU.Pass(T+) Wz N=209.76 My=-0.52 Fx=-0.03 Fy=103.90
105/*	ULS : ELU.Pass(T-) Wz N=196.23 My=-0.25 Fx=0.01 Fy=90.02
106/*	ULS : ELU.Pass(T+) Wzz N=202.70 My=-0.57 Fx=-0.03 Fy=74.59
107/*	ULS : ELU.Pass(T-) Wzz N=189.16 My=-0.30 Fx=0.01 Fy=60.72
108/*	ULS : ELU.Pass(T+) Wxp N=194.22 My=-0.54 Fx=-0.03 Fy=74.46
109/*	ULS : ELU.Pass(T-) Wxp N=180.68 My=-0.27 Fx=0.01 Fy=60.59
110/*	ULS : ELU.Mat(T+) Wxxp N=167.56 My=-0.44 Fx=-0.03 Fy=82.30
111/*	ULS : ELU.Mat(T-) Wxxp N=154.02 My=-0.17 Fx=0.01 Fy=54.43
112/*	ULS : ELU.Mat(T+) Wy N=155.27 My=34.52 Fx=12.55 Fy=67.81
113/*	ULS : ELU.Mat(T-) Wy N=141.73 My=34.79 Fx=12.59 Fy=53.94
114/*	ULS : ELU.Mat(T+) Wyy N=155.41 My=-35.39 Fx=-12.61 Fy=67.91
115/*	ULS : ELU.Mat(T-) Wyy N=141.87 My=-35.12 Fx=-12.57 Fy=54.03
116/*	ULS : ELU.Mat(T+) Wz N=158.66 My=-0.41 Fx=-0.03 Fy=82.85
117/*	ULS : ELU.Mat(T-) Wz N=145.12 My=-0.14 Fx=0.01 Fy=68.97
118/*	ULS : ELU.Mat(T+) Wzz N=151.59 My=-0.46 Fx=-0.03 Fy=53.54
119/*	ULS : ELU.Mat(T-) Wzz N=138.06 My=-0.19 Fx=0.01 Fy=39.66
120/*	ULS : ELU.Mat(T+) Wxp N=143.11 My=-0.43 Fx=-0.03 Fy=53.41
121/*	ULS : ELU.Mat(T-) Wxp N=129.58 My=-0.16 Fx=0.01 Fy=39.53
122/*	ULS : ELU.Wxxp (T+) N=170.31 My=-0.44 Fx=-0.03 Fy=90.39
123/*	ULS : ELU.Wxxp (T-) N=156.78 My=-0.16 Fx=0.01 Fy=76.52
124/*	ULS : ELU.Wy (T+) N=149.83 My=57.84 Fx=20.94 Fy=66.24
125/*	ULS : ELU.Wy (T-) N=136.29 My=58.11 Fx=20.98 Fy=52.36
126/*	ULS : ELU.Wyy (T+) N=150.06 My=-58.69 Fx=-20.99 Fy=66.40
127/*	ULS : ELU.Wyy (T-) N=136.52 My=-58.42 Fx=-20.96 Fy=52.52
128/*	ULS : ELU.Wz (T+) N=155.48 My=-0.38 Fx=-0.03 Fy=91.29
129/*	ULS : ELU.Wz (T-) N=141.95 My=-0.11 Fx=0.01 Fy=77.42
130/*	ULS : ELU.Wzz (T+) N=143.70 My=-0.47 Fx=-0.03 Fy=42.45
131/*	ULS : ELU.Wzz (T-) N=130.17 My=-0.20 Fx=0.01 Fy=28.58
132/*	ULS : ELU.Wxp (T+) N=129.57 My=-0.42 Fx=-0.03 Fy=42.23
133/*	ULS : ELU.Wxp (T-) N=116.03 My=-0.15 Fx=0.01 Fy=28.36
134/*	ULS : ELU.Temp+ Wxxp N=167.98 My=-0.55 Fx=-0.04 Fy=86.72
135/*	ULS : ELU.Temp- Wxxp N=145.42 My=-0.10 Fx=0.02 Fy=63.60
136/*	ULS : ELU.Temp+ Wy N=155.69 My=34.41 Fx=12.54 Fy=72.23
137/*	ULS : ELU.Temp- Wy N=133.13 My=34.87 Fx=12.60 Fy=49.10
138/*	ULS : ELU.Temp+ Wyy N=155.83 My=-35.50 Fx=-12.62 Fy=72.33
139/*	ULS : ELU.Temp- Wyy N=133.27 My=-35.05 Fx=-12.56 Fy=49.20
140/*	ULS : ELU.Temp+ Wz N=159.08 My=-0.52 Fx=-0.04 Fy=87.26
141/*	ULS : ELU.Temp- Wz N=136.52 My=-0.06 Fx=0.02 Fy=64.14
142/*	ULS : ELU.Temp+ Wzz N=152.01 My=-0.57 Fx=-0.04 Fy=57.96

143/*	ULS : ELU.Temp- Wzz N=129.46 My=-0.12 Fx=0.02 Fy=34.83
144/*	ULS : ELU.Temp+ Wxp N=143.53 My=-0.54 Fx=-0.04 Fy=57.83
145/*	ULS : ELU.Temp- Wxp N=120.98 My=-0.08 Fx=0.02 Fy=34.70
146/*	ULS : CP+0,8SC N=92.55 My=-0.16 Fx=-0.00 Fy=37.86
147/*	SLS : ELS.Pass(T+) Wxyp N=153.59 My=-0.38 Fx=-0.02 Fy=72.28
148/*	SLS : ELS.Pass(T-) Wxyp N=144.57 My=-0.20 Fx=0.01 Fy=63.03
149/*	SLS : ELS.Pass(T+) Wy N=145.40 My=22.93 Fx=8.37 Fy=62.62
150/*	SLS : ELS.Pass(T-) Wy N=136.37 My=23.11 Fx=8.39 Fy=53.37
151/*	SLS : ELS.Pass(T+) Wyy N=145.49 My=-23.68 Fx=-8.40 Fy=62.68
152/*	SLS : ELS.Pass(T-) Wyy N=136.47 My=-23.50 Fx=-8.38 Fy=53.43
153/*	SLS : ELS.Pass(T+) Wz N=147.66 My=-0.36 Fx=-0.02 Fy=72.64
154/*	SLS : ELS.Pass(T-) Wz N=138.63 My=-0.18 Fx=0.01 Fy=63.39
155/*	SLS : ELS.Pass(T+) Wzz N=142.95 My=-0.40 Fx=-0.02 Fy=53.10
156/*	SLS : ELS.Pass(T-) Wzz N=133.92 My=-0.21 Fx=0.01 Fy=43.85
157/*	SLS : ELS.Pass(T+) Wxp N=137.29 My=-0.37 Fx=-0.02 Fy=53.01
158/*	SLS : ELS.Pass(T-) Wxp N=128.27 My=-0.19 Fx=0.01 Fy=43.77
159/*	SLS : ELS.Mat(T+) Wxyp N=119.52 My=-0.31 Fx=-0.02 Fy=58.24
160/*	SLS : ELS.Mat(T-) Wxyp N=110.50 My=-0.13 Fx=0.01 Fy=48.99
161/*	SLS : ELS.Mat(T+) Wy N=111.33 My=23.00 Fx=8.37 Fy=48.58
162/*	SLS : ELS.Mat(T-) Wy N=102.30 My=23.18 Fx=8.39 Fy=39.33
163/*	SLS : ELS.Mat(T+) Wyy N=111.42 My=-23.61 Fx=-8.40 Fy=48.65
164/*	SLS : ELS.Mat(T-) Wyy N=102.40 My=-23.43 Fx=-8.38 Fy=39.40
165/*	SLS : ELS.Mat(T+) Wz N=113.59 My=-0.29 Fx=-0.02 Fy=58.60
166/*	SLS : ELS.Mat(T-) Wz N=104.57 My=-0.11 Fx=0.01 Fy=49.35
167/*	SLS : ELS.Mat(T+) Wzz N=108.88 My=-0.32 Fx=-0.02 Fy=39.07
168/*	SLS : ELS.Mat(T-) Wzz N=99.85 My=-0.14 Fx=0.01 Fy=29.82
169/*	SLS : ELS.Mat(T+) Wxp N=103.22 My=-0.30 Fx=-0.02 Fy=38.98
170/*	SLS : ELS.Mat(T-) Wxp N=94.20 My=-0.12 Fx=0.01 Fy=29.73
171/*	SLS : ELS.Wxyp (T+) N=121.36 My=-0.30 Fx=-0.02 Fy=63.63
172/*	SLS : ELS.Wxyp (T-) N=112.33 My=-0.12 Fx=0.01 Fy=54.38
173/*	SLS : ELS.Wy (T+) N=107.70 My=38.54 Fx=13.96 Fy=47.53
174/*	SLS : ELS.Wy (T-) N=98.68 My=38.73 Fx=13.99 Fy=38.28
175/*	SLS : ELS.Wyy (T+) N=107.86 My=-39.14 Fx=-14.00 Fy=47.64
176/*	SLS : ELS.Wyy (T-) N=98.83 My=-38.96 Fx=-13.97 Fy=38.39
177/*	SLS : ELS.Wz (T+) N=111.47 My=-0.27 Fx=-0.02 Fy=64.24
178/*	SLS : ELS.Wz (T-) N=102.45 My=-0.09 Fx=0.01 Fy=54.99
179/*	SLS : ELS.Wzz (T+) N=103.62 My=-0.33 Fx=-0.02 Fy=31.67
180/*	SLS : ELS.Wzz (T-) N=94.60 My=-0.15 Fx=0.01 Fy=22.42
181/*	SLS : ELS.Wxp (T+) N=94.20 My=-0.29 Fx=-0.02 Fy=31.53
182/*	SLS : ELS.Wxp (T-) N=85.17 My=-0.11 Fx=0.01 Fy=22.28
183/*	SLS : ELS.Temp+ Wxyp N=119.80 My=-0.38 Fx=-0.03 Fy=61.19
184/*	SLS : ELS.Temp- Wxyp N=104.76 My=-0.08 Fx=0.01 Fy=45.77
185/*	SLS : ELS.Temp+ Wy N=111.61 My=22.93 Fx=8.36 Fy=51.53
186/*	SLS : ELS.Temp- Wy N=96.57 My=23.23 Fx=8.40 Fy=36.11
187/*	SLS : ELS.Temp+ Wyy N=111.70 My=-23.68 Fx=-8.42 Fy=51.59
188/*	SLS : ELS.Temp- Wyy N=96.66 My=-23.38 Fx=-8.37 Fy=36.17
189/*	SLS : ELS.Temp+ Wz N=113.87 My=-0.36 Fx=-0.03 Fy=61.55
190/*	SLS : ELS.Temp- Wz N=98.83 My=-0.06 Fx=0.01 Fy=46.13
191/*	SLS : ELS.Temp+ Wzz N=109.16 My=-0.40 Fx=-0.03 Fy=42.01
192/*	SLS : ELS.Temp- Wzz N=94.12 My=-0.09 Fx=0.01 Fy=26.59
193/*	SLS : ELS.Temp+ Wxp N=103.51 My=-0.37 Fx=-0.03 Fy=41.93
194/*	SLS : ELS.Temp- Wxp N=88.47 My=-0.07 Fx=0.01 Fy=26.51

1.2 Geotechnical design

1.2.1 Assumptions

- Cohesion reduction coefficient: 0.00
- Smooth precast foundation 6.5.3(10)
- Sliding with soil pressure considered: for X and Y directions
- Design approach: 1
A1 + M1 + R1
- $\gamma_{\phi'}$ = 1.00
- $\gamma_{c'}$ = 1.00
- γ_{cu} = 1.00
- γ_{qu} = 1.00

$\gamma\gamma = 1.00$
 $\gamma_{R,v} = 1.00$
 $\gamma_{R,h} = 1.00$
A2 + M2 + R1
 $\gamma_{\phi'} = 1.25$
 $\gamma_{c'} = 1.25$
 $\gamma_{cu} = 1.40$
 $\gamma_{qu} = 1.40$
 $\gamma\gamma = 1.00$
 $\gamma_{R,v} = 1.00$
 $\gamma_{R,h} = 1.00$

1.2.2 Soil:

Soil level:	N_1	= 0.00 (m)
Column pier level:	N_a	= 0.50 (m)
Minimum reference level:	N_f	= -0.50 (m)

1. Lodos argilosos

- Soil level: 0.00 (m)
- Thickness: 1.50 (m)
- Unit weight: 2520.00 (kG/m³)
- Unit weight of solid: 2712.45 (kG/m³)
- Internal friction angle: 16.0 (Deg)
- Cohesion: 0.02 (MPa)

2. Argilas arenosas

- Soil level: -1.50 (m)
- Thickness: 2.00 (m)
- Unit weight: 2192.39 (kG/m³)
- Unit weight of solid: 2722.64 (kG/m³)
- Internal friction angle: 20.0 (Deg)
- Cohesion: 0.04 (MPa)

3. Areia argilosa

- Soil level: -3.50 (m)
- Thickness: 1.00 (m)
- Unit weight: 1886.47 (kG/m³)
- Unit weight of solid: 2702.25 (kG/m³)
- Internal friction angle: 32.0 (Deg)
- Cohesion: 0.00 (MPa)

1.2.3 Limit states

Stress calculations

Soil type under foundation: Layered

Design combination

ULS : ELU.Pass(T+) Wz N=209.76 My=-0.52 Fx=-0.03 Fy=103.90

Load factors: **1.35** * Foundation weight

1.35 * Soil weight

Calculation results: On the foundation level

Weight of foundation and soil over it: $G_r = 367.88$ (kN)
 Design load:
 $N_r = 577.64$ (kN) $M_x = -117.14$ (kN*m) $M_y = -0.58$ (kN*m)

Allowable stress calculation method: Analytical

Load eccentricity:
 $|e_B| = 0.20$ (m) $|e_L| = 0.00$ (m)
 Equivalent foundation dimensions:
 $B' = B - 2|e_B| = 1.29$ (m)
 $L' = L - 2|e_L| = 3.50$ (m)
 Foundation depth: $D_{min} = 1.80$ (m)

Coefficients of load capacity:
 $N_\gamma = 3.93$
 $N_c = 14.83$
 $N_q = 6.40$

Inclination factors:
 $i_\gamma = 0.76$
 $i_c = 0.82$
 $i_q = 0.85$

Shape coefficient:
 $s_\gamma = 0.89$
 $s_c = 1.15$
 $s_q = 1.13$

Factors of foundation base inclination:
 $b_\gamma = 1.00$
 $b_c = 1.00$
 $b_q = 1.00$

Soil profile parameters:
 $C = 0.04$ (MPa)
 $\phi = 20.0$ (Deg)
 $\gamma = 2465.40$ (kG/m³)

$q_u = 0.79$ (MPa)
 Design soil pressure:
 $q_{lim} = q_u / \gamma_{R,v} = 0.79$ (MPa)
 $\gamma_{R,v} = 1.00$

Stress in soil: $q_{ref} = 0.17$ (MPa)
 Safety factor: $q_{lim} / q_{ref} = 4.768 > 1$

Uplift

Uplift in ULS
 Design combination
ULS : ELU.Wz (T+) N=155.48 My=-0.38 Fx=-0.03 Fy=91.29
 Load factors: **1.00** * Foundation weight
 1.00 * Soil weight
 Contact area: $s = 0.16$
 $s_{lim} = 0.17$

Sliding

Design combination
ULS : ELU.Pass(T+) Wz N=209.76 My=-0.52 Fx=-0.03 Fy=103.90
 Load factors: **1.00** * Foundation weight

1.00 * Soil weight
Weight of foundation and soil over it: Gr = 272.50 (kN)
Design load:
Nr = 482.27 (kN) Mx = -118.81 (kN*m) My = -0.58 (kN*m)
Equivalent foundation dimensions: A_u = 3.50 (m) B_u = 1.70 (m)
Sliding area: 5.95 (m²)
Foundation/soil friction coefficient: tan(δ_d) = 0.24
Cohesion: c_u = 0.04 (MPa)
Soil pressure considered:
Hx = -0.03 (kN) Hy = 103.90 (kN)
Ppx = 72.60 (kN) Ppy = -90.75 (kN)
Pax = -4.41 (kN) Pay = 25.72 (kN)
Sliding force value Hd = 38.87 (kN)
Value of force preventing foundation sliding:
- On the foundation level: Rd = 114.30 (kN)
Stability for sliding: 2.94 > 1

Average settlement

Soil type under foundation: not layered
Design combination
SLS : ELS.Pass(T+) Wxxp N=153.59 My=-0.38 Fx=-0.02 Fy=72.28
Load factors: **1.00 * Foundation weight**
1.00 * Soil weight
Weight of foundation and soil over it: Gr = 272.50 (kN)
Average stress caused by design load: q = 0.07 (MPa)
Thickness of the actively settling soil: z = 1.70 (m)
Stress on the level z:
- Additional: σ_{zd} = 0.01 (MPa)
- Caused by soil weight: σ_{zγ} = 0.08 (MPa)
Settlement:
- Original s' = 0.0 (cm)
- Secondary s'' = 0.0 (cm)
- TOTAL S = 0.0 (cm) < S_{adm} = 5.0 (cm)
Safety factor: 111 > 1

Settlement difference

Design combination
SLS : ELS.Wyy (T+) N=107.86 My=-39.14 Fx=-14.00 Fy=47.64
Load factors: **1.00 * Foundation weight**
1.00 * Soil weight
Settlement difference: S = 0.1 (cm) < S_{adm} = 5.0 (cm)
Safety factor: 49.87 > 1

Rotation

About OX axis
Design combination
ULS : ELU.Wz (T+) N=155.48 My=-0.38 Fx=-0.03 Fy=91.29
Load factors: **1.00 * Foundation weight**
1.00 * Soil weight
Weight of foundation and soil over it: Gr = 272.50 (kN)
Design load:
Nr = 427.98 (kN) Mx = -119.68 (kN*m) My = -0.44 (kN*m)
Stability moment: M_{stab} = 439.51 (kN*m)
Rotation moment: M_{renv} = 209.98 (kN*m)

Stability for rotation: 2.093 > 1

About OY axis

Design combination:

ULS : ELU.Wyy (T-) N=136.52 My=-58.42 Fx=-20.96 Fy=52.52

Load factors: 1.00 * Foundation weight

1.00 * Soil weight

Weight of foundation and soil over it: Gr = 272.50 (kN)

Design load:

Nr = 409.03 (kN) Mx = -40.93 (kN*m) My = -106.62 (kN*m)

Stability moment: M_{stab} = 715.80 (kN*m)

Rotation moment: M_{renv} = 106.62 (kN*m)

