



DIMENSIONAMENTO DE PAVILHÕES METÁLICOS EM SOLUÇÕES TRELIÇADAS

CARLOS MIGUEL VIEIRA TEIXEIRA

novembro de 2017

DIMENSIONAMENTO DE PAVILHÕES METÁLICOS EM SOLUÇÕES TRELIÇADAS

Carlos Miguel Vieira Teixeira
1110383

2017

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



DIMENSIONAMENTO DE PAVILHÕES METÁLICOS EM SOLUÇÕES TRELIÇADAS

Carlos Miguel Vieira Teixeira
1110383

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho e a coorientação do Engenheiro Luís Augusto Ferreira Rodrigues de Macedo.

2017

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



JÚRI

Presidente

Doutor Manuel Jorge Dores de Castro
Professor adjunto, ISEP

Orientador

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho
Professor adjunto, ISEP

Co-orientador

Engenheiro Luís Augusto Ferreira Rodrigues de Macedo
Professor assistente convidado, ISEP

Arguente

Doutor José Miguel de Freitas Castro
Professor auxiliar, FEUP

AGRADECIMENTOS

Ao Engenheiro Luís Augusto Ferreira Rodrigues de Macedo e ao Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho, orientadores deste projeto, deixo o meu enorme agradecimento por toda a disponibilidade e transmissão de conhecimento, que se revelaram fundamentais à realização da presente dissertação.

Um agradecimento aos meus amigos em geral, por todo o apoio ao longo do curso, sem dúvida que recordarei para sempre os bons momentos de estudo e convívio partilhados ao longo destes anos.

Como os últimos são sempre os primeiros, deixo aqui um grande agradecimento à minha família. Não vale a pena dizer muito pois nunca vou conseguir descrever o quão grato estou para convosco.

PALAVRAS CHAVE

Eurocódigos; Dimensionamento de estruturas metálicas; Treliças; Análise de custos; *Autodesk Robot Structural Analysis Professional*.

RESUMO

A adoção de estruturas metálicas tem crescido consideravelmente nos últimos anos, principalmente na construção de edifícios industriais, comerciais e cobertura de grandes espaços.

Este tipo de estruturas aliam as boas características mecânicas do aço e o seu baixo peso específico à facilidade/rapidez do processo de fabrico, pelo que os elementos da estrutura são normalmente pré-fabricados em ambiente industrial e posteriormente montados em obra.

O principal objetivo desta dissertação é estudar a aplicação de soluções em treliça a coberturas de grandes vãos em unidades industriais, com especial ênfase para a tipologia e tipo de secção a utilizar. Todas as treliças foram dimensionadas cumprindo os requisitos de segurança impostos pelo Eurocódigo 1 (EC1) e Eurocódigo 3 (EC3).

Concluiu-se que na execução de pavilhões metálicos a utilização de soluções de treliça de tipo Warren é mais vantajosa pois permite uma redução significativa do peso/custo. Foi ainda possível concluir que a utilização de perfis tubulares permite a obtenção de soluções globalmente mais económicas. Relativamente ao número de travamentos a utilizar, foi evidente que o aumento de peso/custo associado à diminuição do número de travamentos não é significativo quando comparado com o valor associado à execução e peso de um número elevado de elementos de travamento.

KEYWORDS

Eurocodes; Design of metal structures; Trusses; Cost analysis; Autodesk Robot Structural Analysis Professional.

ABSTRACT

The adoption of metal structures has grown considerably in the last years, mainly in the construction of industrial, commercial buildings and coverage of large spaces.

This type of structure combines the good mechanical characteristics of the steel and its low specific weight to the ease / speed of the manufacturing process, whereby the elements of the structure are usually prefabricated in an industrial environment and subsequently assembled on the construction.

The main objective of this dissertation is to study the application of truss solutions to coverings of large spans in industrial units, with special emphasis on the geometry of the trusses and type of section to be used. All trusses were designed according the safety requirements imposed by Eurocode 1 (EC1) and Eurocode 3 (EC3).

It was concluded that in the building of truss solutions the use of Warren type lattice solutions is more advantageous for a significant reduction of weight / cost. It was also possible to conclude that the use of hollow sections allows obtaining globally more economical solutions. Regarding the number of lateral truss locks to be used, it was evident that the increase in weight/cost associated with a decrease in the number of lateral truss locks is not significant when compared to the value associated with the execution and weight of a high number of lateral truss locks.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

EC	Eurocódigo/Eurocódigos
EC0	Eurocódigo 0
EC1	Eurocódigo 1
EC3	Eurocódigo 3
EC3-1-1	Eurocódigo 3 - Parte 1-1
MEF	Método dos elementos finitos

Lista de Símbolos

A	Área total da secção transversal
A_{eff}	Área efetiva de uma secção transversal de classe 4
A_{net}	Área útil da secção transversal na zona dos furos
C_e	Coefficiente de exposição
C_t	Coefficiente térmico
C_d	Valor limite nas verificações de estados limites de utilização
C_i	Coefficientes dependentes da forma do diagrama de momentos fletores e das condições de apoio
C_z	Coefficiente baseado no zonamento do território nacional
c_{pe}	Coefficiente de pressão para a pressão exterior
c_{pi}	Coefficiente de pressão para a pressão interior
E	Módulo de elasticidade longitudinal
Ed	Valor de cálculo do efeito das ações
F	Força
F_x	Força segundo o eixo xx
F_y	Força segundo o eixo yy
f_u	Tensão última
f_v	Tensão de cedência do aço
G	Módulo de elasticidade transversal
$Gk_{,j}$	Valor característico da ação permanente j
H	Altura
I_z	Momento de inércia da secção em relação ao eixo zz

I_T	Constante de torção uniforme
I_w	Constante de empenamento
k_{ij}	Fatores de interação
L	Comprimento entre secções da viga contraventadas lateralmente
L_{cr}	Comprimento de encurvadura
$M_{b,Rd}$	Valor de cálculo do momento fletor resistente à encurvadura lateral
M_{cr}	Momento crítico elástico
M_{Ed}	Valor de cálculo do momento fletor atuante
$M_{N,Rd}$	Valor de cálculo do momento fletor resistente reduzido devido ao esforço axial
M_{Rd}	Valor de cálculo do momento fletor resistente
$N_{b,Rd}$	Valor de cálculo da resistência à encurvadura do elemento
$N_{c,Rd}$	Valor de cálculo do esforço axial de compressão resistente
$N_{t,Rd}$	Valor de cálculo do esforço axial de tração resistente
N_{cr}	Carga crítica de Euler
N_{Ed}	Valor de cálculo do esforço axial atuante
$N_{pl,Rd}$	Resistência plástica da secção bruta
$N_{t,Rd}$	Valor de cálculo do esforço axial resistente de tração
$N_{u,Rd}$	Resistência última da secção útil na zona de ligação
N_{Rd}	Valor de cálculo do esforço axial resistente
$Q_{k,1}$	Valor característico da ação variável de base
$Q_{k,i}$	Valor característico da ação variável acompanhante i
$q_p(z_e)$	Pressão dinâmica de pico
R_d	Valor de cálculo da resistência correspondente
S	Valor característico da carga da neve
S_k	Carga da neve ao nível do solo
V_{Ed}	Valor de cálculo do esforço transversal resistente
V_{Rd}	Valor de cálculo do esforço axial resistente
z_e	Altura de referência para a pressão exterior
z_i	Altura de referência para a pressão interior
$\gamma_{G,j}$	Coeficiente parcial relativo à ação permanente j
$\gamma_{Q,1}$	Coeficiente parcial relativo a ações variáveis
$\gamma_{Q,i}$	Coeficiente parcial relativo a ações variáveis de uma ação variável i
γ_{M0}	Coeficiente de segurança de verificação de secções
γ_{M1}	Coeficiente de segurança de verificação de estabilidade
γ_{M2}	Coeficiente de segurança de verificação de ligações
$\psi_{0,i}$	Coeficiente de determinação do valor de uma ação variável i
δ_{max}	Flecha no estado final em relação à linha reta que une os apoios
δ_0	Contra flecha da viga no estado não carregado
δ_1	Variação da flecha da viga devida às ações permanentes
δ_2	Variação da flecha da viga devida à ação variável de base

$\sigma_{x.Ed}$	Valor de cálculo da tensão longitudinal
$\sigma_{z.Ed}$	Valor de cálculo da tensão transversal
τ_{Ed}	Valor de cálculo da tensão tangencial
χ	Fator de redução para a encurvadura
$\chi_{L.T}$	Coefficiente de redução devido à encurvadura lateral
ϕ	Imperfeição geométrica equivalente
$\bar{\lambda}$	Coefficiente de esbelteza normalizada
μ_i	Coefficiente de forma