Stability for rotation: 6.714 > 1

1.3 RC design

1.3.1 Assumptions

- Exposure : XC4
- Structure class : S2

1.3.2 Analysis of punching and shear

Shear

Design combination

ULS : ELU.Wyy (T+) N=150.06 My=-58.69 Fx=-20.99 Fy=66.40

Load factors: 1.35 * Foundation weight

1.35 * Soil weight

Design load:

Nr = 517.94 (kN) Mx = -63.73 (kN*m) My = -106.98 (kN*m)

Length of critical circumference: 1.70 (m)

Shear force: 41.56 (kN)

Section effective height: h_{eff} = 0.73 (m)

Shear area: A = 1.24 (m²)

Reinforcement ratio: ρ = 0.15 %

Shear stress: 0.03 (MPa)

Admissible shear stress: 0.31 (MPa)

Safety factor: 9.244 > 1

1.3.3 Required reinforcement

Spread footing:

bottom:

ULS : ELU.Temp- Wy N=133.13 My=34.87 Fx=12.60 Fy=49.10

My = 418.48 (kN*m) A_{sx} = 11.01 (cm²/m)

ULS : ELU.Pass(T+) Wz N=209.76 My=-0.52 Fx=-0.03 Fy=103.90

Mx = 184.38 (kN*m) A_{sy} = 11.01 (cm²/m)

A_{s min} = 11.01 (cm²/m)

top:

ULS : ELU.Temp+ Wyy N=155.83 My=-35.50 Fx=-12.62 Fy=72.33
My = -629.36 (kN*m) A'_{sx} = 11.51 (cm²/m)

ULS : ELU.Wz (T+) N=155.48 My=-0.38 Fx=-0.03 Fy=91.29
Mx = -0.27 (kN*m) A'_{sy} = 11.01 (cm²/m)

A_{s min} = 11.01 (cm²/m)

Column pier: 1

Longitudinal reinforcement A = 38.91 (cm²) A_{min.} = 7.20 (cm²)
A = 2 * (Asx1 + Asy1)
Asx1 = 13.31 (cm²) Asy1 = 6.14 (cm²)

Column pier: 2

Longitudinal reinforcement A = 38.00 (cm²) A_{min.} = 7.20 (cm²)
A = 2 * (Asx2 + Asy2)
Asx2 = 12.94 (cm²) Asy2 = 6.06 (cm²)

1.3.4 Provided reinforcement

Spread footing:

Bottom:

Along X axis:
17 B500A 12 l = 3.38 (m) e = 1*-0.71 + 16*0.09

Along Y axis:
35 B500A 12 l = 1.58 (m) e = 1*-1.52 + 34*0.09

Top:

Along X axis:
10 B500A 16 l = 3.38 (m) e = 1*-0.71 + 9*0.16

Along Y axis:
35 B500A 12 l = 1.58 (m) e = 1*-1.52 + 34*0.09

Pier

Column pier: 1

Longitudinal reinforcement

Along X axis:
14 B500A 10 l = 2.23 (m) e = 1*-0.69 + 6*0.06

Along Y axis:
36 B500A 10 l = 2.23 (m) e = 1*-0.78 + 17*0.03

Transversal reinforcement

10 B500A 10 l = 2.02 (m) e = 1*0.88 + 9*0.15

Column pier: 2

Longitudinal reinforcement

Along X axis:
14 B500A 10 l = 2.23 (m) e = 1*0.36 + 6*0.06

Along Y axis:
36 B500A 10 l = 2.23 (m) e = 1*-0.78 + 17*0.03

Transversal reinforcement

10 B500A 10 l = 2.02 (m) e = 1*0.88 + 9*0.15

2 Material survey:

- Concrete volume = 5.84 (m³)
- Formwork = 15.52 (m²)
- Steel B500A
 - Total weight = 364.85 (kG)
 - Density = 62.47 (kG/m³)
 - Average diameter = 11.2 (mm)
 - Survey according to diameters:

Diameter	Length (m)	Number:
10	2.0220	
10	2.23100	
12	1.5870	
12	3.3817	
16	3.3810	

→ **Sapata S2**

1 Spread footing: Foundation387-388

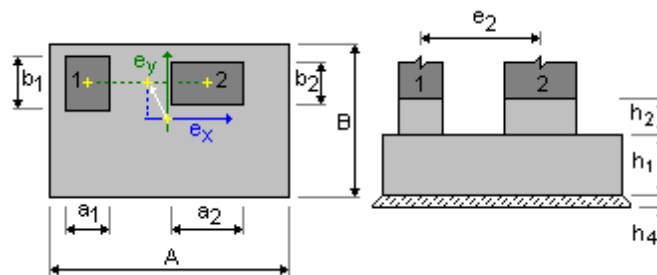
Number: 1

1.1 Basic data

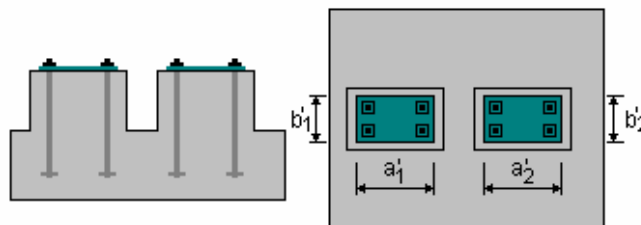
1.1.1 Assumptions

- Geotechnic calculations according to : EN 1997-1:2008
- Concrete calculations according to : EN 1992-1-1:2004 AC:2008
- Shape selection : without limits

1.1.2 Geometry:



A	= 8.00 (m)	a1	= 0.60 (m)	a2	= 0.60 (m)
B	= 2.30 (m)	b1	= 0.60 (m)	b2	= 0.60 (m)
h1	= 0.80 (m)	e2	= 6.00 (m)		
h2	= 1.50 (m)	ex	= 0.00 (m)	ey	= 0.00 (m)
h4	= 0.05 (m)				



a'1	= 45.0 (cm)	a'2	= 45.0 (cm)
b'1	= 45.0 (cm)	b'2	= 45.0 (cm)

c_{nom1} = 6.0 (cm)
 c_{nom2} = 6.0 (cm)
 Cover deviations: C_{dev} = 1.0(cm), C_{dur} = 0.0(cm)

1.1.3 Materials

- Concrete : C30/37; Characteristic strength = 30.00 MPa
Unit weight = 2501.36 (kG/m³)
Rectangular stress distribution [3.1.7(3)]
- Longitudinal reinforcement : type B500A
Characteristic strength = 500.00 MPa
Ductility class: A
Horizontal branch of the stress-strain diagram
- Transversal reinforcement : type B500A

- Additional reinforcement: = 500.00 MPa
- Characteristic strength = 500.00 MPa
: type B500A Characteristic strength

1.1.4 Loads:

		Foundation loads:						
Case	Nature	Group	Pier	N (kN)	Fx (kN)	Fy (kN)	Mx (kN*m)	My (kN*m)
ELU.Pass(T+) Wxxpdesign(Structural)		----	1	173.76	-23.25	7.00	-0.00	-0.00
			2	174.48	23.33	7.00	-0.00	-0.00
ELU.Pass(T-) Wxxpdesign(Structural)		----	1	182.31	-23.92	7.01	-0.00	0.00
			2	182.64	23.90	7.01	-0.00	0.00
ELU.Pass(T+) Wy design(Structural)		----	1	53.58	-1.98	-0.02	-0.00	-0.00
			2	307.46	45.21	-0.02	-0.00	-0.00
ELU.Pass(T-) Wy design(Structural)		----	1	62.13	-2.65	-0.01	-0.00	0.00
			2	315.61	45.78	-0.01	-0.00	0.00
ELU.Pass(T+) Wyy design(Structural)		----	1	306.63	-45.12	-0.02	-0.00	-0.00
			2	54.20	2.05	-0.02	-0.00	0.00
ELU.Pass(T-) Wyy design(Structural)		----	1	315.18	-45.79	-0.01	-0.00	0.00
			2	62.36	2.62	-0.01	-0.00	0.00
ELU.Pass(T+) Wz design(Structural)		----	1	167.76	-22.46	-0.01	-0.00	-0.00
			2	168.42	22.54	-0.01	-0.00	-0.00
ELU.Pass(T-) Wz design(Structural)		----	1	176.30	-23.13	-0.01	-0.00	0.00
			2	176.58	23.11	-0.01	-0.00	0.00
ELU.Pass(T+) Wzz design(Structural)		----	1	192.49	-25.71	-0.02	-0.00	-0.00
			2	193.26	25.79	-0.02	-0.00	-0.00
ELU.Pass(T-) Wzz design(Structural)		----	1	201.04	-26.38	-0.01	-0.00	0.00
			2	201.42	26.37	-0.01	-0.00	0.00
ELU.Pass(T+) Wxp design(Structural)		----	1	186.45	-24.92	-7.04	0.00	-0.00
			2	187.17	25.00	-7.04	-0.00	-0.00
ELU.Pass(T-) Wxp design(Structural)		----	1	195.00	-25.58	-7.03	0.00	0.00
			2	195.32	25.57	-7.03	-0.00	0.00
ELU.Mat(T+) Wxxp design(Structural)		----	1	135.94	-18.29	7.01	-0.00	-0.00
			2	136.59	18.37	7.01	-0.00	-0.00
ELU.Mat(T-) Wxxp design(Structural)		----	1	144.49	-18.95	7.01	-0.00	0.00
			2	144.74	18.94	7.01	-0.00	0.00
ELU.Mat(T+) Wy design(Structural)		----	1	15.75	2.98	-0.01	-0.00	-0.00
			2	269.56	40.25	-0.01	-0.00	-0.00
ELU.Mat(T-) Wy design(Structural)		----	1	24.30	2.32	-0.01	-0.00	0.00
			2	277.72	40.82	-0.01	-0.00	0.00
ELU.Mat(T+) Wyy design(Structural)		----	1	268.81	-40.15	-0.01	-0.00	-0.00
			2	16.30	-2.92	-0.01	-0.00	0.00
ELU.Mat(T-) Wyy design(Structural)		----	1	277.36	-40.82	-0.01	-0.00	0.00
			2	24.46	-2.35	-0.01	-0.00	0.00
ELU.Mat(T+) Wz design(Structural)		----	1	129.93	-17.50	-0.01	-0.00	-0.00
			2	130.52	17.57	-0.01	-0.00	-0.00
ELU.Mat(T-) Wz design(Structural)		----	1	138.48	-18.16	-0.01	-0.00	0.00
			2	138.68	18.15	-0.01	-0.00	0.00
ELU.Mat(T+) Wzz design(Structural)		----	1	154.67	-20.74	-0.01	-0.00	-0.00
			2	155.36	20.83	-0.01	-0.00	-0.00
ELU.Mat(T-) Wzz design(Structural)		----	1	163.21	-21.41	-0.01	-0.00	0.00
			2	163.52	21.40	-0.01	-0.00	0.00
ELU.Mat(T+) Wxp design(Structural)		----	1	148.63	-19.95	-7.03	0.00	-0.00
			2	149.27	20.03	-7.03	-0.00	-0.00
ELU.Mat(T-) Wxp design(Structural)		----	1	157.18	-20.62	-7.03	0.00	0.00
			2	157.43	20.60	-7.03	-0.00	0.00
ELU.Wxxp (T+)	design(Structural)	----	1	126.77	-17.08	11.69	-0.00	-0.00
			2	127.40	17.16	11.69	-0.00	-0.00
ELU.Wxxp (T-)	design(Structural)	----	1	135.32	-17.75	11.69	-0.00	0.00
			2	135.56	17.73	11.69	-0.00	0.00
ELU.Wy (T+)	design(Structural)	----	1	-73.54	18.37	-0.01	-0.00	-0.00
			2	349.03	53.63	-0.01	-0.00	-0.00
ELU.Wy (T-)	design(Structural)	----	1	-64.99	17.70	-0.01	-0.00	0.00
			2	357.18	54.20	-0.01	-0.00	0.00
ELU.Wyy (T+)	design(Structural)	----	1	348.22	-53.53	-0.01	-0.00	-0.00
			2	-73.07	-18.31	-0.01	-0.00	0.00
ELU.Wyy (T-)	design(Structural)	----	1	356.77	-54.19	-0.01	-0.00	-0.00
			2	-64.92	-17.74	-0.01	-0.00	0.00
ELU.Wz (T+)	design(Structural)	----	1	116.76	-15.77	-0.01	-0.00	-0.00

Dimensionamento de uma estrutura metálica de suporte de uma Tela Transportadora de
Biomassa

ELU.Wz (T-)	design(Structural)	----	2	117.29	15.84	-0.01	-0.00	-0.00
			1	125.31	-16.43	-0.01	-0.00	0.00
			2	125.45	16.41	-0.01	-0.00	0.00
ELU.Wzz (T+)	design(Structural)	----	1	157.98	-21.18	-0.01	-0.00	-0.00
			2	158.69	21.27	-0.01	-0.00	-0.00
ELU.Wzz (T-)	design(Structural)	----	1	166.53	-21.84	-0.01	-0.00	0.00
			2	166.85	21.84	-0.01	-0.00	0.00
ELU.Wxp (T+)	design(Structural)	----	1	147.92	-19.86	-11.71	0.00	-0.00
			2	148.54	19.94	-11.71	-0.00	-0.00
ELU.Wxp (T-)	design(Structural)	----	1	156.47	-20.52	-11.71	0.00	0.00
			2	156.70	20.51	-11.71	-0.00	0.00
ELU.Temp+ Wxyp	design(Structural)	----	1	127.33	-17.35	7.01	-0.00	-0.00
			2	128.12	17.47	7.01	-0.00	-0.00
ELU.Temp- Wxyp	design(Structural)	----	1	141.58	-18.46	7.01	-0.00	0.00
			2	141.72	18.42	7.01	-0.00	0.00
ELU.Temp+ Wy	design(Structural)	----	1	7.14	3.92	-0.01	-0.00	-0.00
			2	261.10	39.35	-0.01	-0.00	-0.00
ELU.Temp- Wy	design(Structural)	----	1	21.39	2.81	-0.01	-0.00	0.00
			2	274.69	40.31	-0.01	-0.00	0.00
ELU.Temp+ Wyy	design(Structural)	----	1	260.20	-39.22	-0.01	-0.00	-0.00
			2	7.84	-3.81	-0.01	-0.00	0.00
ELU.Temp- Wyy	design(Structural)	----	1	274.44	-40.33	-0.01	-0.00	0.00
			2	21.43	-2.86	-0.01	-0.00	0.00
ELU.Temp+ Wz	design(Structural)	----	1	121.32	-16.56	-0.01	-0.00	-0.00
			2	122.06	16.68	-0.01	-0.00	-0.00
ELU.Temp- Wz	design(Structural)	----	1	135.57	-17.67	-0.01	-0.00	0.00
			2	135.65	17.63	-0.01	-0.00	0.00
ELU.Temp+ Wzz	design(Structural)	----	1	146.06	-19.81	-0.01	-0.00	-0.00
			2	146.90	19.93	-0.01	-0.00	-0.00
ELU.Temp- Wzz	design(Structural)	----	1	160.30	-20.92	-0.01	-0.00	0.00
			2	160.49	20.89	-0.01	-0.00	0.00
ELU.Temp+ Wxp	design(Structural)	----	1	140.02	-19.02	-7.03	0.00	-0.00
			2	140.81	19.14	-7.03	-0.00	-0.00
ELU.Temp- Wxp	design(Structural)	----	1	154.27	-20.13	-7.03	0.00	0.00
			2	154.40	20.09	-7.03	-0.00	0.00
ELS.Pass(T+) Wxyp	design(Structural)	----	1	124.17	-16.61	4.67	-0.00	-0.00
			2	124.67	16.66	4.67	-0.00	-0.00
ELS.Pass(T-) Wxyp	design(Structural)	----	1	129.87	-17.05	4.67	-0.00	0.00
			2	130.11	17.04	4.67	-0.00	0.00
ELS.Pass(T+) Wy	design(Structural)	----	1	44.05	-2.43	-0.01	-0.00	-0.00
			2	213.32	31.25	-0.01	-0.00	-0.00
ELS.Pass(T-) Wy	design(Structural)	----	1	49.74	-2.87	-0.01	-0.00	0.00
			2	218.76	31.63	-0.01	-0.00	0.00
ELS.Pass(T+) Wyy	design(Structural)	----	1	212.75	-31.18	-0.01	-0.00	-0.00
			2	44.48	2.47	-0.01	-0.00	0.00
ELS.Pass(T-) Wyy	design(Structural)	----	1	218.45	-31.63	-0.01	-0.00	0.00
			2	49.92	2.85	-0.01	-0.00	0.00
ELS.Pass(T+) Wz	design(Structural)	----	1	120.16	-16.08	-0.01	-0.00	-0.00
			2	120.63	16.13	-0.01	-0.00	-0.00
ELS.Pass(T-) Wz	design(Structural)	----	1	125.86	-16.52	-0.01	-0.00	0.00
			2	126.06	16.51	-0.01	-0.00	0.00
ELS.Pass(T+) Wzz	design(Structural)	----	1	136.65	-18.25	-0.01	-0.00	-0.00
			2	137.19	18.30	-0.01	-0.00	-0.00
ELS.Pass(T-) Wzz	design(Structural)	----	1	142.35	-18.69	-0.01	-0.00	0.00
			2	142.62	18.68	-0.01	-0.00	0.00
ELS.Pass(T+) Wxp	design(Structural)	----	1	132.63	-17.72	-4.69	0.00	-0.00
			2	133.13	17.77	-4.69	-0.00	-0.00
ELS.Pass(T-) Wxp	design(Structural)	----	1	138.33	-18.16	-4.69	0.00	0.00
			2	138.56	18.15	-4.69	-0.00	0.00
ELS.Mat(T+) Wxyp	design(Structural)	----	1	98.95	-13.29	4.67	-0.00	-0.00
			2	99.40	13.35	4.67	-0.00	-0.00
ELS.Mat(T-) Wxyp	design(Structural)	----	1	104.65	-13.74	4.67	-0.00	0.00
			2	104.84	13.73	4.67	-0.00	0.00
ELS.Mat(T+) Wy	design(Structural)	----	1	18.83	0.89	-0.01	-0.00	-0.00
			2	188.05	27.94	-0.01	-0.00	-0.00
ELS.Mat(T-) Wy	design(Structural)	----	1	24.53	0.44	-0.01	-0.00	0.00
			2	193.49	28.32	-0.01	-0.00	0.00
ELS.Mat(T+) Wyy	design(Structural)	----	1	187.53	-27.87	-0.01	-0.00	-0.00
			2	19.22	-0.84	-0.01	-0.00	0.00
ELS.Mat(T-) Wyy	design(Structural)	----	1	193.23	-28.32	-0.01	-0.00	0.00
			2	24.65	-0.46	-0.01	-0.00	0.00
ELS.Mat(T+) Wz	design(Structural)	----	1	94.95	-12.77	-0.01	-0.00	-0.00
			2	95.36	12.82	-0.01	-0.00	-0.00