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – DIFERENTES TIPOS DE ESTRUTURAS EM AÇO (ADAPTADO, [6-9])	6
FIGURA 2 – AÇO LAMINADO A QUENTE [10]	7
FIGURA 3 – AÇO ENFORMADO A FRIO[11].....	7
FIGURA 4 – PRINCIPAIS ELEMENTOS DE UM PAVILHÃO METÁLICO[12]	8
FIGURA 5 – PÓRTICO DE VIGAS SIMPLEMENTE APOIADAS [13].....	8
FIGURA 6 – CONSTITUIÇÃO DE UM PORTAL FRAME (ADAPTADO [14])	9
FIGURA 7 – GEOMETRIA MAIS VULGAR NA UTILIZAÇÃO DE UM PORTAL FRAME [15].....	10
FIGURA 8 – DIFERENTES GEOMETRIAS E APLICAÇÃO DE TRELIÇAS (ADAPTADO [13, 16])	10
FIGURA 9 – PÓRTICOS DE VIGAS SUPTADOS POR CABOS (ADAPTADO [13])	11
FIGURA 10 – PÓRTICOS EM ARCO [13].....	11
FIGURA 11 – APLICAÇÃO DE PÓRTICOS EM ARCO [17]	11
FIGURA 12 – UNIÃO ENTRE DIVERSOS ELEMENTOS DE UMA ESTRUTURA [19].....	12
FIGURA 13 – TIPOS DE LIGAÇÕES NORMALMENTE UTILIZADAS (ADAPTADO [19-22]).....	13
FIGURA 14 – CONSTITUIÇÃO DE UMA TRELIÇA [23]	13
FIGURA 15 – PONTE COM ESTRUTURA TRELIÇADA[24]	14
FIGURA 16 – DIFERENTES TIPOS DE GEOMETRIA DE TRELIÇAS [23].....	14
FIGURA 17 – TRELIÇA SIMPLES [23].....	15
FIGURA 18 – TRELIÇAS COMPOSTAS [23].....	15
FIGURA 19 – TRELIÇA COMPLEXA [23]	15
FIGURA 20 – EXEMPLO DE ESFORÇOS DE TRAÇÃO E COMPRESSÃO NUMA TRELIÇA [25].....	16
FIGURA 21 – CARGAS IMPOSTAS NOS NÓS DE UMA PONTE TRELIÇADA [26]	16
FIGURA 22 – EXEMPLO DO NÓ DE UMA TRELIÇA E FORÇAS APLICADAS [23].....	17
FIGURA 23 – EXEMPLO DE CORTE DE UMA SECÇÃO COM O MÉTODO DE RITTER [23].....	18
FIGURA 24 – VALORES DE CÁLCULO DAS AÇÕES [1]	21
FIGURA 25 – DESLOCAMENTOS VERTICAIS [5].....	23
FIGURA 26 – DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS [5].....	24
FIGURA 27 – GALVANIZAÇÃO [28].....	24
FIGURA 28 – COMPORTAMENTO À FLEXÃO PARA AS DIVERSAS CLASSES DE SECÇÕES [27]	25
FIGURA 29 – FATORES PARA O CÁLCULO DO MOMENTO CRÍTICO [27]	33
FIGURA 30 – COEFICIENTE C1 E C3 PARA VIGAS COM MOMENTOS DE EXTREMIDADE [27]	34
FIGURA 31 – COEFICIENTES C1, C2 E C3 PARA VIGAS COM CARGAS TRANSVERSAIS [27]	34
FIGURA 32 – EXEMPLO DE MALHA DE ELEMENTOS FINITOS [29].....	35
FIGURA 33 – MALHA DE ELEMENTOS FINITOS APLICADA A UMA ESTRUTURA TRELIÇADA.....	35
FIGURA 34 – ELEMENTOS DE BARRA.....	36
FIGURA 35 – ELEMENTOS DE VIGA.....	36
FIGURA 36 – ELEMENTOS DE ESTRUTURA [30, 31]	37
FIGURA 37 – CASO DE APLICAÇÃO DO AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL [32] .	38
FIGURA 38 – ALTITUDE E LOCALIZAÇÃO DO PAVILHÃO INDUSTRIAL [33]	41
FIGURA 39 –DIMENSÕES GERAIS DO PAVILHÃO INDUSTRIAL.....	42

FIGURA 40 – DISTÂNCIA ENTRE TRAVAMENTOS NA TRELIÇA	43
FIGURA 41 – ZONAMENTO DO TERRITÓRIO NACIONAL PARA AS AÇÕES DA NEVE [3].....	44
FIGURA 42 – COEFICIENTE DE FORMA [3]	45
FIGURA 43 – DISPOSIÇÃO DA CARGA DA NEVE EM COBERTURAS DE DUAS VERTENTES [3]	45
FIGURA 44 – VALORES DA CARGA DE NEVE A APLICAR À ESTRUTURA [KN/M ²]	46
FIGURA 45 – COEFICIENTES DE PRESSÃO EXTERIOR LOCAIS E GLOBAIS [4]	48
FIGURA 46 – ZONAS DE ATUAÇÃO DO VENTO PARA PAREDES VERTICAIS DE EDIFÍCIOS [4]	49
FIGURA 47 – COEFICIENTES DE PRESSÃO EXTERIOR PARA PAREDES COM VENTO TRANSVERSAL	50
FIGURA 48 – COEFICIENTES DE PRESSÃO EXTERIOR PARA PAREDES COM VENTO LONGITUDINAL	51
FIGURA 49 – COEFICIENTES DE PRESSÃO INTERIOR [34]	51
FIGURA 50 – ESQUEMA DE ÁREAS PARA COBERTURAS COM VENTO TRANSVERSAL [4].....	52
FIGURA 51 – CASOS DE DISTRIBUIÇÃO DE COEFICIENTES DE PRESSÃO EXTERIOR	53
FIGURA 52 – COMBINAÇÕES RESULTANTES PARA O VENTO TRANSVERSAL NA COBERTURA.....	53
FIGURA 53 – ESQUEMA DE ÁREAS PARA COBERTURAS COM VENTO LONGITUDINAL [4].....	54
FIGURA 54 – COMBINAÇÕES RESULTANTES PARA O VENTO LONGITUDINAL NA COBERTURA	54
FIGURA 55 – TABELA DE COMBINAÇÃO DE AÇÕES	55
FIGURA 56 – MODELO DE CÁLCULO UTILIZADO COM CLADDINGS.....	56
FIGURA 57 – AÇÃO DA NEVE NA COBERTURA DO PAVILHÃO INDUSTRIAL.....	56
FIGURA 58 – AÇÃO DO VENTO LONGITUDINAL NO PAVILHÃO INDUSTRIAL.....	57
FIGURA 59 – EXEMPLO DE TABELA DE RESULTADOS DADA PELO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO	57
FIGURA 60 – LAYOUT DA FOLHA DE CÁLCULO DAS VERIFICAÇÕES DE SEGURANÇA	59
FIGURA 61 – PRINCIPAIS ELEMENTOS ESTRUTURAIS DO PAVILHÃO INDUSTRIAL	59
FIGURA 62 – DESIGNAÇÃO DAS TRELIÇAS DO PAVILHÃO INDUSTRIAL	60
FIGURA 63 – DESIGNAÇÃO DOS ELEMENTOS DA TRELIÇA E	61
FIGURA 64 – SECÇÕES UTILIZADAS APÓS A VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA.....	61
FIGURA 65 – ELEMENTOS DA TRELIÇA A CALCULAR	62
FIGURA 66 – DIAGRAMA DE ESFORÇO AXIAL DE TRAÇÃO PARA O ELEMENTO 361	63
FIGURA 67 – DIAGRAMA DE ESFORÇO AXIAL DE COMPRESSÃO PARA O ELEMENTO 361.....	64
FIGURA 68 – DIAGRAMA DE ESFORÇO AXIAL DE TRAÇÃO PARA O ELEMENTO 301	65
FIGURA 69 – DIAGRAMA DE ESFORÇO AXIAL DE COMPRESSÃO PARA O ELEMENTO 301.....	66
FIGURA 70 – DIAGRAMA DE ESFORÇO AXIAL DE TRAÇÃO PARA O ELEMENTO 342	68
FIGURA 71 – DIAGRAMA DE ESFORÇO AXIAL DE COMPRESSÃO PARA O ELEMENTO 342.....	69
FIGURA 72 – DIAGRAMA DE ESFORÇO AXIAL DE TRAÇÃO PARA O ELEMENTO 321	71
FIGURA 73 – DIAGRAMA DE ESFORÇO AXIAL DE COMPRESSÃO PARA O ELEMENTO 321.....	72
FIGURA 74 – SECÇÃO Z UTILIZADA PARA AS MADRES	76
FIGURA 75 – DIAGRAMA DE ESFORÇO AXIAL DE TRAÇÃO PARA O ELEMENTO 1106	78
FIGURA 76 – DIAGRAMA DE ESFORÇO AXIAL DE COMPRESSÃO PARA O ELEMENTO 1106.....	78
FIGURA 77 – DESLOCAMENTO HORIZONTAL MÁXIMO DA ESTRUTURA.....	80
FIGURA 78 – DESLOCAMENTO VERTICAL MÁXIMO DA ESTRUTURA.....	81
FIGURA 79 – EXEMPLO DE DESLOCAMENTOS VERTICAIS E HORIZONTAIS IMPOSTOS À ESTRUTURA.....	82
FIGURA 80 – ESQUEMA COM AS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS ESTUDADAS PARA AS TRELIÇAS	84
FIGURA 81 – SECÇÕES UTILIZADAS NA SOLUÇÃO 1 EM PERFIS SHS	85
FIGURA 82 – SECÇÕES UTILIZADAS NA SOLUÇÃO 1 EM PERFIS HEA.....	85