ELS.Mat(T-) Wz	design(Structural)	----	1	100.65	-13.21	-0.01	-0.00	0.00
			2	100.80	13.20	-0.01	-0.00	0.00
ELS.Mat(T+) Wzz	design(Structural)	----	1	111.44	-14.93	-0.01	-0.00	-0.00
			2	111.92	14.99	-0.01	-0.00	-0.00
ELS.Mat(T-) Wzz	design(Structural)	----	1	117.14	-15.38	-0.01	-0.00	0.00
			2	117.36	15.37	-0.01	-0.00	0.00
ELS.Mat(T+) Wxp	design(Structural)	----	1	107.41	-14.40	-4.69	0.00	-0.00
			2	107.86	14.46	-4.69	-0.00	-0.00
ELS.Mat(T-) Wxp	design(Structural)	----	1	113.11	-14.85	-4.69	0.00	0.00
			2	113.30	14.84	-4.69	-0.00	0.00
ELS.Wxyp (T+)	design(Structural)	----	1	92.84	-12.49	7.79	-0.00	-0.00
			2	93.28	12.55	7.79	-0.00	-0.00
ELS.Wxyp (T-)	design(Structural)	----	1	98.54	-12.94	7.79	-0.00	0.00
			2	98.72	12.93	7.79	-0.00	0.00
ELS.Wy (T+)	design(Structural)	----	1	-40.70	11.14	-0.01	-0.00	-0.00
			2	241.03	36.86	-0.01	-0.00	-0.00
ELS.Wy (T-)	design(Structural)	----	1	-35.00	10.70	-0.01	-0.00	0.00
			2	246.47	37.24	-0.01	-0.00	0.00
ELS.Wyy (T+)	design(Structural)	----	1	240.47	-36.79	-0.01	-0.00	-0.00
			2	-40.37	-11.10	-0.01	-0.00	0.00
ELS.Wyy (T-)	design(Structural)	----	1	246.17	-37.23	-0.01	-0.00	-0.00
			2	-34.93	-10.72	-0.01	-0.00	0.00
ELS.Wz (T+)	design(Structural)	----	1	86.17	-11.62	-0.01	-0.00	-0.00
			2	86.54	11.67	-0.01	-0.00	-0.00
ELS.Wz (T-)	design(Structural)	----	1	91.87	-12.06	-0.01	-0.00	0.00
			2	91.98	12.05	-0.01	-0.00	0.00
ELS.Wzz (T+)	design(Structural)	----	1	113.65	-15.22	-0.01	-0.00	-0.00
			2	114.14	15.28	-0.01	-0.00	-0.00
ELS.Wzz (T-)	design(Structural)	----	1	119.35	-15.67	-0.01	-0.00	0.00
			2	119.58	15.66	-0.01	-0.00	0.00
ELS.Wxp (T+)	design(Structural)	----	1	106.94	-14.34	-7.81	0.00	-0.00
			2	107.37	14.40	-7.81	-0.00	-0.00
ELS.Wxp (T-)	design(Structural)	----	1	112.64	-14.79	-7.81	0.00	0.00
			2	112.81	14.78	-7.81	-0.00	0.00
ELS.Temp+ Wxyp	design(Structural)	----	1	93.21	-12.67	4.67	-0.00	-0.00
			2	93.76	12.75	4.67	-0.00	-0.00
ELS.Temp- Wxyp	design(Structural)	----	1	102.71	-13.41	4.67	-0.00	0.00
			2	102.82	13.39	4.67	-0.00	0.00
ELS.Temp+ Wy	design(Structural)	----	1	13.09	1.51	-0.01	-0.00	-0.00
			2	182.41	27.34	-0.01	-0.00	-0.00
ELS.Temp- Wy	design(Structural)	----	1	22.59	0.77	-0.01	-0.00	0.00
			2	191.48	27.97	-0.01	-0.00	0.00
ELS.Temp+ Wyy	design(Structural)	----	1	181.79	-27.25	-0.01	-0.00	-0.00
			2	13.57	-1.44	-0.01	-0.00	0.00
ELS.Temp- Wyy	design(Structural)	----	1	191.29	-27.99	-0.01	-0.00	0.00
			2	22.64	-0.80	-0.01	-0.00	0.00
ELS.Temp+ Wz	design(Structural)	----	1	89.21	-12.15	-0.01	-0.00	-0.00
			2	89.72	12.22	-0.01	-0.00	-0.00
ELS.Temp- Wz	design(Structural)	----	1	98.71	-12.88	-0.01	-0.00	0.00
			2	98.78	12.86	-0.01	-0.00	0.00
ELS.Temp+ Wzz	design(Structural)	----	1	105.70	-14.31	-0.01	-0.00	-0.00
			2	106.28	14.39	-0.01	-0.00	-0.00
ELS.Temp- Wzz	design(Structural)	----	1	115.20	-15.05	-0.01	-0.00	0.00
			2	115.34	15.03	-0.01	-0.00	0.00
ELS.Temp+ Wxp	design(Structural)	----	1	101.67	-13.78	-4.69	0.00	-0.00
			2	102.22	13.86	-4.69	-0.00	-0.00
ELS.Temp- Wxp	design(Structural)	----	1	111.17	-14.52	-4.69	0.00	0.00
			2	111.28	14.50	-4.69	-0.00	0.00
CP+0,8SC	design(Structural)	----	1	96.44	-12.77	-0.01	-0.00	-0.00
			2	96.69	12.78	-0.01	-0.00	0.00

Backfill loads:

Case Nature Q1
(kN/m2)

1.1.5 Combination list

- 1/ ULS : ELU.Pass(T+) Wxyp N=348.25 My=2.15 Fx=0.08 Fy=14.01
- 2/ ULS : ELU.Pass(T-) Wxyp N=364.95 My=0.98 Fx=-0.01 Fy=14.01
- 3/ ULS : ELU.Pass(T+) Wy N=361.04 My=761.64 Fx=43.23 Fy=-0.03
- 4/ ULS : ELU.Pass(T-) Wy N=377.74 My=760.47 Fx=43.14 Fy=-0.03
- 5/ ULS : ELU.Pass(T+) Wyy N=360.83 My=-757.30 Fx=-43.07 Fy=-0.03

Dimensionamento de uma estrutura metálica de suporte de uma Tela Transportadora de
Biomassa

6/	ULS : ELU.Pass(T-) Wyy N=377.53 My=-758.47 Fx=-43.17 Fy=-0.03
7/	ULS : ELU.Pass(T+) Wz N=336.18 My=1.99 Fx=0.07 Fy=-0.03
8/	ULS : ELU.Pass(T-) Wz N=352.88 My=0.81 Fx=-0.02 Fy=-0.02
9/	ULS : ELU.Pass(T+) Wzz N=385.75 My=2.31 Fx=0.08 Fy=-0.03
10/	ULS : ELU.Pass(T-) Wzz N=402.45 My=1.13 Fx=-0.01 Fy=-0.03
11/	ULS : ELU.Pass(T+) Wxp N=373.62 My=2.15 Fx=0.08 Fy=-14.07
12/	ULS : ELU.Pass(T-) Wxp N=390.33 My=0.97 Fx=-0.02 Fy=-14.06
13/	ULS : ELU.Mat(T+) Wxxp N=272.53 My=1.94 Fx=0.08 Fy=14.01
14/	ULS : ELU.Mat(T-) Wxxp N=289.23 My=0.76 Fx=-0.01 Fy=14.02
15/	ULS : ELU.Mat(T+) Wy N=285.32 My=761.43 Fx=43.23 Fy=-0.02
16/	ULS : ELU.Mat(T-) Wy N=302.02 My=760.25 Fx=43.14 Fy=-0.02
17/	ULS : ELU.Mat(T+) Wyy N=285.11 My=-757.51 Fx=-43.07 Fy=-0.02
18/	ULS : ELU.Mat(T-) Wyy N=301.82 My=-758.69 Fx=-43.16 Fy=-0.02
19/	ULS : ELU.Mat(T+) Wz N=260.46 My=1.77 Fx=0.08 Fy=-0.02
20/	ULS : ELU.Mat(T-) Wz N=277.16 My=0.60 Fx=-0.02 Fy=-0.02
21/	ULS : ELU.Mat(T+) Wzz N=310.03 My=2.09 Fx=0.08 Fy=-0.03
22/	ULS : ELU.Mat(T-) Wzz N=326.73 My=0.92 Fx=-0.01 Fy=-0.02
23/	ULS : ELU.Mat(T+) Wxp N=297.90 My=1.93 Fx=0.08 Fy=-14.06
24/	ULS : ELU.Mat(T-) Wxp N=314.61 My=0.76 Fx=-0.01 Fy=-14.06
25/	ULS : ELU.Wxxp (T+) N=254.17 My=1.88 Fx=0.08 Fy=23.38
26/	ULS : ELU.Wxxp (T-) N=270.88 My=0.70 Fx=-0.01 Fy=23.38
27/	ULS : ELU.Wy (T+) N=275.49 My=1267.69 Fx=72.00 Fy=-0.02
28/	ULS : ELU.Wy (T-) N=292.19 My=1266.52 Fx=71.91 Fy=-0.02
29/	ULS : ELU.Wyy (T+) N=275.15 My=-1263.87 Fx=-71.84 Fy=-0.02
30/	ULS : ELU.Wyy (T-) N=291.85 My=-1265.05 Fx=-71.93 Fy=-0.02
31/	ULS : ELU.Wz (T+) N=234.06 My=1.60 Fx=0.07 Fy=-0.02
32/	ULS : ELU.Wz (T-) N=250.76 My=0.43 Fx=-0.02 Fy=-0.01
33/	ULS : ELU.Wzz (T+) N=316.68 My=2.14 Fx=0.09 Fy=-0.03
34/	ULS : ELU.Wzz (T-) N=333.38 My=0.96 Fx=-0.01 Fy=-0.02
35/	ULS : ELU.Wxp (T+) N=296.46 My=1.86 Fx=0.08 Fy=-23.42
36/	ULS : ELU.Wxp (T-) N=313.17 My=0.69 Fx=-0.02 Fy=-23.42
37/	ULS : ELU.Temp+ Wxxp N=255.46 My=2.38 Fx=0.12 Fy=14.01
38/	ULS : ELU.Temp- Wxxp N=283.29 My=0.42 Fx=-0.04 Fy=14.02
39/	ULS : ELU.Temp+ Wy N=268.24 My=761.87 Fx=43.27 Fy=-0.03
40/	ULS : ELU.Temp- Wy N=296.08 My=759.91 Fx=43.12 Fy=-0.02
41/	ULS : ELU.Temp+ Wyy N=268.04 My=-757.07 Fx=-43.03 Fy=-0.03
42/	ULS : ELU.Temp- Wyy N=295.88 My=-759.03 Fx=-43.19 Fy=-0.02
43/	ULS : ELU.Temp+ Wz N=243.38 My=2.21 Fx=0.12 Fy=-0.02
44/	ULS : ELU.Temp- Wz N=271.22 My=0.26 Fx=-0.04 Fy=-0.01
45/	ULS : ELU.Temp+ Wzz N=292.96 My=2.53 Fx=0.12 Fy=-0.03
46/	ULS : ELU.Temp- Wzz N=320.80 My=0.58 Fx=-0.03 Fy=-0.02
47/	ULS : ELU.Temp+ Wxp N=280.83 My=2.37 Fx=0.12 Fy=-14.07
48/	ULS : ELU.Temp- Wxp N=308.67 My=0.41 Fx=-0.04 Fy=-14.06
49/	ULS : CP+0,8SC N=193.13 My=0.75 Fx=0.01 Fy=-0.01
50/	SLS : ELS.Pass(T+) Wxxp N=248.84 My=1.49 Fx=0.05 Fy=9.34
51/	SLS : ELS.Pass(T-) Wxxp N=259.97 My=0.71 Fx=-0.01 Fy=9.34
52/	SLS : ELS.Pass(T+) Wy N=257.36 My=507.82 Fx=28.82 Fy=-0.02
53/	SLS : ELS.Pass(T-) Wy N=268.50 My=507.04 Fx=28.76 Fy=-0.02
54/	SLS : ELS.Pass(T+) Wyy N=257.23 My=-504.81 Fx=-28.71 Fy=-0.02
55/	SLS : ELS.Pass(T-) Wyy N=268.36 My=-505.59 Fx=-28.78 Fy=-0.02
56/	SLS : ELS.Pass(T+) Wz N=240.79 My=1.38 Fx=0.05 Fy=-0.02
57/	SLS : ELS.Pass(T-) Wz N=251.93 My=0.60 Fx=-0.01 Fy=-0.02
58/	SLS : ELS.Pass(T+) Wzz N=273.84 My=1.60 Fx=0.06 Fy=-0.02
59/	SLS : ELS.Pass(T-) Wzz N=284.98 My=0.81 Fx=-0.01 Fy=-0.02
60/	SLS : ELS.Pass(T+) Wxp N=265.75 My=1.49 Fx=0.05 Fy=-9.38
61/	SLS : ELS.Pass(T-) Wxp N=276.89 My=0.71 Fx=-0.01 Fy=-9.38
62/	SLS : ELS.Mat(T+) Wxxp N=198.36 My=1.35 Fx=0.06 Fy=9.34
63/	SLS : ELS.Mat(T-) Wxxp N=209.49 My=0.57 Fx=-0.01 Fy=9.35
64/	SLS : ELS.Mat(T+) Wy N=206.88 My=507.68 Fx=28.82 Fy=-0.02
65/	SLS : ELS.Mat(T-) Wy N=218.02 My=506.89 Fx=28.76 Fy=-0.01
66/	SLS : ELS.Mat(T+) Wyy N=206.75 My=-504.95 Fx=-28.71 Fy=-0.02
67/	SLS : ELS.Mat(T-) Wyy N=217.88 My=-505.73 Fx=-28.77 Fy=-0.01
68/	SLS : ELS.Mat(T+) Wz N=190.31 My=1.24 Fx=0.05 Fy=-0.02
69/	SLS : ELS.Mat(T-) Wz N=201.45 My=0.46 Fx=-0.01 Fy=-0.01
70/	SLS : ELS.Mat(T+) Wzz N=223.36 My=1.45 Fx=0.06 Fy=-0.02
71/	SLS : ELS.Mat(T-) Wzz N=234.50 My=0.67 Fx=-0.01 Fy=-0.01
72/	SLS : ELS.Mat(T+) Wxp N=215.28 My=1.35 Fx=0.05 Fy=-9.38
73/	SLS : ELS.Mat(T-) Wxp N=226.41 My=0.56 Fx=-0.01 Fy=-9.37
74/	SLS : ELS.Wxxp (T+) N=186.12 My=1.31 Fx=0.05 Fy=15.58
75/	SLS : ELS.Wxxp (T-) N=197.26 My=0.53 Fx=-0.01 Fy=15.59
76/	SLS : ELS.Wy (T+) N=200.33 My=845.18 Fx=48.00 Fy=-0.02
77/	SLS : ELS.Wy (T-) N=211.47 My=844.40 Fx=47.94 Fy=-0.01
78/	SLS : ELS.Wyy (T+) N=200.10 My=-842.52 Fx=-47.89 Fy=-0.02

ANEXO XVII – Sapatas

79/	SLS : ELS.Wyy (T-) N=211.24 My=-843.31 Fx=-47.95 Fy=-0.01
80/	SLS : ELS.Wz (T+) N=172.71 My=1.12 Fx=0.05 Fy=-0.01
81/	SLS : ELS.Wz (T-) N=183.85 My=0.34 Fx=-0.01 Fy=-0.01
82/	SLS : ELS.Wzz (T+) N=227.79 My=1.48 Fx=0.06 Fy=-0.02
83/	SLS : ELS.Wzz (T-) N=238.93 My=0.70 Fx=-0.00 Fy=-0.01
84/	SLS : ELS.Wxp (T+) N=214.32 My=1.30 Fx=0.05 Fy=-15.62
85/	SLS : ELS.Wxp (T-) N=225.45 My=0.52 Fx=-0.01 Fy=-15.61
86/	SLS : ELS.Temp+ Wxyp N=186.98 My=1.64 Fx=0.08 Fy=9.34
87/	SLS : ELS.Temp- Wxyp N=205.54 My=0.34 Fx=-0.02 Fy=9.35
88/	SLS : ELS.Temp+ Wy N=195.50 My=507.97 Fx=28.85 Fy=-0.02
89/	SLS : ELS.Temp- Wy N=214.06 My=506.66 Fx=28.74 Fy=-0.01
90/	SLS : ELS.Temp+ Wyy N=195.37 My=-504.66 Fx=-28.69 Fy=-0.02
91/	SLS : ELS.Temp- Wyy N=213.93 My=-505.96 Fx=-28.79 Fy=-0.01
92/	SLS : ELS.Temp+ Wz N=178.93 My=1.53 Fx=0.08 Fy=-0.02
93/	SLS : ELS.Temp- Wz N=197.49 My=0.23 Fx=-0.03 Fy=-0.01
94/	SLS : ELS.Temp+ Wzz N=211.98 My=1.75 Fx=0.08 Fy=-0.02
95/	SLS : ELS.Temp- Wzz N=230.54 My=0.44 Fx=-0.02 Fy=-0.01
96/	SLS : ELS.Temp+ Wxp N=203.89 My=1.64 Fx=0.08 Fy=-9.38
97/	SLS : ELS.Temp- Wxp N=222.45 My=0.33 Fx=-0.02 Fy=-9.37
98/*	ULS : ELU.Pass(T+) Wxyp N=348.25 My=2.15 Fx=0.08 Fy=14.01
99/*	ULS : ELU.Pass(T-) Wxyp N=364.95 My=0.98 Fx=-0.01 Fy=14.01
100/*	ULS : ELU.Pass(T+) Wy N=361.04 My=761.64 Fx=43.23 Fy=-0.03
101/*	ULS : ELU.Pass(T-) Wy N=377.74 My=760.47 Fx=43.14 Fy=-0.03
102/*	ULS : ELU.Pass(T+) Wyy N=360.83 My=-757.30 Fx=-43.07 Fy=-0.03
103/*	ULS : ELU.Pass(T-) Wyy N=377.53 My=-758.47 Fx=-43.17 Fy=-0.03
104/*	ULS : ELU.Pass(T+) Wz N=336.18 My=1.99 Fx=0.07 Fy=-0.03
105/*	ULS : ELU.Pass(T-) Wz N=352.88 My=0.81 Fx=-0.02 Fy=-0.02
106/*	ULS : ELU.Pass(T+) Wzz N=385.75 My=2.31 Fx=0.08 Fy=-0.03
107/*	ULS : ELU.Pass(T-) Wzz N=402.45 My=1.13 Fx=-0.01 Fy=-0.03
108/*	ULS : ELU.Pass(T+) Wxp N=373.62 My=2.15 Fx=0.08 Fy=-14.07
109/*	ULS : ELU.Pass(T-) Wxp N=390.33 My=0.97 Fx=-0.02 Fy=-14.06
110/*	ULS : ELU.Mat(T+) Wxyp N=272.53 My=1.94 Fx=0.08 Fy=14.01
111/*	ULS : ELU.Mat(T-) Wxyp N=289.23 My=0.76 Fx=-0.01 Fy=14.02
112/*	ULS : ELU.Mat(T+) Wy N=285.32 My=761.43 Fx=43.23 Fy=-0.02
113/*	ULS : ELU.Mat(T-) Wy N=302.02 My=760.25 Fx=43.14 Fy=-0.02
114/*	ULS : ELU.Mat(T+) Wyy N=285.11 My=-757.51 Fx=-43.07 Fy=-0.02
115/*	ULS : ELU.Mat(T-) Wyy N=301.82 My=-758.69 Fx=-43.16 Fy=-0.02
116/*	ULS : ELU.Mat(T+) Wz N=260.46 My=1.77 Fx=0.08 Fy=-0.02
117/*	ULS : ELU.Mat(T-) Wz N=277.16 My=0.60 Fx=-0.02 Fy=-0.02
118/*	ULS : ELU.Mat(T+) Wzz N=310.03 My=2.09 Fx=0.08 Fy=-0.03
119/*	ULS : ELU.Mat(T-) Wzz N=326.73 My=0.92 Fx=-0.01 Fy=-0.02
120/*	ULS : ELU.Mat(T+) Wxp N=297.90 My=1.93 Fx=0.08 Fy=-14.06
121/*	ULS : ELU.Mat(T-) Wxp N=314.61 My=0.76 Fx=-0.01 Fy=-14.06
122/*	ULS : ELU.Wxyp (T+) N=254.17 My=1.88 Fx=0.08 Fy=23.38
123/*	ULS : ELU.Wxyp (T-) N=270.88 My=0.70 Fx=-0.01 Fy=23.38
124/*	ULS : ELU.Wy (T+) N=275.49 My=1267.69 Fx=72.00 Fy=-0.02
125/*	ULS : ELU.Wy (T-) N=292.19 My=1266.52 Fx=71.91 Fy=-0.02
126/*	ULS : ELU.Wyy (T+) N=275.15 My=-1263.87 Fx=-71.84 Fy=-0.02
127/*	ULS : ELU.Wyy (T-) N=291.85 My=-1265.05 Fx=-71.93 Fy=-0.02
128/*	ULS : ELU.Wz (T+) N=234.06 My=1.60 Fx=0.07 Fy=-0.02
129/*	ULS : ELU.Wz (T-) N=250.76 My=0.43 Fx=-0.02 Fy=-0.01
130/*	ULS : ELU.Wzz (T+) N=316.68 My=2.14 Fx=0.09 Fy=-0.03
131/*	ULS : ELU.Wzz (T-) N=333.38 My=0.96 Fx=-0.01 Fy=-0.02
132/*	ULS : ELU.Wxp (T+) N=296.46 My=1.86 Fx=0.08 Fy=-23.42
133/*	ULS : ELU.Wxp (T-) N=313.17 My=0.69 Fx=-0.02 Fy=-23.42
134/*	ULS : ELU.Temp+ Wxyp N=255.46 My=2.38 Fx=0.12 Fy=14.01
135/*	ULS : ELU.Temp- Wxyp N=283.29 My=0.42 Fx=-0.04 Fy=14.02
136/*	ULS : ELU.Temp+ Wy N=268.24 My=761.87 Fx=43.27 Fy=-0.03
137/*	ULS : ELU.Temp- Wy N=296.08 My=759.91 Fx=43.12 Fy=-0.02
138/*	ULS : ELU.Temp+ Wyy N=268.04 My=-757.07 Fx=-43.03 Fy=-0.03
139/*	ULS : ELU.Temp- Wyy N=295.88 My=-759.03 Fx=-43.19 Fy=-0.02
140/*	ULS : ELU.Temp+ Wz N=243.38 My=2.21 Fx=0.12 Fy=-0.02
141/*	ULS : ELU.Temp- Wz N=271.22 My=0.26 Fx=-0.04 Fy=-0.01
142/*	ULS : ELU.Temp+ Wzz N=292.96 My=2.53 Fx=0.12 Fy=-0.03
143/*	ULS : ELU.Temp- Wzz N=320.80 My=0.58 Fx=-0.03 Fy=-0.02
144/*	ULS : ELU.Temp+ Wxp N=280.83 My=2.37 Fx=0.12 Fy=-14.07
145/*	ULS : ELU.Temp- Wxp N=308.67 My=0.41 Fx=-0.04 Fy=-14.06
146/*	ULS : CP+0,8SC N=193.13 My=0.75 Fx=0.01 Fy=-0.01
147/*	SLS : ELS.Pass(T+) Wxyp N=248.84 My=1.49 Fx=0.05 Fy=9.34
148/*	SLS : ELS.Pass(T-) Wxyp N=259.97 My=0.71 Fx=-0.01 Fy=9.34
149/*	SLS : ELS.Pass(T+) Wy N=257.36 My=507.82 Fx=28.82 Fy=-0.02
150/*	SLS : ELS.Pass(T-) Wy N=268.50 My=507.04 Fx=28.76 Fy=-0.02
151/*	SLS : ELS.Pass(T+) Wyy N=257.23 My=-504.81 Fx=-28.71 Fy=-0.02

152/*	SLS : ELS.Pass(T-) Wyy N=268.36 My=-505.59 Fx=-28.78 Fy=-0.02
153/*	SLS : ELS.Pass(T+) Wz N=240.79 My=1.38 Fx=0.05 Fy=-0.02
154/*	SLS : ELS.Pass(T-) Wz N=251.93 My=0.60 Fx=-0.01 Fy=-0.02
155/*	SLS : ELS.Pass(T+) Wzz N=273.84 My=1.60 Fx=0.06 Fy=-0.02
156/*	SLS : ELS.Pass(T-) Wzz N=284.98 My=0.81 Fx=-0.01 Fy=-0.02
157/*	SLS : ELS.Pass(T+) Wxp N=265.75 My=1.49 Fx=0.05 Fy=-9.38
158/*	SLS : ELS.Pass(T-) Wxp N=276.89 My=0.71 Fx=-0.01 Fy=-9.38
159/*	SLS : ELS.Mat(T+) Wxxp N=198.36 My=1.35 Fx=0.06 Fy=9.34
160/*	SLS : ELS.Mat(T-) Wxxp N=209.49 My=0.57 Fx=-0.01 Fy=9.35
161/*	SLS : ELS.Mat(T+) Wy N=206.88 My=507.68 Fx=28.82 Fy=-0.02
162/*	SLS : ELS.Mat(T-) Wy N=218.02 My=506.89 Fx=28.76 Fy=-0.01
163/*	SLS : ELS.Mat(T+) Wyy N=206.75 My=-504.95 Fx=-28.71 Fy=-0.02
164/*	SLS : ELS.Mat(T-) Wyy N=217.88 My=-505.73 Fx=-28.77 Fy=-0.01
165/*	SLS : ELS.Mat(T+) Wz N=190.31 My=1.24 Fx=0.05 Fy=-0.02
166/*	SLS : ELS.Mat(T-) Wz N=201.45 My=0.46 Fx=-0.01 Fy=-0.01
167/*	SLS : ELS.Mat(T+) Wzz N=223.36 My=1.45 Fx=0.06 Fy=-0.02
168/*	SLS : ELS.Mat(T-) Wzz N=234.50 My=0.67 Fx=-0.01 Fy=-0.01
169/*	SLS : ELS.Mat(T+) Wxp N=215.28 My=1.35 Fx=0.05 Fy=-9.38
170/*	SLS : ELS.Mat(T-) Wxp N=226.41 My=0.56 Fx=-0.01 Fy=-9.37
171/*	SLS : ELS.Wxxp (T+) N=186.12 My=1.31 Fx=0.05 Fy=15.58
172/*	SLS : ELS.Wxxp (T-) N=197.26 My=0.53 Fx=-0.01 Fy=15.59
173/*	SLS : ELS.Wy (T+) N=200.33 My=845.18 Fx=48.00 Fy=-0.02
174/*	SLS : ELS.Wy (T-) N=211.47 My=844.40 Fx=47.94 Fy=-0.01
175/*	SLS : ELS.Wyy (T+) N=200.10 My=-842.52 Fx=-47.89 Fy=-0.02
176/*	SLS : ELS.Wyy (T-) N=211.24 My=-843.31 Fx=-47.95 Fy=-0.01
177/*	SLS : ELS.Wz (T+) N=172.71 My=1.12 Fx=0.05 Fy=-0.01
178/*	SLS : ELS.Wz (T-) N=183.85 My=0.34 Fx=-0.01 Fy=-0.01
179/*	SLS : ELS.Wzz (T+) N=227.79 My=1.48 Fx=0.06 Fy=-0.02
180/*	SLS : ELS.Wzz (T-) N=238.93 My=0.70 Fx=-0.00 Fy=-0.01
181/*	SLS : ELS.Wxp (T+) N=214.32 My=1.30 Fx=0.05 Fy=-15.62
182/*	SLS : ELS.Wxp (T-) N=225.45 My=0.52 Fx=-0.01 Fy=-15.61
183/*	SLS : ELS.Temp+ Wxxp N=186.98 My=1.64 Fx=0.08 Fy=9.34
184/*	SLS : ELS.Temp- Wxxp N=205.54 My=0.34 Fx=-0.02 Fy=9.35
185/*	SLS : ELS.Temp+ Wy N=195.50 My=507.97 Fx=28.85 Fy=-0.02
186/*	SLS : ELS.Temp- Wy N=214.06 My=506.66 Fx=28.74 Fy=-0.01
187/*	SLS : ELS.Temp+ Wyy N=195.37 My=-504.66 Fx=-28.69 Fy=-0.02
188/*	SLS : ELS.Temp- Wyy N=213.93 My=-505.96 Fx=-28.79 Fy=-0.01
189/*	SLS : ELS.Temp+ Wz N=178.93 My=1.53 Fx=0.08 Fy=-0.02
190/*	SLS : ELS.Temp- Wz N=197.49 My=0.23 Fx=-0.03 Fy=-0.01
191/*	SLS : ELS.Temp+ Wzz N=211.98 My=1.75 Fx=0.08 Fy=-0.02
192/*	SLS : ELS.Temp- Wzz N=230.54 My=0.44 Fx=-0.02 Fy=-0.01
193/*	SLS : ELS.Temp+ Wxp N=203.89 My=1.64 Fx=0.08 Fy=-9.38
194/*	SLS : ELS.Temp- Wxp N=222.45 My=0.33 Fx=-0.02 Fy=-9.37

1.2 Geotechnical design

1.2.1 Assumptions

- Cohesion reduction coefficient: 0.00
- Smooth precast foundation 6.5.3(10)
- Sliding with soil pressure considered: for X and Y directions
- Design approach: 1
 - A1 + M1 + R1
 - $\gamma_{\phi'}$ = 1.00
 - $\gamma_{c'}$ = 1.00
 - γ_{cu} = 1.00
 - γ_{qu} = 1.00
 - γ_{γ} = 1.00
 - $\gamma_{R,v}$ = 1.00
 - $\gamma_{R,h}$ = 1.00
 - A2 + M2 + R1
 - $\gamma_{\phi'}$ = 1.25
 - $\gamma_{c'}$ = 1.25

$$\gamma_{cu} = 1.40$$

$$\gamma_{qu} = 1.40$$

$$\gamma_{\gamma} = 1.00$$

$$\gamma_{R,v} = 1.00$$

$$\gamma_{R,h} = 1.00$$

1.2.2 Soil:

Soil level:	N_1	= 0.00 (m)
Column pier level:	N_a	= 0.50 (m)
Minimum reference level:	N_f	= -0.50 (m)

1. Lodos argilosos

- Soil level: 0.00 (m)
- Thickness: 1.50 (m)
- Unit weight: 2520.00 (kG/m³)
- Unit weight of solid: 2712.45 (kG/m³)
- Internal friction angle: 16.0 (Deg)
- Cohesion: 0.02 (MPa)

2. Argilas arenosas

- Soil level: -1.50 (m)
- Thickness: 2.00 (m)
- Unit weight: 2192.39 (kG/m³)
- Unit weight of solid: 2722.64 (kG/m³)
- Internal friction angle: 20.0 (Deg)
- Cohesion: 0.04 (MPa)

3. Areia argilosa

- Soil level: -3.50 (m)
- Thickness: 1.00 (m)
- Unit weight: 1886.47 (kG/m³)
- Unit weight of solid: 2702.25 (kG/m³)
- Internal friction angle: 32.0 (Deg)
- Cohesion: 0.00 (MPa)

1.2.3 Limit states

Stress calculations

Soil type under foundation: Layered

Design combination

ULS : ELU.Wy (T-) N=292.19 My=1266.52 Fx=71.91 Fy=-0.02

Load factors: **1.35** * Foundation weight

1.35 * Soil weight

Calculation results: On the foundation level

Weight of foundation and soil over it: Gr = 1113.07 (kN)

Design load:

$$N_r = 1405.26 \text{ (kN)} \quad M_x = 0.04 \text{ (kN*m)} \quad M_y = 1431.90 \text{ (kN*m)}$$

Allowable stress calculation method: Analytical

ULS : ELU.Wy (T+) N=275.49 My=1267.69 Fx=72.00 Fy=-0.02

Load factors: **1.00** * Foundation weight
1.00 * Soil weight

Weight of foundation and soil over it: Gr = 824.50 (kN)

Design load:

Nr = 1099.98 (kN) Mx = 0.06 (kN*m) My = 1433.29 (kN*m)

Stability moment: M_{stab} = 4399.93 (kN*m)

Rotation moment: M_{renv} = 1433.29 (kN*m)

Stability for rotation: 3.07 > 1

1.3 RC design

1.3.1 Assumptions

- Exposure : XC4
- Structure class : S2

1.3.2 Analysis of punching and shear

Shear

Design combination

ULS : ELU.Pass(T-) Wy N=377.74 My=760.47 Fx=43.14 Fy=-0.03

Load factors: **1.35** * Foundation weight
1.35 * Soil weight

Design load:

Nr = 1490.81 (kN) Mx = 0.06 (kN*m) My = 859.68 (kN*m)

Length of critical circumference: 2.30 (m)

Shear force: 73.78 (kN)

Section effective height: h_{eff} = 0.73 (m)

Shear area: A = 1.68 (m²)

Reinforcement ratio: ρ = 0.15 %

Shear stress: 0.04 (MPa)

Admissible shear stress: 0.30 (MPa)

Safety factor: 6.88 > 1

1.3.3 Required reinforcement

Spread footing:

bottom:

ULS : ELU.Wyy (T+) N=275.15 My=-1263.87 Fx=-71.84 Fy=-0.02
My = 97.91 (kN*m) A_{sx} = 11.01 (cm²/m)

ULS : ELU.Pass(T-) Wxp N=390.33 My=0.97 Fx=-0.02 Fy=-14.06
Mx = 89.32 (kN*m) A_{sy} = 11.01 (cm²/m)

A_{s min} = 11.01 (cm²/m)

top:

ULS : ELU.Pass(T-) Wyy N=377.53 My=-758.47 Fx=-43.17 Fy=-0.03
My = -220.06 (kN*m) A'_{sx} = 11.01 (cm²/m)

$$A'_{sy} = 0.00 \text{ (cm}^2\text{/m)}$$

$$A_{s \text{ min}} = 11.01 \text{ (cm}^2\text{/m)}$$

Column pier: 1

Longitudinal reinforcement $A = 7.20 \text{ (cm}^2)$ $A_{\text{min.}} = 7.20 \text{ (cm}^2)$
 $A = 2 * (Asx1 + Asy1)$
 $Asx1 = 2.00 \text{ (cm}^2)$ $Asy1 = 1.60 \text{ (cm}^2)$

Column pier: 2

Longitudinal reinforcement $A = 7.20 \text{ (cm}^2)$ $A_{\text{min.}} = 7.20 \text{ (cm}^2)$
 $A = 2 * (Asx2 + Asy2)$
 $Asx2 = 2.00 \text{ (cm}^2)$ $Asy2 = 1.60 \text{ (cm}^2)$

1.3.4 Provided reinforcement

Spread footing:

Bottom:

Along X axis:
 22 B500A 12 $l = 7.88 \text{ (m)}$ $e = 1 * -1.08 + 21 * 0.10$
 Along Y axis:
 79 B500A 12 $l = 2.18 \text{ (m)}$ $e = 1 * -3.89 + 78 * 0.10$

Top:

Along X axis:
 23 B500A 12 $l = 7.88 \text{ (m)}$ $e = 1 * -0.98 + 22 * 0.09$
 Along Y axis:
 32 B500A 10 $l = 2.18 \text{ (m)}$ $e = 1 * -3.87 + 31 * 0.25$

Pier

Column pier: 1

Longitudinal reinforcement

Column pier: 2

Longitudinal reinforcement

2 Material survey:

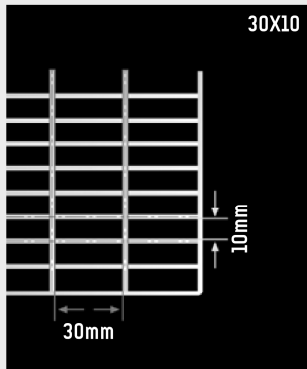
- Concrete volume = 15.80 (m3)
- Formwork = 23.68 (m2)
- Steel B500A
 - Total weight = 510.90 (kG)
 - Density = 32.34 (kG/m3)
 - Average diameter = 11.8 (mm)
 - Survey according to diameters:

Dimensionamento de uma estrutura metálica de suporte de uma Tela Transportadora de Biomassa

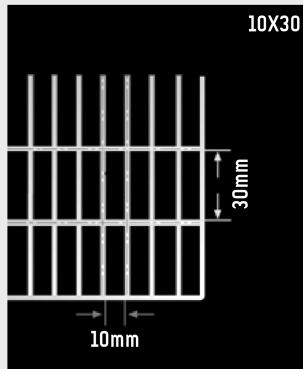
Diameter	Length (m)	Number:
10	2.18	32
12	2.18	79
12	7.88	45