FIGURA 83 – SECÇÕES UTILIZADAS NA SOLUÇÃO 2 EM PERFIS SHS	85
FIGURA 84 – SECÇÕES UTILIZADAS NA SOLUÇÃO 2 EM PERFIS HEA	86
FIGURA 85 – TRAVAMENTO 1 PARA A SOLUÇÃO 1	86
FIGURA 86 – TRAVAMENTO 1 PARA A SOLUÇÃO 2	87
FIGURA 87 – TRAVAMENTO 2 PARA A SOLUÇÃO 1	87
FIGURA 88 – TRAVAMENTO 2 PARA A SOLUÇÃO 2	87
FIGURA 89 – TRAVAMENTO 3 PARA A SOLUÇÃO 1	87
FIGURA 90 – TRAVAMENTO 3 PARA A SOLUÇÃO 2	87
FIGURA 91 – SOLUÇÃO DE TRAVAMENTO POR TIRANTES	88
FIGURA 92 – SOLUÇÃO DE TRAVAMENTO POR TRELIÇAS [35].....	89
FIGURA 93 – PESO E CUSTOS PARA AS DIFERENTES SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	90
FIGURA 94 – PESO EM FUNÇÃO DA SOLUÇÃO CONSTRUTIVA E DO TRAVAMENTO UTILIZADO	91
FIGURA 95 – PESO EM FUNÇÃO DO TRAVAMENTO E DA SECÇÃO UTILIZADA.....	91
FIGURA 96 – PREÇO EM FUNÇÃO DA SOLUÇÃO CONSTRUTIVA E DO TRAVAMENTO UTILIZADO	92
FIGURA 97 – PREÇO EM FUNÇÃO DO TRAVAMENTO E DA SECÇÃO UTILIZADA	92
FIGURA 98 – RELAÇÃO €/KG PARA SOLUÇÕES EM PERFIS SHS E PERFIS HEA.....	93
FIGURA 99 – ANÁLISE PARAMÉTRICA E ECONÓMICA GLOBAL	93

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – COEFICIENTES DE COMBINAÇÃO (ADAPTADO DO ECO [1]).....	20
TABELA 2 – VALORES DE DESLOCAMENTOS VERTICAIS ADMISSÍVEIS (ADAPTADO DO EC3 [5]).....	23
TABELA 3 - VALORES DE DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS ADMISSÍVEIS (ADAPTADO EC3 [5])	24
TABELA 4 - CATEGORIA DE COBERTURA (ADAPTADO EC3 [5]).....	43
TABELA 5 – SOBRECARGA REGULAMENTAR (ADAPTADO EC3 [5])	43
TABELA 6 – COEFICIENTES DE EXPOSIÇÃO PARA DIFERENTES TOPOGRAFIAS (ADAPTADO EC1-1-3 [3])...	45
TABELA 7 – VALORES DE CÁLCULO PARA AS PAREDES VERTICAIS DO EDIFÍCIO	49
TABELA 8 – VALORES DE C_{pe} PARA PAREDES VERTICAIS DE EDIFÍCIOS DE PLANTA RETANGULAR [4]	50
TABELA 9 – VALORES DE CÁLCULO PARA AS COBERTURAS COM VENTO TRANSVERSAL	52
TABELA 10 – VALORES DE C_{pe} PARA COBERTURA DE 2 VERTENTES (VENTO TRANSVERSAL) [4]	52
TABELA 11 – VALORES DE CÁLCULO PARA AS COBERTURAS COM VENTO LONITUDINAL.....	53
TABELA 12 – VALORES DE C_{pe} PARA COBERTURA DE 2 VERTENTES (VENTO LONGITUDINAL) [4]	54
TABELA 13 - VALORES DOS COMPRIMENTOS DE ENCURVADURA A CONSIDERAR NAS TRELIÇAS [5]	58
TABELA 14 - ESFORÇOS AXIAIS ATUANTES NOS ELEMENTOS A CALCULAR	63
TABELA 15 - PROPRIEDADES DA SECÇÃO BRUTA	77
TABELA 16 - PROPRIEDADES DA SECÇÃO EFETIVA	77
TABELA 17 - MOMENTO ATUANTE E MOMENTO RESISTENTE DA MADRE.....	77
TABELA 18 – DESLOCAMENTO MÁXIMO HORIZONTAL.....	80
TABELA 19 – DESLOCAMENTO MÁXIMO VERTICAL	80
TABELA 20 – SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS ESTUDADAS PARA AS TRELIÇAS.....	83
TABELA 21 – PESO DAS TRELIÇAS EM FUNÇÃO DO TIPO DE TRAVAMENTO	88