ANEXO XVIII – Catálogo Quadricula Metálica

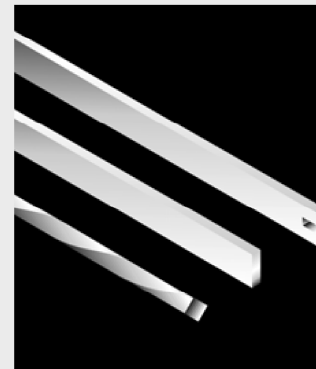
Dados técnicos | Technical data | Información técnica



Tamanho e sentido da malha
Mesh and way of the mesh
Maille et direction



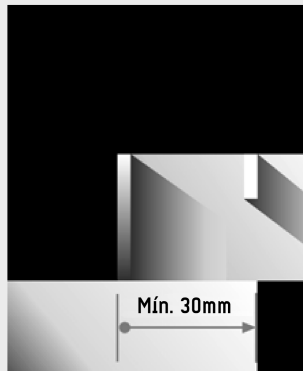
Tamanho e sentido da malha
Mesh and way of the mesh
Maille et direction



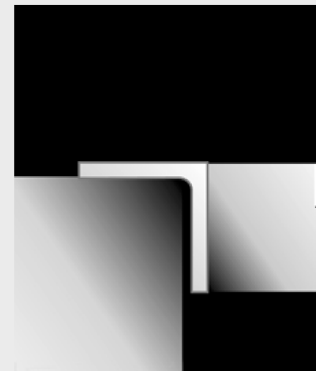
Separadoras
Secondary bars
Barres secondaires



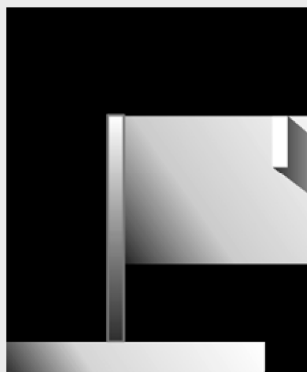
Barras
Bearing bars
Barres de roulement



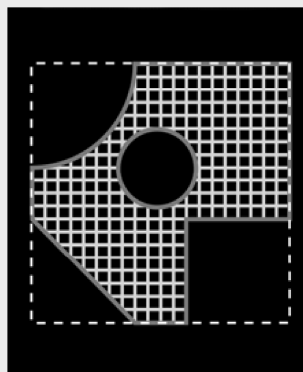
Pontos de apoio
Bearing platform
Points d'aide



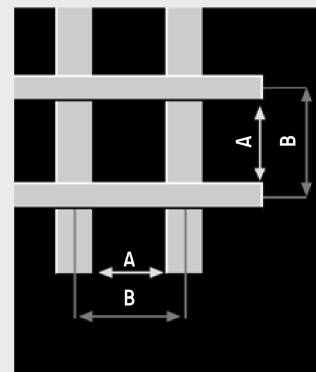
Perfil angular soldado
Welded angle profile
Profil soudée d'angle



Barra de elevação
Elevation bars
Barre d'elevation

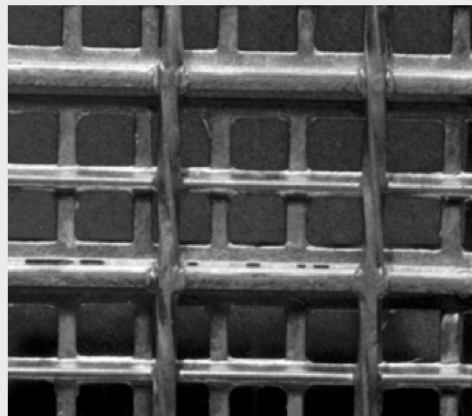
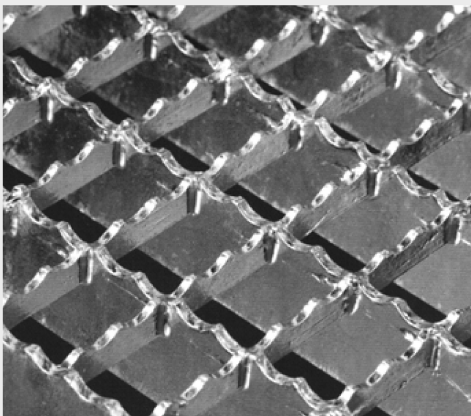
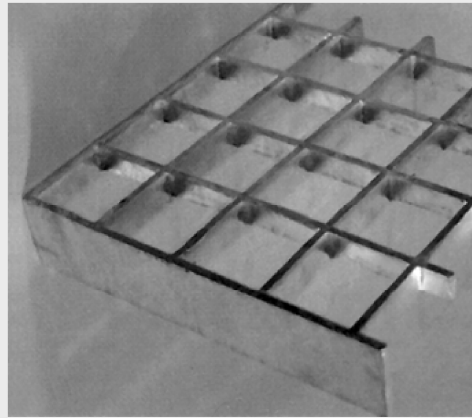
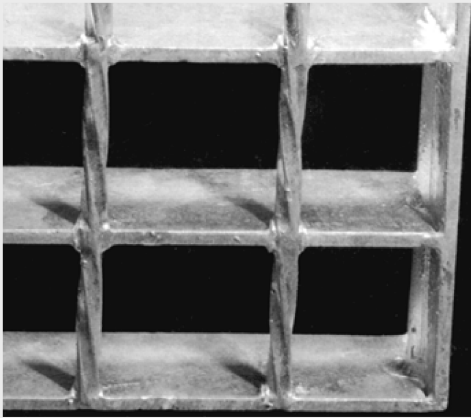


Recortes
Cuts
Découpages



Abertura das malhas
Mesh openings
Ouvertures des mailles

Tipos de quadrícula | Mesh types | Types de mailles



QUADRÍCULA METÁLICA | GRATING | CALLEBOTIS

MALHAS STANDARD | STANDARD MESH | MAILLE STANDARD

Electro-soldadas | Electrowelded | Electroforgée (mm)

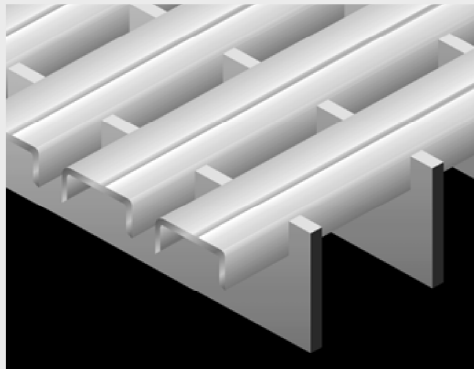
34X38, 34X76, 68X76

Barra-barra | Crossed bars | Barres traverses (mm)

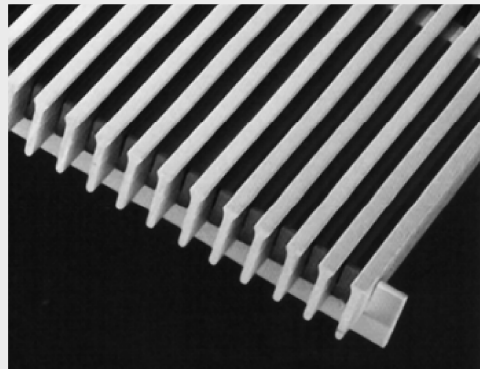
33X33, 66X66

Outras malhas e modelos poderão ser fornecidos, sob consulta.
Other meshes and models can be supplied, under request only.
D'autres mailles et modèles peuvent être fournis, sous la demand seulement.

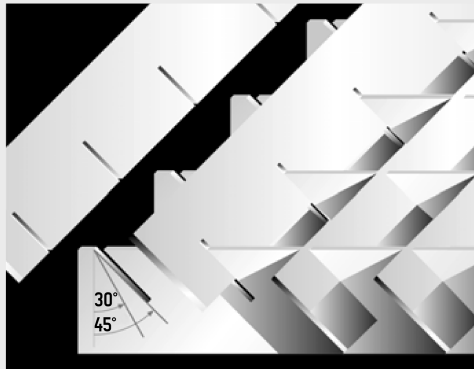
Modelos especiais | Special models | Modèles spéciaux



Para “pés descalços”
To “exposed feet”
Pour “pieds dechausses”



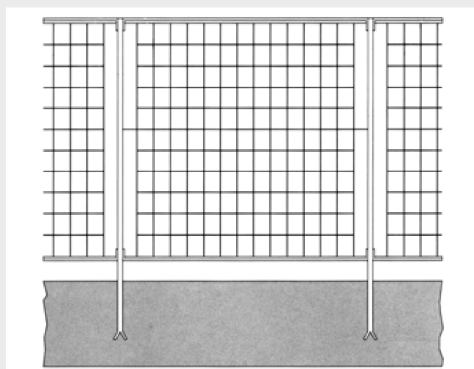
Para sombreamentos
To sun covers
Pour couvertures du soleil



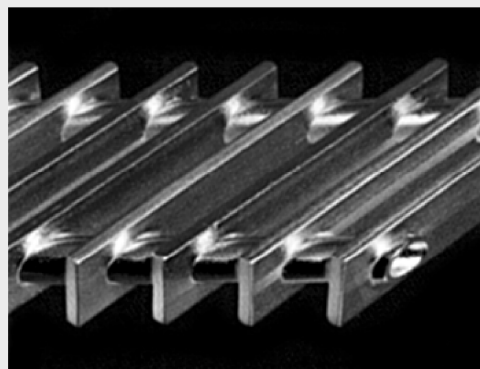
Inclinadas
Inclined
Inclinées



Para jardins
Openings for trees
Ouvertures d'arbres



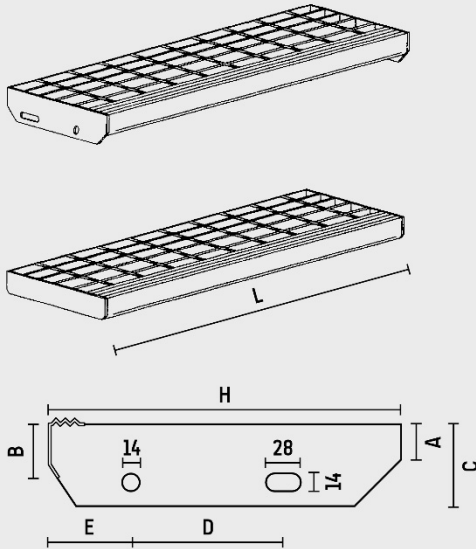
Para vedações
Fencing
Clôture



Para decoração/arquitetura
To decoration/architectural uses
Utilisations architecturales/décoration

Degraus | Stair treads | Étapes

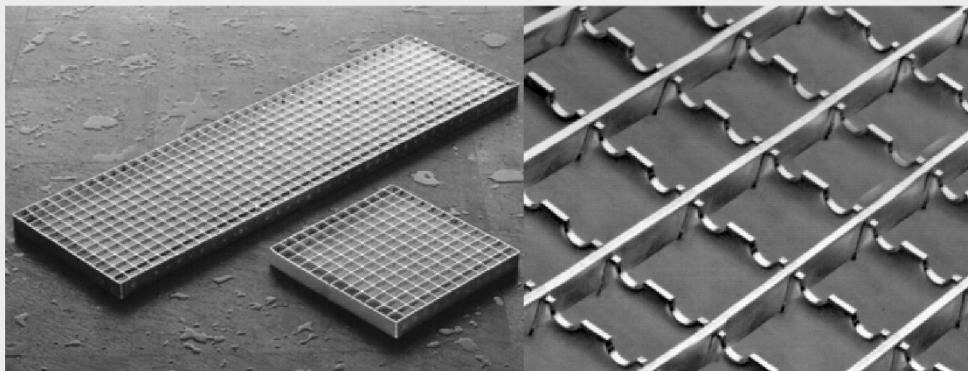
Tabela com degraus standard normalizados. Outros formatos sob consulta.
 Table with normalized steps. Other formats under request.
 Table avec des étapes normales. D'autres formats sous la demand.



L	H ± S	A	B	C	D	E
700	230	30x2	45	60	100	40
700	265	30x2	45	60	100	40
700	300	30x2	45	60	100	50
800	230	30x2	45	60	100	40
800	265	30x2	45	60	100	40
800	300	30x2	45	60	100	50
900	230	30x3	45	60	100	40
900	265	30x3	45	60	100	40
900	300	30x3	45	60	100	50
1000	230	30x3	45	60	100	40
1000	265	30x3	45	60	100	40
1000	300	30x3	45	60	100	50

Em | ln | En: mm

Quadrícula inox | Stainless steel grating | Caillebotis en inox



Sob pedido
 Under request
 Sur demand

Tabelas de carga | Load tables | Tabelles de resistance

CARGA DISTRIBUIDA UNIFORMEMENTE
UNIFORMLY DISTRIBUTED LOAD
CHARGE UNIFORMÉMENT DISTRIBUÉ
Kg/m²

Barra portante Bearing bars Barres de roulement	Malha Mesh Maille: 34X38 / 34X65 / 34X105									
	20 x 2	20 x 3	25 x 2	25 x 3	30 x 2	30 x 3	35 x 2	35 x 3	40 x 2	40 x 3
500	1920	2880	3055	4595	4270	6390	5785	8690	7655	11485
600	1315	1990	2095	3130	2950	4420	4080	6110	5305	7955
700	970	1465	1515	2275	2190	3275	2950	4420	3865	5785
800	760 •	1135	1160	1745	1670	2500	2300	3435	3055	4595
900		900	910	1390	1315	1970	1820	2755	2325	3485
1000		700 •	740 •	1110	1060	1590	1465	2215	1920	2880
1100		590	605	910	885	1340	1215	1840	1575	2365
1200				780 •	740 •	1110	1010	1515	1315	1990
1300				650 •	630 •	960	850	1265	1110	1680
1400					555	835	745 •	1110	975	1465
1500						600 •	655 •	985	850 •	1265
1600						445 •	525 •	710 •	670 •	1050
1700						340	405	545 •	545 •	820 •
1800								440 •	455 •	655 •
1900								350	360	524 •
2000								295	300	440 •
Kg/m ²	16,14	21,50	18,99	25,68	21,84	29,87	24,69	34,06	27,54	38,25

■ F ≤ 0,4 cm ■ F ≤ 1,0 cm ■ F ≤ 1/200 cm ■ F Excess

• Recomendado para peões | • Recommended for staff passage | • Recommandée pour le passage de personnel

Tabelas de carga | Load tables | Tabellen de resistance

QUADRÍCULA METÁLICA | GRATING | CALLEBOTIS

CARGA CONCENTRADA
CONCENTRATED LOAD
CHARGE CONCENTRÉE
Kg/m² (1000mm)

Barra portante Bearing bars Barres de roulement	Malha Mesh Maille: 34X38 / 34X65 / 34X105										
	20 x 2	20 x 3	25 x 2	25 x 3	30 x 2	30 x 3	35 x 2	35 x 3	40 x 2	40 x 3	
Distância entre suportes em mm Distance between supports in mm Distance entre appuis en mm	500	495	675	710	1060	1010	1525 •	1385	2075 •	1810 •	2705 •
	600	415	565	585	885	850	1270	1150	1730 •	1505 •	2260 •
	700	370	485	505	760	730	1090	985	1480	1290	1940 •
	800	295	380	440	660	635	950	860	1295	1130	1690 •
	900		305	395	585	565	850	770	1150	1005	1505
	1000		245	320	475	505	765	685	1035	905	1355
	1100		205	265	390	455	675	625	940	820	1235
	1200				330	380	565	575	860	755	1125
	1300				280	325	485	515	770	690	1040
	1400				245	280	415	445	665	640	965
	1500					245	365	385	580	580	865
	1600						320	330	510	505	760
	1700						285	305	455	450	670
	1800								405	405	605
	1900								365	363	540
	2000								325	325	485
Kg/m ²	16,14	21,50	18,99	25,68	21,84	29,87	24,69	34,06	27,54	38,25	

■ F ≤ 0,4 cm ■ F ≤ 1,0 cm □ F Excess

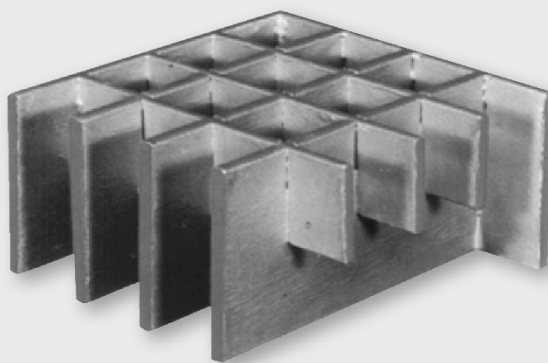
• Recomendado para automóveis | • Recommended for car passage | • Reconnue pour le passage de voiture

Grandes cargas | Heavy loads | Grand effort

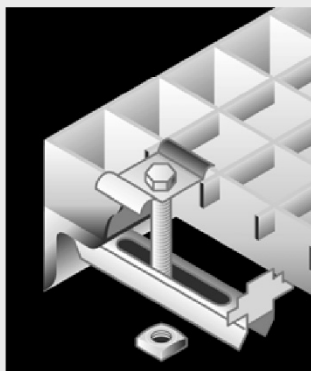
Fornecidos sob pedido, são concebidas para suportar grandes cargas. Podem fornecer-se em espessuras de até 12mm e altura barra 180mm.

Supplied under request, are conceived to bear heavy loads. Can be produced until maximum thickness of 12mm and depth up to 180mm.

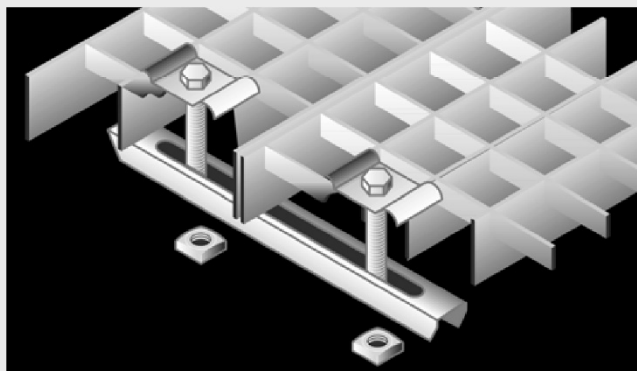
Son fornís sur demand, son conclues de soutenir les charges lourdes. Son produits avec une epaisseur maxime à 12mm et une auture de 180mm.