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Contextualização.....	1
1.2	Objetivos	1
1.3	Organização do relatório	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1	Projeto de estruturas metálicas	5
2.1.1	Regulamentação utilizada	5
2.1.2	Tipos de estruturas.....	5
2.1.3	Materiais normalmente utilizados	6
2.1.4	Diferentes soluções construtivas	7
2.1.4.1	Pórticos de vigas simplesmente apoiadas	8
2.1.4.2	Pórticos de ligações rígidas.....	9
2.1.4.2.1	Portal Frame.....	9
2.1.4.2.2	Pórticos treliçados.....	10
2.1.4.3	Pórticos de vigas suportadas por cabos.....	10
2.1.4.4	Pórticos em arco	11
2.1.5	Tipos de Ligações entre elementos metálicos.....	12
2.2	Projeto de estruturas treliçadas.....	13
2.2.1	Particularidades das estruturas treliçadas	13
2.2.2	Tipos de geometrias possíveis.....	14
2.2.3	Tipos de esforços existentes	16
2.2.4	Métodos clássicos de cálculo de forças em treliças	16
2.2.4.1	Método dos nós	17
2.2.4.2	Método de Ritter	18
2.3	Bases de cálculo	18
2.3.1	Conceitos base	18
2.3.2	Variáveis básicas.....	19
2.3.2.1	Ações e influências ambientais.....	19
2.3.2.2	Combinação de ações	19
2.3.2.3	Propriedades dos materiais	21
2.3.3	Estados Limites Últimos	21
2.3.4	Estados Limites de Utilização	22
2.3.4.1	Verificação do Estado Limite de Deformação	22
2.3.4.1.1	Deslocamentos verticais	22

2.3.4.1.2	Deslocamentos horizontais.....	23
2.3.5	Durabilidade	24
2.4	Critérios de dimensionamento	25
2.4.1	Introdução.....	25
2.4.2	Classificação de secções transversais metálicas.....	25
2.4.3	Resistência de secções transversais	26
2.4.4	Tração.....	27
2.4.5	Compressão.....	28
2.4.6	Flexão composta	29
2.4.7	Flexão em elementos não restringidos lateralmente.....	31
2.5	Método de Elementos Finitos para o projeto de estruturas treliçadas	35
2.5.1	Introdução à ferramenta de projeto	35
2.5.2	Vantagens da utilização em projeto.....	37
2.5.3	Software existente e respetivas potencialidades.....	38
2.5.4	Casos práticos de dimensionamento	38
3	DESENVOLVIMENTO.....	41
3.1	Descrição do pavilhão industrial a projetar	41
3.2	Requisitos a cumprir.....	43
3.3	Definição das ações a considerar	43
3.3.1	Sobrecarga.....	43
3.3.2	Ação da neve	44
3.3.3	Ações do vento.....	46
3.3.3.1	Velocidade de referência do vento.....	46
3.3.3.2	Velocidade média do vento	46
3.3.3.3	Turbulência do vento.....	47
3.3.3.4	Pressão dinâmica de pico.....	47
3.3.3.5	Pressão exercida pelo vento nas superfícies da cobertura.....	48
3.3.3.6	Coeficientes de pressão para edifícios.....	48
3.3.3.6.1	Generalidades	48
3.3.3.6.2	Paredes verticais de edifícios de planta retangular	49
3.3.3.6.2.1	Vento transversal ($\theta=0^\circ$)	49
3.3.3.6.2.2	Vento longitudinal ($\theta=90^\circ$)	50
3.3.3.6.3	Coberturas de duas vertentes.....	51
3.3.3.6.3.1	Coeficientes de pressão interior	51
3.3.3.6.3.2	Vento transversal ($\theta=0^\circ$)	51
3.3.3.6.3.3	Vento longitudinal ($\theta=90^\circ$).....	53
3.4	Definição das combinações de ações	55

3.5	Cálculo dos esforços atuantes nos elementos	56
3.6	Comprimentos de encurvadura considerados para as treliças	58
3.7	Dimensionamento da estrutura	59
3.7.1	Dimensionamento das treliças	60
3.7.1.1	Pré-dimensionamento da treliça (E)	60
3.7.1.2	Primeira iteração para a totalidade das treliças da estrutura	61
3.7.1.3	Segunda iteração para a treliça (E)	61
3.7.2	Verificação de segurança das treliças com recurso a verificações analíticas	62
3.7.2.1	Corde superior	63
3.7.2.1.1	Verificação de segurança à tração	63
3.7.2.1.2	Verificação de segurança à compressão	63
3.7.2.1.2.1	Pré-dimensionamento	64
3.7.2.1.2.2	Classificação da secção	64
3.7.2.1.2.3	Verificação da resistência à encurvadura	64
3.7.2.2	Corde inferior	65
3.7.2.2.1	Verificação de segurança à tração	65
3.7.2.2.2	Verificação de segurança à compressão	66
3.7.2.2.2.1	Pré-dimensionamento	66
3.7.2.2.2.2	Classificação da secção	66
3.7.2.2.2.3	Verificação da resistência à encurvadura	67
3.7.2.3	Montante	68
3.7.2.3.1	Verificação de segurança à tração	68
3.7.2.3.2	Verificação de segurança à compressão	69
3.7.2.3.2.1	Pré-dimensionamento	69
3.7.2.3.2.2	Classificação da secção	69
3.7.2.3.2.3	Verificação da resistência à encurvadura	70
3.7.2.4	Diagonal	71
3.7.2.4.1	Verificação de segurança à tração	71
3.7.2.4.2	Verificação de segurança à compressão	71
3.7.2.4.2.1	Pré-dimensionamento	72
3.7.2.4.2.2	Classificação da secção	72
3.7.2.4.2.3	Verificação da resistência à encurvadura	72
3.7.3	Dimensionamento dos pilares	74
3.7.3.1	Esforços atuantes	74
3.7.3.2	Classificação da secção	74
3.7.3.3	Resistência da secção transversal	74
3.7.3.4	Resistência à encurvadura por flexão	75
3.7.3.4.1	Segundo o eixo yy	75
3.7.3.4.2	Segundo o eixo zz	75
3.7.3.5	Resistência à encurvadura lateral	75
3.7.3.6	Estabilidade global do elemento	75
3.7.4	Dimensionamento das madres	76