Grampos de fixação | Anchor pieces | Pieces fixation




Fixação standard
Standard fix
Fixacion standard



Dupla fixação
Double fix
Double fixation

Disponibilidade stock | Stock availability | Disponible sur stock

MALHA | MESH | MAILLE: 34X38

			30 x 2 Ø 5	30 x 3 Ø 5
	L	H		
Painéis Panels Panneaux	200	1000	•	•
	250	1000	•	
	300	1000	•	•
	400	1000	•	
	500	1000	•	•
	600	1000	•	•
	700	1000	•	•
	800	1000	•	•
	900	1000	•	•
	1000	1000	•	•
	2000	1000	•	•
Degraus Stairtreads Étapes	600	230	•	
	700	230	•	•
	800	265	•	
	900	265	•	•
	1000	265	•	




Em | ln | En: mm

QUADRÍCULA METÁLICA | GRATING | CALLEBOTIS

ANEXO XIX – Ficha Técnica HILTI - HY200-A HIT-V



Hilti HIT-HY 200 com HIT-V

Sistema de Injeção de Químico	Vantagens
 <p>Hilti HIT-HY 200-A (disponível em cartuchos de 330 e 500 ml)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Adequado para betão fendilhado e não fendilhado C 20/25 a C 50/60 - Adequado para betão seco e saturado de água - Grande capacidade de carga, boa performance e cura rápida - Distâncias pequenas ao bordo e entre ancoragens possíveis - Utilização com grandes diâmetros - Temperatura de serviço até 120°C curto prazo/ 72°C longo prazo - Limpeza manual do furo até diâmetro 20mm e $h_{ef} \leq 10d$ apenas para betão não fendilhado - Gama de embebedimento: entre 60 .. 160 mm para M8 entre 120 .. 600 mm para M30 - Duas versões (Hilti HIT-HY 200-A e Hilti HIT-HY 200-R) disponíveis, com tempos de cura diferentes e o mesmo comportamento
 <p>Hilti HIT-HY 200-R (disponível em cartuchos de 330 e 500 ml)</p>	
 <p>Misturador estático</p>	
 <p>HIT-V HIT-V-R HIT-V-HCR</p>	



Betão



Zona tracionada



Pequenas dist. ao bordo e fix.



Profund. emb. variável



Resistência à corrosão



Grande resistência à corrosão



Aprovação Técnica Europeia



Marcação CE



PROFIS Software Ancoragens Hilti

Homologações / Certificados

Descrição	Entidade / Laboratório	No. / data de missão
Aprovação Técnica Europeia ^{a)}	DIBt, Berlin	ETA-11/0493 / 2012-08-08 (Hilti HIT-HY 200-A) ETA-12/0084 / 2012-08-08 (Hilti HIT-HY 200-R)
Relatório de Resistência ao Fogo	IBMB, Brunswick	3501/676/13 / 2012-08-03

a) Todos os dados técnicos apresentados nesta secção estão de acordo com a ETA-11/0493 e ETA-12/0084, emitido 2012-08-08.



Valores resistentes de referência (para uma fixação isolada)

Todos os dados nesta secção aplicam-se para (Para mais informações consultar Método de Dimensionamento Simplificado)

- Correta instalação (ver sequência de instalação)
- Sem influências de bordos e espaçamentos entre fixações
- *Rutura do aço*
- Espessura do material base conforme especificado na tabela abaixo
- Uma profundidade de embhecimento típica conforme especificado na tabela abaixo
- O material da ancoragem, conforme especificado abaixo
- Betão C 20/25, $f_{ck,cube} = 25 \text{ N/mm}^2$
- Gama de temperaturas I
(temperatura min. do material base: -40°C ; temperatura max. do material base a longo/curto prazo: $+24^\circ\text{C}/40^\circ\text{C}$)
- Gama de temperatura de instalação -10°C to $+40^\circ\text{C}$

Profundidade de embhecimento^{a)} e espessura do material base para valores resistentes de referência. Resistência última média, resistência característica, resistência de cálculo, cargas recomendadas.

Diâmetro da ancoragem	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Profundidade embhecimento típica h_{ef} [mm]	80	90	110	125	170	210	240	270
Espessura do material base h [mm]	110	120	140	165	220	270	300	340

a) A gama de profundidade de embhecimento permitida é apresentada nos detalhes de instalação. Os valores de carga correspondentes podem ser calculados de acordo com o método de dimensionamento simplificado.

Resistência última média: Betão C 20/25 , fixação HIT-V 5.8

Diâmetro da ancoragem	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Betão não fendilhado								
Tração $N_{Ru,m}$ HIT-V 5.8 [kN]	18,9	30,5	44,1	83,0	129,2	185,9	241,5	295,1
Corte $V_{Ru,m}$ HIT-V 5.8 [kN]	9,5	15,8	22,1	41,0	64,1	92,4	120,8	147,0
Betão fendilhado								
Tração $N_{Ru,m}$ HIT-V 5.8 [kN]	16,0	22,5	44,0	66,7	105,9	145,4	177,7	212,0
Corte $V_{Ru,m}$ HIT-V 5.8 [kN]	9,5	15,8	22,1	41,0	64,1	92,4	120,8	147,0

Resistência característica: Betão C 20/25 , fixação HIT-V 5.8

Diâmetro da ancoragem	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Betão não fendilhado								
Tração N_{Rk} HIT-V 5.8 [kN]	18,0	29,0	42,0	70,6	111,9	153,7	187,8	224,0
Corte V_{Rk} HIT-V 5.8 [kN]	9,0	15,0	21,0	39,0	61,0	88,0	115,0	140,0
Betão fendilhado								
Tração N_{Rk} HIT-V 5.8 [kN]	12,1	17,0	33,2	50,3	79,8	109,6	133,9	159,7
Corte V_{Rk} HIT-V 5.8 [kN]	9,0	15,0	21,0	39,0	61,0	88,0	115,0	140,0

**Resistência de cálculo: Betão C 20/25 , fixação HIT-V 5.8**

Diâmetro da ancoragem			M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Betão não fendilhado										
Tração N_{Rd}	HIT-V 5.8	[kN]	12,0	19,3	28,0	39,2	62,2	85,4	104,3	124,5
Corte V_{Rd}	HIT-V 5.8	[kN]	7,2	12,0	16,8	31,2	48,8	70,4	92,0	112,0
Betão fendilhado										
Tração N_{Rd}	HIT-V 5.8	[kN]	6,7	9,4	18,4	27,9	44,3	60,9	74,4	88,7
Corte V_{Rd}	HIT-V 5.8	[kN]	7,2	12,0	16,8	31,2	48,8	70,4	92,0	112,0

Cargas recomendadas ^{a)}: Betão C 20/25 , fixação HIT-V 5.8

Diâmetro da ancoragem			M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Betão não fendilhado										
Tração N_{rec}	HIT-V 5.8	[kN]	8,6	13,8	20,0	28,0	44,4	61,0	74,5	88,9
Corte V_{rec}	HIT-V 5.8	[kN]	5,1	8,6	12,0	22,3	34,9	50,3	65,7	80,0
Betão fendilhado										
Tração N_{rec}	HIT-V 5.8	[kN]	4,8	6,7	13,2	19,9	31,7	43,5	53,1	63,4
Corte V_{rec}	HIT-V 5.8	[kN]	5,1	8,6	12,0	22,3	34,9	50,3	65,7	80,0

a) Coeficiente de segurança parcial para ações $\gamma = 1,4$. O coeficiente de segurança parcial para ações depende do tipo de carga e deve ser retirado dos regulamentos nacionais.

Gama de temperatura de serviço

Hilti HIT-HY 200 pode ser aplicado dentro das gamas de temperatura abaixo indicadas. Uma temperatura elevada do material base pode levar a uma redução da resistência de cálculo de aderência.

Gama de temperatura	Temperatura do material base	Temperatura max. do material base a longo prazo	Temperatura max. do material base a curto prazo
Gama de temperatura I	-40 °C to +40 °C	+24 °C	+40 °C
Gama de temperatura II	-40 °C to +80 °C	+50 °C	+80 °C
Gama de temperatura III	-40 °C to +120 °C	+72 °C	+120 °C

Temperatura max. do material base a curto prazo

As elevadas temperaturas do material base a curto prazo são as que ocorrem durante breves intervalos, por exemplo, como resultado de ciclos diurnos.

Temperatura max. do material base a longo prazo

As elevadas temperaturas do material base a longo prazo são relativamente constantes durante períodos de tempo significativos.



Materiais

Propriedades mecânicas de HIT-V

Diâmetro da ancoragem			M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Tensão de rutura nominal f_{uk}	HIT-V 5.8	[N/mm ²]	500	500	500	500	500	500	500	500
	HIT-V 8.8	[N/mm ²]	800	800	800	800	800	800	800	800
	HIT-V-R	[N/mm ²]	700	700	700	700	700	700	500	500
	HIT-V-HCR	[N/mm ²]	800	800	800	800	800	700	700	700
Tensão de cedência f_{yk}	HIT-V 5.8	[N/mm ²]	400	400	400	400	400	400	400	400
	HIT-V 8.8	[N/mm ²]	640	640	640	640	640	640	640	640
	HIT-V-R	[N/mm ²]	450	450	450	450	450	450	210	210
	HIT-V-HCR	[N/mm ²]	640	640	640	640	640	400	400	400
Secção de corte A_s	HIT-V	[mm ²]	36,6	58,0	84,3	157	245	353	459	561
Momento resistente W	HIT-V	[mm ³]	31,2	62,3	109	277	541	935	1387	1874

Qualidade do material

Parte	Material
Varão Roscado HIT-V(F)	Classe 5.8, $A_5 > 8\%$ dúctil Galvanizado $\geq 5 \mu\text{m}$, (F) galvanizado a quente $\geq 45 \mu\text{m}$,
Varão Roscado HIT-V(F)	Classe 8.8, $A_5 > 8\%$ dúctil Galvanizado $\geq 5 \mu\text{m}$, (F) galvanizado a quente $\geq 45 \mu\text{m}$,
Varão Roscado HIT-V-R	Aço inoxidável de classe A4, $A_5 > 8\%$ dúctil Classe 70 para $\leq M24$ e classe 50 para M27 a M30, 1.4401; 1.4404; 1.4578; 1.4571; 1.4439; 1.4362
Varão Roscado HIT-V-HCR	Aço com elevada resistência à corrosão, 1.4529; 1.4565 classe $\leq M20$: $R_m = 800 \text{ N/mm}^2$, $R_{p0.2} = 640 \text{ N/mm}^2$, $A_5 > 8\%$ dúctil M24 a M30: $R_m = 700 \text{ N/mm}^2$, $R_{p0.2} = 400 \text{ N/mm}^2$, $A_5 > 8\%$ dúctil
Anilha ISO 7089	Galvanizado, galvanizado a quente, Aço inoxidável, 1.4401; 1.4404; 1.4578; 1.4571; 1.4439; 1.4362 Aço com elevada resistência à corrosão, 1.4529; 1.4565
Porca EN ISO 4032	Classe 8, Galvanizado $\geq 5 \mu\text{m}$, galvanizado a quente $\geq 45 \mu\text{m}$, Classe 70, Aço inoxidável de Classe A4, 1.4401; 1.4404; 1.4578; 1.4571; 1.4439; 1.4362 Classe 70, Aço com elevada resistência à corrosão, 1.4529; 1.4565

Dimensões da ancoragem

Diâmetro da ancoragem	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30	
Varão HIT-V, HIT-V-R, HIT-V-HCR	Varões HIT-V (-R / -HCR) disponíveis em vários comprimentos								



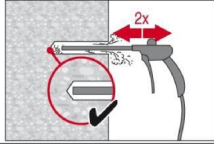
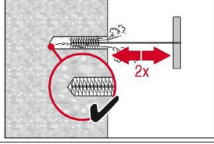
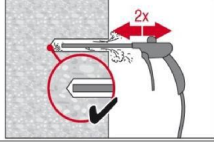
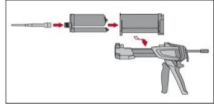
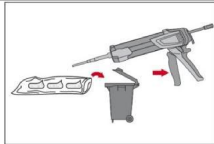
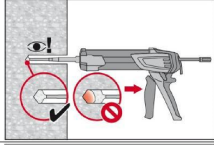
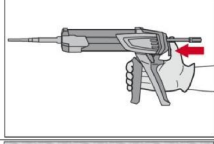
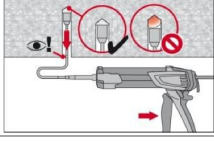
Instalação

Equipamento de instalação

Diâmetro da ancoragem	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Martelo perfurador (com percussão)	TE 2 – TE 16				TE 40 – TE 70			
Outro equipamento	pistola de ar comprimido ou bomba de limpeza, conjunto de escovas de limpeza, dispensador							

Sequência de instalação

Execução do furo	
	Executar o furo com a profundidade de embebimento necessária com recurso a broca Hilti TE-CD ou Broca oca TE-YD e aspirador Hilti. Este método limpa o pó do furo corretamente durante a execução do furo. Depois de feita a perfuração, avançar para o passo "Preparação da injeção".
	Executar o furo com a profundidade necessária de perfuração com recurso a um Martelo perfurador (com percussão) usando uma broca de tamanho adequado.
Limpeza do furo Antes de instalar a ancoragem, o furo deverá estar livre de pó e detritos.	
a) Limpeza Manual (MC) Betão não fendilhado apenas para furos de diâmetro $d_0 \leq 20\text{mm}$ e profundidade $h_0 \leq 10d$	
	Os foles de limpeza Hilti podem ser usados para limpeza de furos para diâmetros até $d_0 \leq 20\text{ mm}$ e profundidade de embebimento até $h_{ef} \leq 10d$. Sopre pelo menos 4 vezes do fim do furo até que o ar que sair esteja livre de pó visível
	Escove 4 vezes com a escova circular de tamanho correto, inserindo o escovilhão de aço Hilti HIT-RB até ao fundo do furo (usar extensão se necessário) num movimento rotatório e retire-o. A escova deverá ter atrito ao entrar no furo, se isto não acontecer significa que o tamanho é pequeno de mais e deverá ser substituída pelo tamanho correto.
	Sopre outra vez com o fole de limpeza pelo menos 4 vezes do fim do furo até que o ar que sair esteja livre de pó visível.

<p>b) Limpeza por ar comprimido (CAC) para todos os diâmetros de furo e comprimentos h₀</p>	
	<p>Sobre 2 vezes do fundo do furo (usar extensão se necessário) ao longo de todo o seu comprimento com pistola de ar comprimido sem óleo (min. 6 bar a 6 m³/h) até que o ar que sair esteja livre de pó visível. Para diâmetro de furo ≥ 32 mm o compressor deverá debitar um caudal mínimo 140 m³/h.</p>
	<p>Escove 2 vezes com a escova circular de tamanho correto, inserindo o escovilhão de aço Hilti HIT-RB até ao fundo do furo (usar extensão se necessário) num movimento rotatório e retire-o. A escova deverá ter atrito ao entrar no furo, se isto não acontecer significa que o tamanho é pequeno de mais e deverá ser substituída pelo tamanho correto.</p>
	<p>Sobre outra vez com a pistola de ar comprimido pelo menos 2 vezes até que o ar que sair esteja livre de pó visível.</p>
<p>Preparação da injeção</p>	
	<p>Roscar bem o misturador HIT-RE-M ao cartucho de químico. Não modificar o misturador. Observar as instruções de utilização do dispensador. Verifique o cartucho para uma correta utilização, não utilizar cartuchos/cassetes danificadas. Introduza a cassette com o cartucho de químico no dispensador HIT.</p>
	<p>Descartar o químico inicial. O cartucho abre automaticamente assim que a aplicação é iniciada A quantidade inicial de químico que deve ser desperdiçada depende da volumetria do cartucho: 2 gatilhadas para cartucho de 330 ml, 3 gatilhadas para cartucho de 500 ml, 4 gatilhadas para cartucho de 500 ml ≤ 5°C.</p>
<p>Injetar o químico do fundo do furo para o início para evitar bolhas de ar</p>	
	<p>Injetar o químico começando no fundo do furo, subindo com o dispensador devagar em cada gatilhada. Encher os furos com o volume químico correspondente a 2/3 do volume do furo, ou com o volume suficiente para assegurar que o espaço anular entre o varão e o furo é completamente preenchido em todo o seu comprimento.</p>
	<p>Depois de finalizada a aplicação, despressurize o dispensador pressionando o travão. Isso prevenirá a saída de químico.</p>
	<p>Aplicações ao teto e/ou com profundidade de embebimento h_{er} > 250mm. Para aplicações ao teto a aplicação só é possível com o auxílio de tubo extensor e pistão de injeção. Colocar o misturador HIT-RE-M, tubo extensor e pistão HIT-SZ. Inserir o pistão no fundo do furo e injetar o químico. Durante a injeção o pistão vai sendo extraído do furo automaticamente devido à pressão interna do químico.</p>



Aplicação do varão	
	Antes de aplicar, verificar que o varão está seco e livre de óleos e contaminantes. Inserir o varão até à profundidade de embebedimento necessária dentro do tempo de manipulação (t_{work}).
	Para aplicação ao teto usar cunhas de madeira ou sistema semelhante
	Carregar a ancoragem: Após o tempo de cura necessário t_{cure} a ancoragem pode ser carregada. O binário de aperto não deverá ser superior a T_{max} .

Consultar instruções na caixa do produto para informação detalhada sobre a instalação.