3.7.5	Dimensionamento dos contraventamentos.....	77
3.7.5.1	Verificação de segurança à tração	77
3.7.5.2	Verificação de segurança à compressão	78
3.7.5.2.1	Classificação da secção	78
3.7.5.2.2	Verificação da resistência à encurvadura	79
3.7.6	Verificação dos estados limites de utilização	80
3.7.6.1	Deslocamentos horizontais.....	80
3.7.6.2	Deslocamentos verticais	81
3.8	Estudo paramétrico e avaliação de custos da treliça	83
3.8.1	Apresentação das diferentes soluções construtivas	84
3.8.1.1	Solução 1 em perfis de secção SHS	85
3.8.1.2	Solução 1 em perfis de secção HEA	85
3.8.1.3	Solução 2 em perfis de secção SHS	85
3.8.1.4	Solução 2 em perfis de secção HEA	85
3.8.2	Influência do número de travamentos.....	86
3.8.3	Dados gerais das diferentes soluções estudadas	89
3.8.4	Análise do peso da treliça em aço	91
3.8.5	Análise de custos	92
3.8.6	Comparação custo/peso para as diferentes soluções.....	93
4	CONCLUSÕES.....	97
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	103
6	ANEXOS	107
6.1	Quadros para classificação de secções transversais.....	107
6.2	Verificações de segurança para a treliça com tubos de secção SHS	110

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A adoção de estruturas metálicas tem crescido consideravelmente nos últimos anos, principalmente na construção de edifícios industriais, comerciais e de habitação, cobertura de grandes espaços, estádios de futebol, pontes, entre outros.

Este tipo de estruturas aliam as boas características mecânicas do aço e o seu baixo peso específico à facilidade/rapidez do processo de fabrico. Os elementos da estrutura são normalmente pré-fabricados em ambiente industrial e posteriormente montados em obra.

Como resultado das características indicadas anteriormente podem ser enumeradas algumas vantagens no uso deste tipo de estruturas:

- O baixo peso específico leva a custos de transporte e montagem mais baixos;
- A pré-fabricação dos elementos da estrutura permite a realização de soldaduras mais precisas, evitando-se assim soldaduras de campo (mais propícias a erros);
- Rapidez da construção de estruturas em aço relativamente às estruturas em betão;
- Capacidade de vencer grandes vãos;

1.2 Objetivos

O principal objetivo desta dissertação é estudar a aplicação de soluções em treliça a coberturas de grandes vãos em unidades industriais, com especial ênfase para a tipologia e tipo de secção a utilizar. Todas as treliças foram dimensionadas cumprindo os requisitos de segurança impostos pelo Eurocódigo 1 (EC1) e Eurocódigo 3 (EC3).

A dissertação terá especial foco na solução estrutural das treliças, para as quais será dispensada parte considerável deste trabalho:

1. Definição das dimensões em planta e alçado do edifício industrial estudado;
2. Quantificação das ações impostas à estrutura de acordo com a regulamentação Europeia (Eurocódigos);
3. Cálculo dos esforços atuantes nos diferentes elementos;

4. Dimensionamento/Escolha de perfis a utilizar nos diferentes elementos estruturais;
5. Comparação de diferentes tipologias de treliça e respetiva análise de custos.

1.3 Organização do relatório

No capítulo 1 apresentam-se os principais objetivos da dissertação e é feita uma breve contextualização.

No capítulo 2 é feita a revisão bibliográfica, onde são referidos os principais conceitos, tipos de estrutura e bases para dimensionamento. A divisão do capítulo será feita da seguinte forma:

- Projeto de estruturas metálicas;
- Projeto de estruturas treliçadas;
- Bases de cálculo;
- Critérios de dimensionamento;
- Método de Elementos Finitos (MEF) para projeto de estruturas treliçadas.

No capítulo 3 é realizado o desenvolvimento da dissertação, que estará dividido da seguinte forma:

- Descrição da estrutura a projetar;
- Requisitos a cumprir;
- Definição das ações de cálculo a considerar;
- Definição das combinações de ações de cálculo;
- Cálculo dos esforços atuantes nos elementos recorrendo a *software* de análise estrutural;
- Dimensionamento da estrutura das treliças em perfis de secção SHS;
- Estudo de diferentes tipologias de treliça e tipos de secção transversal;
- Análise de custos e estudo de diferentes soluções construtivas para treliças.