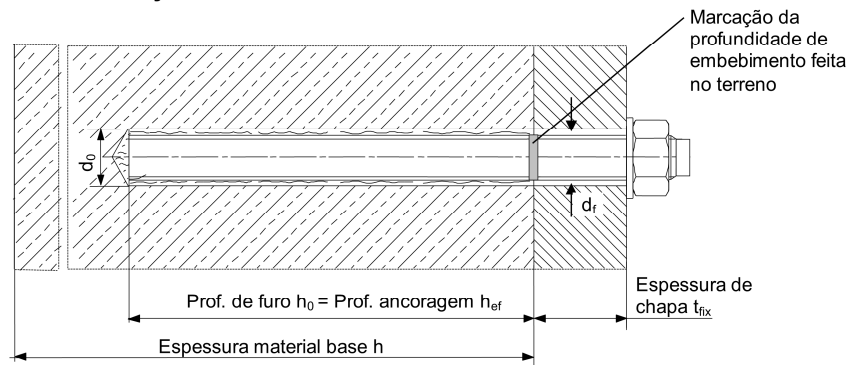
Tempo de manipulação, tempo de cura

Temperatura do material base	Hilti HIT-HY 200-R	
	Tempo de manipulação durante o qual a fixação pode ser introduzida e ajustada t_{work}	Tempo de cura necessário para a fixação poder receber a carga total t_{cure}
-10 °C a -5 °C	3 h	20 h
-4 °C a 0 °C	2 h	7 h
1 °C a 5 °C	1 h	3 h
6 °C a 10 °C	40 min	2 h
11 °C a 20 °C	15 min	1 h
21 °C a 30 °C	9 min	1 h
31 °C a 40 °C	6 min	1 h

Temperatura do material base	Hilti HIT-HY 200-A	
	Tempo de manipulação durante o qual a fixação pode ser introduzida e ajustada t_{work}	Tempo de cura necessário para a fixação poder receber a carga total t_{cure}
-10 °C a -5 °C	1,5 h	7 h
-4 °C a 0 °C	50 min	4 h
1 °C a 5 °C	25 min	2 h
6 °C a 10 °C	15 min	1 h
11 °C a 20 °C	7 min	30 min
21 °C a 30 °C	4 min	30 min
31 °C a 40 °C	3 min	30 min



Detalhes de instalação





Detalhes de instalação

Diâmetro da ancoragem		M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Diâmetro nominal da broca	d_0 [mm]	10	12	14	18	22	28	30	35
Gama de profundidade efetiva do furo e da ancoragem ^{a)} para HIT-V	$h_{ef,min}$ [mm]	60	60	70	80	90	96	108	120
	$h_{ef,max}$ [mm]	160	200	240	320	400	480	540	600
Espessura mínima do material base	h_{min} [mm]	$h_{ef} + 30$ mm			$h_{ef} + 2 d_0$				
Diâmetro do furo na chapa	d_f [mm]	9	12	14	18	22	26	30	33
Binário de aperto	$T_{max}^{b)}$ [Nm]	10	20	40	80	150	200	270	300
Espaçamento mínimo	s_{min} [mm]	40	50	60	80	100	120	135	150
Distância ao bordo mínima	c_{min} [mm]	40	50	60	80	100	120	135	150
Espaçamento crítico para rutura por fendilhação	$s_{cr,sp}$	$2 c_{cr,sp}$							
Distância crítica ao bordo para rutura por fendilhação ^{c)}	$c_{cr,sp}$ [mm]	$1,0 \cdot h_{ef}$ para $h / h_{ef} \geq 2,0$							
		$4,6 h_{ef} - 1,8 h$ para $2,0 > h / h_{ef} > 1,3$							
		$2,26 h_{ef}$ para $h / h_{ef} \leq 1,3$							
Espaçamento crítico para rutura por cone de betão	$s_{cr,N}$ [mm]	$2 c_{cr,N}$							
Distância crítica ao bordo para rutura por cone de betão ^{d)}	$c_{cr,N}$ [mm]	$1,5 h_{ef}$							

As resistências de cálculo devem ser reduzidas para distâncias ao bordo e espaçamentos menores do que os valores críticos.

- a) Gama de embecimento: $h_{ef,min} \leq h_{ef} \leq h_{ef,max}$
- b) Este é o torque de aperto máximo recomendado para evitar a rutura por fendilhação durante a instalação para fixações com distância ao bordo e/ou espaçamento mínimo.



- c) h : Espessura do material base ($h \geq h_{min}$), h_{ef} : profundidade de embhecimento
- d) A distância crítica ao bordo para rutura por cone de betão depende da profundidade de embhecimento h_{ef} e da resistência de cálculo de aderência. A fórmula simplificada que se apresenta nesta tabela encontra-se no lado da segurança.

Método de dimensionamento simplificado

Versão simplificada do método de dimensionamento de acordo com o ETAG 001, TR 029. Resistência de cálculo de acordo com os dados apresentados na ETA-11/0493 emitida 2012-08-08 para HIT-HY 200-A e ETA-12/0084 emitida 2012-08-08 para HIT-HY 200-R. Ambos possuem uma performance a cargas idêntica.

- Influência da Classe do betão
- Influência da distância ao bordo
- Influência do espaçamento
- Válido para um grupo de duas ancoragens. (O método também pode ser aplicado para grupos de ancoragens com mais de duas ancoragens ou mais do que uma distância ao bordo. Os fatores de influência devem ser considerados para cada distância ao bordo e espaçamento. Como tal, os valores das resistências de cálculo são conservadores: serão inferiores aos valores exatos apresentados no ETAG 001, TR 029. Para evitar isso, é recomendado usar o software de dimensionamento PROFIS Anchor).

Este método de dimensionamento é baseado na seguinte simplificação:

- Não existe atuação de cargas diferentes em diferentes ancoragens individuais (sem excentricidade)

Os valores são válidos para uma ancoragem.

Para aplicações de fixação mais complexas, utilizar o software de dimensionamento PROFIS Anchor.

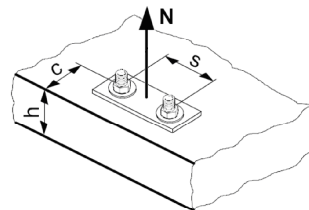
Tração

A resistência de cálculo de tração é a menor de:

- Resistência do aço: $N_{Rd,s}$
- Resistência combinada ao arranque e do cone de betão:

$$N_{Rd,p} = N_{Rd,p}^0 \cdot f_{B,p} \cdot f_{1,N} \cdot f_{2,N} \cdot f_{3,N} \cdot f_{h,p} \cdot f_{re,N}$$
- Resistência do cone de betão: $N_{Rd,c} = N_{Rd,c}^0 \cdot f_B \cdot f_{1,N} \cdot f_{2,N} \cdot f_{3,N} \cdot f_{h,N} \cdot f_{re,N}$
- Resistência do betão à fendilhação (apenas betão não fendilhado):

$$N_{Rd,sp} = N_{Rd,c}^0 \cdot f_B \cdot f_{1,sp} \cdot f_{2,sp} \cdot f_{3,sp} \cdot f_{h,N} \cdot f_{re,N}$$



Resistência de cálculo básica à tração

Resistência de cálculo do aço $N_{Rd,s}$

Diâmetro da ancoragem		M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
$N_{Rd,s}$	HIT-V 5.8 [kN]	12,0	19,3	28,0	52,7	82,0	118,0	153,3	187,3
	HIT-V 8.8 [kN]	19,3	30,7	44,7	84,0	130,7	188,0	244,7	299,3
	HIT-V-R [kN]	13,9	21,9	31,6	58,8	92,0	132,1	80,4	98,3
	HIT-V-HCR [kN]	19,3	30,7	44,7	84,0	130,7	117,6	152,9	187,1



Cálculo de resistência combinada ao arranque e do cone de betão

$$N_{Rd,p} = N_{Rd,p}^0 \cdot f_{B,p} \cdot f_{1,N} \cdot f_{2,N} \cdot f_{3,N} \cdot f_{h,p} \cdot f_{re,N}$$

Diâmetro da ancoragem	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Profundidade embecimento típica $h_{ef} = h_{ef,typ}$ [mm]	80	90	110	125	170	210	240	270
Betão não fendilhado								
$N_{Rd,p}^0$ Gama de temperatura I [kN]	22,3	31,4	46,1	69,8	118,7	175,9	169,6	212,1
$N_{Rd,p}^0$ Gama de temperatura II [kN]	19,0	26,7	39,2	59,3	100,9	149,5	135,7	169,6
$N_{Rd,p}^0$ Gama de temperatura III [kN]	15,6	22,0	32,3	48,9	83,1	123,2	124,4	155,5
Betão fendilhado								
$N_{Rd,p}^0$ Gama de temperatura I [kN]	6,7	9,4	18,4	27,9	47,5	70,4	90,5	113,1
$N_{Rd,p}^0$ Gama de temperatura II [kN]	5,0	7,1	15,0	22,7	38,6	57,2	73,5	91,9
$N_{Rd,p}^0$ Gama de temperatura III [kN]	4,5	6,3	12,7	19,2	32,6	48,4	62,2	77,8

Resistência de cálculo do cone de betão $N_{Rd,c} = N_{Rd,c}^0 \cdot f_B \cdot f_{1,N} \cdot f_{2,N} \cdot f_{3,N} \cdot f_{h,N} \cdot f_{re,N}$

Resistência de cálculo à fendilhação ^{a)} $N_{Rd,sp} = N_{Rd,c}^0 \cdot f_B \cdot f_{1,sp} \cdot f_{2,sp} \cdot f_{3,sp} \cdot f_{h,N} \cdot f_{re,N}$

Diâmetro da ancoragem	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
$N_{Rd,c}^0$ Betão não fendilhado [kN]	20,1	24,0	32,4	39,2	62,2	85,4	104,3	124,5
$N_{Rd,c}^0$ Betão fendilhado [kN]	14,3	17,1	23,1	28,0	44,3	60,9	74,4	88,7

a) Resistência à fendilhação só deve ser considerada em betão não fendilhado.

Fatores de influência

Influência da Classe do betão na resistência combinada ao arranque e do cone de betão

Classe do betão (ENV 206)	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
$f_{B,p} =$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Influência da profundidade de embecimento na Resistência combinada ao arranque e do cone de betão

$$f_{h,p} = h_{ef}/h_{ef,typ}$$

Influência da Classe do betão na resistência do cone de betão

Classe do betão (ENV 206)	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
$f_B = (f_{ck,cube}/25N/mm^2)^{0,5}$ ^{a)}	1	1,1	1,22	1,34	1,41	1,48	1,55

a) $f_{ck,cube}$ = Resistência à compressão do betão, medida em cubos com 150 mm de comprimento de aresta



Influência da distância ao bordo ^{a)}

$c/c_{cr,N}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$c/c_{cr,sp}$										
$f_{1,N} = 0,7 + 0,3 \cdot c/c_{cr,N} \leq 1$	0,73	0,76	0,79	0,82	0,85	0,88	0,91	0,94	0,97	1
$f_{1,sp} = 0,7 + 0,3 \cdot c/c_{cr,sp} \leq 1$										
$f_{2,N} = 0,5 \cdot (1 + c/c_{cr,N}) \leq 1$	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1
$f_{2,sp} = 0,5 \cdot (1 + c/c_{cr,sp}) \leq 1$										

a) A distância ao bordo não deve ser inferior à distância mínima ao bordo c_{min} apresentada na tabela de detalhe de instalação. Estes fatores de influência da distância ao bordo devem ser considerados para ambas as distâncias ao bordo inferiores à distância crítica ao bordo.

Influência do espaçamento entre fixações ^{a)}

$s/s_{cr,N}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$s/s_{cr,sp}$										
$f_{3,N} = 0,5 \cdot (1 + s/s_{cr,N}) \leq 1$	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1
$f_{3,sp} = 0,5 \cdot (1 + s/s_{cr,sp}) \leq 1$										

a) O espaçamento entre fixações não deve ser inferior ao espaçamento mínimo s_{min} apresentado na tabela de detalhes de instalação. Estes fatores influentes devem ser considerados para todos os espaçamentos entre fixações.

Influência da profundidade de embebedimento na resistência do cone de betão

$$f_{h,N} = (h_{ef}/h_{ef,typ})^{1,5}$$

Influência da armadura existente

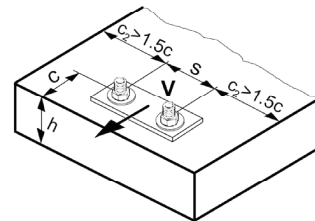
h_{ef} [mm]	60	70	80	90	≥ 100
$f_{re,N} = 0,5 + h_{ef}/200mm \leq 1$	0,8 ^{a)}	0,85 ^{a)}	0,9 ^{a)}	0,95 ^{a)}	1

a) Este fator aplica-se apenas para elevadas densidades de armadura. Se na área da ancoragem existir armadura com um espaçamento ≥ 150 mm (qualquer diâmetro) ou com um diâmetro ≤ 10 mm e um espaçamento ≥ 100 mm, poderá ser aplicado o fator $f_{re,N} = 1$.

Corte

A resistência de cálculo de corte é a menor de:

- Resistência do aço: $V_{Rd,s}$
- Resistência do betão ao destacamento (pry-out): $V_{Rd,cp} = k \cdot$
menor valor de $N_{Rd,p}$ e $N_{Rd,c}$
- Resistência do bordo do betão: $V_{Rd,c} = V_{Rd,c}^0 \cdot f_B \cdot f_{B'} \cdot f_h \cdot f_4 \cdot f_{ref} \cdot f_c$



Resistência de cálculo básica ao corte



Resistência de cálculo do aço $V_{Rd,s}$

Diâmetro da ancoragem		M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
$V_{Rd,s}$	HIT-V 5.8 [kN]	7,2	12,0	16,8	31,2	48,8	70,4	92,0	112,0
	HIT-V 8.8 [kN]	12,0	18,4	27,2	50,4	78,4	112,8	147,2	179,2
	HIT-V-R [kN]	8,3	12,8	19,2	35,3	55,1	79,5	48,3	58,8
	HIT-V-HCR [kN]	12,0	18,4	27,2	50,4	78,4	70,9	92,0	110,3

Resistência de cálculo do betão ao destacamento (pry-out) $V_{Rd,cp}$ = menor valor^{a)} de $k \cdot N_{Rd,p}$ e $k \cdot N_{Rd,c}$

$$k = 2$$

a) $N_{Rd,p}$: Cálculo de resistência combinada ao arranque e do cone de betão, $N_{Rd,c}$: Resistência de cálculo do cone de betão

Resistência de cálculo do bordo do betão $V_{Rd,c} = V_{Rd,c}^0 \cdot f_B \cdot f_\beta \cdot f_h \cdot f_4 \cdot f_{hef} \cdot f_c$

Diâmetro da ancoragem		M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Betão não fendilhado									
$V_{Rd,c}^0$	[kN]	5,9	8,6	11,6	18,7	27,0	36,6	44,5	53,0
Betão fendilhado									
$V_{Rd,c}^0$	[kN]	4,2	6,1	8,2	13,2	19,2	25,9	31,5	37,5

Fatores de influência

Influência da Classe do betão

Classe do betão (ENV 206)	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
$f_B = (f_{ck,cube}/25N/mm^2)^{1/2}$ a)	1	1,1	1,22	1,34	1,41	1,48	1,55

a) $f_{ck,cube}$ = Resistência à compressão do betão, medida em cubos com 150 mm de comprimento de aresta

Influência do ângulo entre a direção da carga e a direção perpendicular ao bordo livre

Ângulo β	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	$\geq 90^\circ$
$f_\beta = \frac{1}{\sqrt{(\cos \alpha_r)^2 + \left(\frac{\sin \alpha_r}{2,5}\right)^2}}$	1	1,01	1,05	1,13	1,24	1,40	1,64	1,97	2,32	2,50

Influência da espessura do material base

h/c	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35	$\geq 1,5$
$f_h = \{h/(1,5 \cdot c)\}^{1/2} \leq 1$	0,32	0,45	0,55	0,63	0,71	0,77	0,84	0,89	0,95	1,00



Influência do espaçamento entre fixações e a distância ao bordo ^{a)} para a resistência do bordo do: f_4

$$f_4 = (c/h_{ef})^{1,5} \cdot (1 + s / [3 \cdot c]) \cdot 0,5$$

c/h _{ef}	Ancoragem isolada	Grupo de duas ancoragens s/h _{ef}														
		0,75	1,50	2,25	3,00	3,75	4,50	5,25	6,00	6,75	7,50	8,25	9,00	9,75	10,50	11,25
0,50	0,35	0,27	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
0,75	0,65	0,43	0,54	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
1,00	1,00	0,63	0,75	0,88	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,25	1,40	0,84	0,98	1,12	1,26	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
1,50	1,84	1,07	1,22	1,38	1,53	1,68	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84
1,75	2,32	1,32	1,49	1,65	1,82	1,98	2,15	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32
2,00	2,83	1,59	1,77	1,94	2,12	2,30	2,47	2,65	2,83	2,83	2,83	2,83	2,83	2,83	2,83	2,83
2,25	3,38	1,88	2,06	2,25	2,44	2,63	2,81	3,00	3,19	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38
2,50	3,95	2,17	2,37	2,57	2,77	2,96	3,16	3,36	3,56	3,76	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
2,75	4,56	2,49	2,69	2,90	3,11	3,32	3,52	3,73	3,94	4,15	4,35	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56
3,00	5,20	2,81	3,03	3,25	3,46	3,68	3,90	4,11	4,33	4,55	4,76	4,98	5,20	5,20	5,20	5,20
3,25	5,86	3,15	3,38	3,61	3,83	4,06	4,28	4,51	4,73	4,96	5,18	5,41	5,63	5,86	5,86	5,86
3,50	6,55	3,51	3,74	3,98	4,21	4,44	4,68	4,91	5,14	5,38	5,61	5,85	6,08	6,31	6,55	6,55
3,75	7,26	3,87	4,12	4,36	4,60	4,84	5,08	5,33	5,57	5,81	6,05	6,29	6,54	6,78	7,02	7,26
4,00	8,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75
4,25	8,76	4,64	4,90	5,15	5,41	5,67	5,93	6,18	6,44	6,70	6,96	7,22	7,47	7,73	7,99	8,25
4,50	9,55	5,04	5,30	5,57	5,83	6,10	6,36	6,63	6,89	7,16	7,42	7,69	7,95	8,22	8,49	8,75
4,75	10,35	5,45	5,72	5,99	6,27	6,54	6,81	7,08	7,36	7,63	7,90	8,17	8,45	8,72	8,99	9,26
5,00	11,18	5,87	6,15	6,43	6,71	6,99	7,27	7,55	7,83	8,11	8,39	8,66	8,94	9,22	9,50	9,78
5,25	12,03	6,30	6,59	6,87	7,16	7,45	7,73	8,02	8,31	8,59	8,88	9,17	9,45	9,74	10,02	10,31
5,50	12,90	6,74	7,04	7,33	7,62	7,92	8,21	8,50	8,79	9,09	9,38	9,67	9,97	10,26	10,55	10,85

a) O Espaçamento entre fixações e a distância ao bordo não podem ser inferiores ao espaçamento mínimo entre fixações s_{min} e à distância mínima ao bordo c_{min} .

Influência da profundidade de embhecimento

h _{ef} /d	4	4,5	5	6	7	8	9	10	11
$f_{hef} = 0,05 \cdot (h_{ef} / d)^{1,68}$	0,51	0,63	0,75	1,01	1,31	1,64	2,00	2,39	2,81
h _{ef} /d	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$f_{hef} = 0,05 \cdot (h_{ef} / d)^{1,68}$	3,25	3,72	4,21	4,73	5,27	5,84	6,42	7,04	7,67

Influência da distância ao bordo ^{a)}

c/d	4	6	8	10	15	20	30	40
$f_c = (d / c)^{0,19}$	0,77	0,71	0,67	0,65	0,60	0,57	0,52	0,50

a) A distância ao bordo não deve ser inferior à distância mínima ao bordo c_{min} .

Carga combinada de tração e corte

Consultar a secção relativa a "Dimensionamento de Ancoragens" para situações de carga combinada de tração e corte.



Valores pré-calculados

- Todos os dados aplicam-se a:
- Betão não fendilhado C 20/25 – $f_{ck,cube} = 25 \text{ N/mm}^2$
 - Gama de temperatura I (ver Gama de temperatura de serviço)
 - Espessura mínima de material base
 - Sem efeito de reforço por armadura densa

Cargas recomendadas podem ser calculadas dividindo a resistência de cálculo por um coeficiente de segurança global para ações $\gamma = 1,4$. O coeficiente de segurança parcial para ações depende do tipo de carga e deve ser retirado dos regulamentos nacionais.

Resistência de cálculo: Betão C 20/25 – $f_{ck,cube} = 25 \text{ N/mm}^2$ - Profundidade mínima de embhecimento

Diâmetro da ancoragem		M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Profundidade de embhecimento $h_{ef} = h_{ef,min}$	[mm]	60	60	70	80	90	96	108	120
Espessura do material base $h = h_{min}$	[mm]	90	90	100	116	138	152	168	190
Tração N_{Rd}: Ancoragem isolada, sem influência de bordo									
Betão não fendilhado									
HIT-V 5.8	[kN]	12,0	13,0	16,4	20,1	24,0	26,4	31,5	36,9
HIT-V 8.8	[kN]	13,0	13,0	16,4	20,1	24,0	26,4	31,5	36,9
HIT-V-R	[kN]	13,0	13,0	16,4	20,1	24,0	26,4	31,5	36,9
HIT-V-HCR	[kN]	13,0	13,0	16,4	20,1	24,0	26,4	31,5	36,9
Betão fendilhado									
HIT-V 5.8 / 8.8	[kN]	5,0	6,3	11,7	14,3	17,1	18,8	22,4	26,3
HIT-V-R / -HCR	[kN]	5,0	6,3	11,7	14,3	17,1	18,8	22,4	26,3
Corte V_{Rd}: Ancoragem isolada, sem influência de bordo, sem braço de binário									
Betão não fendilhado									
HIT-V 5.8	[kN]	7,2	12,0	16,8	31,2	48,8	63,3	75,6	88,5
HIT-V 8.8	[kN]	12,0	18,4	27,2	48,2	57,5	63,3	75,6	88,5
HIT-V-R	[kN]	8,3	12,8	19,2	35,3	55,1	63,3	48,3	58,8
HIT-V-HCR	[kN]	12,0	18,4	27,2	48,2	57,5	63,3	75,6	88,5
Betão fendilhado									
HIT-V 5.8	[kN]	7,2	12,0	16,8	31,2	41,0	45,1	53,9	63,1
HIT-V 8.8	[kN]	12,0	15,1	27,2	34,3	41,0	45,1	53,9	63,1
HIT-V-R	[kN]	8,3	12,8	19,2	34,3	41,0	45,1	48,3	58,8
HIT-V-HCR	[kN]	12,0	15,1	27,2	34,3	41,0	45,1	53,9	63,1

Resistência de cálculo: Betão C 20/25 – $f_{ck,cube} = 25 \text{ N/mm}^2$ - Profundidade mínima de embhecimento

Diâmetro da ancoragem		M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Profundidade de embhecimento $h_{ef} = h_{ef,min}$	[mm]	60	60	70	80	90	96	108	120
Espessura do material base $h = h_{min}$	[mm]	90	90	100	116	134	152	168	190
Distância ao bordo $c = c_{min}$	[mm]	40	50	60	80	100	120	135	150
Tração N_{Rd}: Ancoragem isolada, distância mínima ao bordo ($c = c_{min}$)									
Betão não fendilhado									
HIT-V 5.8 / 8.8	[kN]	7,1	7,8	9,7	12,8	16,5	20,7	24,2	28,9
HIT-V-R / -HCR	[kN]	7,1	7,8	9,7	12,8	16,5	20,7	24,2	28,9

Dimensionamento de uma estrutura metálica de suporte de uma Tela Transportadora de Biomassa



	Betão fendilhado										
	HIT-V 5.8 / 8.8										
	HIT-V-R / -HCR	[kN]	3,0	4,2	8,0	10,7	13,7	16,4	19,5	22,9	
	Corte V_{Rd}: Ancoragem isolada, distância mínima ao bordo (c = c_{min}), sem braço de binário										
	Betão não fendilhado										
	HIT-V 5.8 / 8.8										
HIT-V-R / -HCR	[kN]	3,5	4,9	6,6	10,2	13,9	17,9	21,5	25,9		
Betão fendilhado											
HIT-V 5.8 / 8.8											
HIT-V-R / -HCR	[kN]	2,5	3,5	4,7	7,2	9,9	12,7	15,3	18,3		

Resistência de cálculo: Betão C 20/25 – $f_{ck,cube} = 25 \text{ N/mm}^2$ - Profundidade mínima de embestimento (valores de carga válidos para uma fixação isolada)

Diâmetro da ancoragem		M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Profundidade de embestimento $h_{ef} = h_{ef,min}$	[mm]	60	60	70	80	90	96	108	120
Espessura do material base $h = h_{min}$	[mm]	90	90	100	116	134	152	168	190
Espaçamento $s = s_{min}$	[mm]	40	50	60	80	100	120	135	150
Tração N_{Rd}: duas ancoragens, sem influência de bordo, espaçamento mínimo (s = s_{min})									
Betão não fendilhado									
HIT-V 5.8 / 8.8									
HIT-V-R / -HCR	[kN]	7,7	7,9	10,0	12,6	15,4	17,9	21,2	25,0
Betão fendilhado									
HIT-V 5.8 / 8.8									
HIT-V-R / -HCR	[kN]	3,5	4,4	7,5	9,5	11,7	13,3	15,9	18,6
Corte V_{Rd}: duas ancoragens, sem influência de bordo, espaçamento mínimo (s = s_{min}), sem braço de binário									
Betão não fendilhado									
HIT-V 5.8	[kN]	7,2	12,0	16,8	31,2	39,4	44,9	53,5	62,7
HIT-V 8.8	[kN]	12,0	18,4	25,4	32,1	39,4	44,9	53,5	62,7
HIT-V-R	[kN]	8,3	12,8	19,2	32,1	39,4	44,9	48,3	58,8
HIT-V-HCR	[kN]	12,0	18,4	25,4	32,1	39,4	44,9	53,5	62,7
Betão fendilhado									
HIT-V 5.8 / 8.8									
HIT-V-R / -HCR	[kN]	7,2	9,6	16,8	22,9	28,1	32,0	38,2	44,7



Resistência de cálculo: Betão C 20/25 – $f_{ck,cube} = 25 \text{ N/mm}^2$ - Profundidade embhecimento típica

Diâmetro da ancoragem	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Profundidade de embhecimento $h_{ef} = h_{ef,typ}$ [mm]	80	90	110	125	170	210	240	270
Espessura do material base $h = h_{min}$ [mm]	110	120	140	161	214	266	300	340
Tração N_{Rd}: Ancoragem isolada, sem influência de bordo								
Betão não fendilhado								
HIT-V 5.8 [kN]	12,0	19,3	28,0	39,2	62,2	85,4	104,3	124,5
HIT-V 8.8 [kN]	19,3	24,0	32,4	39,2	62,2	85,4	104,3	124,5
HIT-V-R [kN]	13,9	21,9	31,6	39,2	62,2	85,4	80,4	98,3
HIT-V-HCR [kN]	19,3	24,0	32,4	39,2	62,2	85,4	104,3	124,5
Betão fendilhado								
HIT-V 5.8 / 8.8 [kN]	6,7	9,4	18,4	27,9	44,3	60,9	74,4	88,7
HIT-V-R / -HCR [kN]								
Corte V_{Rd}: Ancoragem isolada, sem influência de bordo, sem braço de binário								
Betão não fendilhado								
HIT-V 5.8 [kN]	7,2	12,0	16,8	31,2	48,8	70,4	92,0	112,0
HIT-V 8.8 [kN]	12,0	18,4	27,2	50,4	78,4	112,8	147,2	179,2
HIT-V-R [kN]	8,3	12,8	19,2	35,3	55,1	79,5	48,3	58,8
HIT-V-HCR [kN]	12,0	18,4	27,2	50,4	78,4	70,9	92,0	110,3
Betão fendilhado								
HIT-V 5.8 [kN]	7,2	12,0	16,8	31,2	48,8	70,4	92,0	112,0
HIT-V 8.8 [kN]	12,0	18,4	27,2	50,4	78,4	112,8	147,2	179,2
HIT-V-R [kN]	8,3	12,8	19,2	35,3	55,1	79,5	48,3	58,8
HIT-V-HCR [kN]	12,0	18,4	27,2	50,4	78,4	70,9	92,0	110,3

Resistência de cálculo: Betão C 20/25 – $f_{ck,cube} = 25 \text{ N/mm}^2$ - Profundidade embhecimento típica

Diâmetro da ancoragem	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Profundidade de embhecimento $h_{ef} = h_{ef,typ}$ [mm]	80	90	110	125	170	210	240	270
Espessura do material base $h = h_{min}$ [mm]	110	120	140	161	214	266	300	340
Distância ao bordo $c = c_{min}$ [mm]	40	50	60	80	100	120	135	150
Tração N_{Rd}: Ancoragem isolada, distância mínima ao bordo ($c = c_{min}$)								
Betão não fendilhado								
HIT-V 5.8 / 8.8 [kN]	9,6	11,6	15,5	19,9	30,5	41,5	50,5	60,0
HIT-V-R / -HCR [kN]								
Betão fendilhado								
HIT-V 5.8 / 8.8 [kN]	3,6	5,2	10,2	16,5	25,2	34,2	41,5	49,3
HIT-V-R / -HCR [kN]								
Corte V_{Rd}: Ancoragem isolada, distância mínima ao bordo ($c = c_{min}$), sem braço de binário								
Betão não fendilhado								
HIT-V 5.8 / 8.8 [kN]	3,7	5,3	7,3	11,5	17,2	23,6	29,0	34,8
HIT-V-R / -HCR [kN]								
Betão fendilhado								
HIT-V 5.8 / 8.8 [kN]	2,6	3,8	5,2	8,1	12,2	16,7	20,5	24,7
HIT-V-R / -HCR [kN]								

Dimensionamento de uma estrutura metálica de suporte de uma Tela Transportadora de Biomassa



Resistência de cálculo: Betão C 20/25 – $f_{ck,cube} = 25 \text{ N/mm}^2$ - Profundidade embhecimento típica (valores de carga válidos para uma fixação isolada)

Diâmetro da ancoragem	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Profundidade de embhecimento $h_{ef} = h_{ef,typ}$ [mm]	80	90	110	125	170	210	240	270
Espessura do material base $h = h_{min}$ [mm]	110	120	140	161	214	266	300	340
Espaçamento s [mm]	40	50	60	80	100	120	135	150
Tração N_{Rd}: duas ancoragens, sem influência de bordo, espaçamento mínimo ($s = s_{min}$)								
Betão não fendilhado								
HIT-V 5.8 / 8.8								
HIT-V-R / -HCR [kN]	11,2	13,5	18,1	22,4	35,1	48,1	58,6	69,9
Betão fendilhado								
HIT-V 5.8 / 8.8								
HIT-V-R / -HCR [kN]	4,6	6,4	11,6	17,0	26,5	36,2	44,2	52,6
Corte V_{Rd}: duas ancoragens, sem influência de bordo, espaçamento mínimo ($s = s_{min}$), sem braço de binário								
Betão não fendilhado								
HIT-V 5.8 [kN]	7,2	12,0	16,8	31,2	48,8	70,4	92,0	112,0
HIT-V 8.8 [kN]	12,0	18,4	27,2	50,4	78,4	112,8	147,2	177,0
HIT-V-R [kN]	8,3	12,8	19,2	35,3	55,1	79,5	48,3	58,8
HIT-V-HCR [kN]	12,0	18,4	27,2	50,4	78,4	70,9	92,0	110,3
Betão fendilhado								
HIT-V 5.8 [kN]	7,2	12,0	16,8	31,2	48,8	70,4	92,0	112,0
HIT-V 8.8 [kN]	9,4	13,4	26,1	40,7	63,6	86,9	106,0	126,2
HIT-V-R [kN]	8,3	12,8	19,2	35,3	55,1	79,5	48,3	58,8
HIT-V-HCR [kN]	9,4	13,4	26,1	40,7	63,6	70,9	92,0	110,3

Resistência de cálculo: Betão C 20/25 – $f_{ck,cube} = 25 \text{ N/mm}^2$ - Profundidade de embhecimento = $12 d^{a)}$

Diâmetro da ancoragem	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Profundidade de embhecimento $h_{ef} = 12 d^{a)}$ [mm]	96	120	144	192	240	288	324	360
Espessura do material base $h = h_{min}$ [mm]	126	150	174	228	284	344	384	430
Tração N_{Rd}: Ancoragem isolada, sem influência de bordo								
Betão não fendilhado								
HIT-V 5.8 [kN]	12,0	19,3	28,0	52,7	82,0	118,0	153,3	187,3
HIT-V 8.8 [kN]	19,3	30,7	44,7	74,6	104,3	137,1	163,6	191,6
HIT-V-R [kN]	13,9	21,9	31,6	58,8	92,0	132,1	80,4	98,3
HIT-V-HCR [kN]	19,3	30,7	44,7	74,6	104,3	117,6	152,9	187,1
Betão fendilhado								
HIT-V 5.8 / 8.8 [kN]	8,0	12,6	24,1	42,9	67,0	96,5	116,6	136,6
Corte V_{Rd}: Ancoragem isolada, sem influência de bordo, sem braço de binário								
Betão não fendilhado								
HIT-V 5.8 [kN]	7,2	12,0	16,8	31,2	48,8	70,4	92,0	112,0
HIT-V 8.8 [kN]	12,0	18,4	27,2	50,4	78,4	112,8	147,2	179,2
HIT-V-R [kN]	8,3	12,8	19,2	35,3	55,1	79,5	48,3	58,8
HIT-V-HCR [kN]	12,0	18,4	27,2	50,4	78,4	70,9	92,0	110,3
Betão fendilhado								
HIT-V 5.8 [kN]	7,2	12,0	16,8	31,2	48,8	70,4	92,0	112,0
HIT-V 8.8 [kN]	12,0	18,4	27,2	50,4	78,4	112,8	147,2	179,2
HIT-V-R [kN]	8,3	12,8	19,2	35,3	55,1	79,5	48,3	58,8
HIT-V-HCR [kN]	12,0	18,4	27,2	50,4	78,4	70,9	92,0	110,3

a) d = diâmetro elemento



Resistência de cálculo: Betão C 20/25 – $f_{ck,cube} = 25 \text{ N/mm}^2$ - Profundidade de embhecimento = 12 d ^{a)}

Diâmetro da ancoragem	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Profundidade de embhecimento $h_{ef} = 12 d^{a)}$ [mm]	96	120	144	192	240	288	324	360
Espessura do material base $h = h_{min}$ [mm]	126	150	174	228	284	344	384	430
Distância ao bordo $c = c_{min}$ [mm]	40	50	60	80	100	120	135	150
Tração N_{Rd}: Ancoragem isolada, distância mínima ao bordo ($c = c_{min}$)								
Betão não fendilhado								
HIT-V 5.8 [kN]	11,8	16,5	21,7	33,4	46,7	61,3	73,2	85,7
HIT-V 8.8 [kN]	11,8	16,5	21,7	33,4	46,7	61,3	73,2	85,7
HIT-V-R [kN]	11,8	16,5	21,7	33,4	46,7	61,3	73,2	85,7
HIT-V-HCR [kN]	11,8	16,5	21,7	33,4	46,7	61,3	73,2	85,7
Betão fendilhado								
HIT-V 5.8 / 8.8 [kN]	4,2	6,5	12,5	22,2	34,7	48,9	58,4	68,4
HIT-V-R / -HCR [kN]	4,2	6,5	12,5	22,2	34,7	48,9	58,4	68,4
Corte V_{Rd}: Ancoragem isolada, distância mínima ao bordo ($c = c_{min}$), sem braço de binário								
Betão não fendilhado								
HIT-V 5.8 / 8.8 [kN]	3,9	5,7	7,8	12,9	18,9	25,9	31,8	38,1
HIT-V-R / -HCR [kN]	3,9	5,7	7,8	12,9	18,9	25,9	31,8	38,1
Betão fendilhado								
HIT-V 5.8 / 8.8 [kN]	2,8	4,0	5,5	9,1	13,4	18,4	22,5	27,0
HIT-V-R / -HCR [kN]	2,8	4,0	5,5	9,1	13,4	18,4	22,5	27,0

a) d = diâmetro elemento

Resistência de cálculo: Betão C 20/25 – $f_{ck,cube} = 25 \text{ N/mm}^2$ - Profundidade de embhecimento = 12 d ^{a)}
(valores de carga válidos para uma fixação isolada)

Diâmetro da ancoragem	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
Profundidade de embhecimento $h_{ef} = 12 d^{a)}$ [mm]	96	120	144	192	240	288	324	360
Espessura do material base $h = h_{min}$ [mm]	126	150	174	228	284	344	384	430
Espaçamento $s = s_{min}$ [mm]	40	50	60	80	100	120	135	150
Tração N_{Rd}: duas ancoragens, sem influência de bordo, espaçamento mínimo ($s = s_{min}$)								
Betão não fendilhado								
HIT-V 5.8 [kN]	12,0	19,3	26,5	40,8	57,0	74,9	89,4	104,6
HIT-V 8.8 [kN]	14,4	20,1	26,5	40,8	57,0	74,9	89,4	104,6
HIT-V-R [kN]	13,9	20,1	26,5	40,8	57,0	74,9	80,4	98,3
HIT-V-HCR [kN]	14,4	20,1	26,5	40,8	57,0	74,9	89,4	104,6
Betão fendilhado								
HIT-V 5.8 / 8.8 [kN]	5,5	8,5	15,4	26,5	40,1	55,7	66,4	77,8
HIT-V-R / -HCR [kN]	5,5	8,5	15,4	26,5	40,1	55,7	66,4	77,8
Corte V_{Rd}: duas ancoragens, sem influência de bordo, espaçamento mínimo ($s = s_{min}$), sem braço de binário								
Betão não fendilhado								
HIT-V 5.8 [kN]	7,2	12,0	16,8	31,2	48,8	70,4	92,0	112,0
HIT-V 8.8 [kN]	12,0	18,4	27,2	50,4	78,4	112,8	147,2	179,2
HIT-V-R [kN]	8,3	12,8	19,2	35,3	55,1	79,5	48,3	58,8
HIT-V-HCR [kN]	12,0	18,4	27,2	50,4	78,4	70,9	92,0	110,3



Betão fendilhado									
HIT-V 5.8	[kN]	7,2	12,0	16,8	31,2	48,8	70,4	92,0	112,0
HIT-V 8.8	[kN]	11,0	17,2	27,2	50,4	78,4	112,8	147,2	179,2
HIT-V-R	[kN]	8,3	12,8	19,2	35,3	55,1	79,5	48,3	58,8
HIT-V-HCR	[kN]	11,0	17,2	27,2	50,4	78,4	70,9	92,0	110,3

a) d = diâmetro elemento