No capítulo 4 apresentam-se as principais conclusões do trabalho desenvolvido bem como possíveis trabalhos futuros a realizar.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Projeto de estruturas metálicas

2.1.1 Regulamentação utilizada

A utilização dos Eurocódigos (EC) no projeto de estruturas permite uniformizar os princípios de dimensionamento e cálculo na Comunidade Europeia. Deste modo, a elaboração do projeto de estruturas metálicas terá de seguir e cumprir os requisitos impostos pela seguinte regulamentação:

- **NP EN 1990 – Eurocódigo** – Bases para o projeto de estruturas (EC0)[1];
- **NP EN 1991-1-1 – Eurocódigo 1** – Ações em estruturas. Parte 1-1: Ações gerais: pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios (EC1-1-1)[2];
- **NP EN 1991-1-3 – Eurocódigo 1** – Ações em estruturas. Parte 1-3: Ações gerais: Ações da neve (EC1-1-3)[3];
- **NP EN 1991-1-4 – Eurocódigo 1** - Ações em estruturas. Parte 1-4: Ações gerais: Ações do vento (EC1-1-4)[4];
- **NP EN 1993-1-1 – Eurocódigo 3** – Projeto de estruturas de aço. Parte 1-1: Regras gerais para edifícios (EC3-1-1)[5].

Abaixo são indicados os princípios base pelos quais os Eurocódigos referidos se regem:

- **EC1 (Parte 1-1, 1-3 e 1-4)** – nestes documentos são definidas as ações de cálculo a considerar no processo de dimensionamento estrutural, nomeadamente, as sobrecargas regulamentares, cargas impostas pelo peso próprio e cargas impostas pela ação do vento e da neve. Genericamente, este Eurocódigo permite que sejam definidas todas as ações de cálculo impostas à estrutura;
- **EC3 (Parte 1-1)** – neste documento são definidos todos os critérios de dimensionamento necessários ao projeto de estruturas metálicas, especialmente os critérios de verificação em estado limite último e em estado limite de utilização.

2.1.2 Tipos de estruturas

As características mecânicas do aço permitem que este tenha uma vasta aplicabilidade, como tal é normal vermos estruturas com formas complexas e com propósitos de utilização bastante distintos entre si. Alguns dos tipos de estrutura em aço mais utilizados são: edifícios industriais, comerciais e de habitação, coberturas de grandes espaços, pontes, gruas, estádios de futebol, entre outros (Figura 1).



Figura 1 – Diferentes tipos de estruturas em aço (Adaptado, [6-9])

2.1.3 Materiais normalmente utilizados

O material mais utilizado neste tipo de construções é o aço, pelas razões já referidas anteriormente.

O aço é uma liga ferrocarbônica que tem o ferro e o carbono como componentes principais, sendo a percentagem de carbono a responsável por grande parte das características mecânicas (tensão de cedência, tensão última e ductilidade) e propriedades tecnológicas (soldabilidade e resistência à corrosão). No entanto, possui outros componentes, sejam eles impurezas ou componentes para conferir características mecânicas específicas.

Os aços de construção são distinguidos pelas suas classes de resistência: S235, S275, S355 e S450, sendo que os três dígitos numéricos da referência indicam a tensão de cedência do material em MPa.

Relativamente ao processo de fabrico de secções metálicas, os processos mais correntes são:

1. Secções de aço laminado a quente;
2. Secções de aço enformado a frio.

Em edifícios de construção metálica corrente são tipicamente utilizadas secções em aço laminadas a quente para a estrutura principal (pilares, vigas, treliças) e secções em aço enformadas a fria em estruturas secundárias (madres, caleiras, cumieiras) . No que diz respeito a secções de aço laminadas a quente, durante o seu processo de fabrico o material é aquecido e posteriormente passa por uma sequência de cilindros em rotação, que lhe conferem a geometria final pretendida, normalmente sob a forma de perfis U, I, H e L (Figura 2).



Figura 2 – Aço laminado a quente [10]

Quanto aos aços enformados a frio estes são obtidos a partir de chapas de baixa espessura previamente galvanizadas, que são sujeitas a processos mecânicos (prensagem, quinagem e perfilagem) que lhe conferem o formato final sem que haja aquecimento do material (Figura 3).



Figura 3 – Aço enformado a frio[11]

2.1.4 Diferentes soluções construtivas

Os pavilhões metálicos são construídos principalmente para uso industrial, comercial, agrícola e armazenamento. Estas tipologias requerem a construções com espaços amplos, com o mínimo de pilares interiores possível (requisito principal para a funcionalidade deste tipo de actividades). Tratam-se de estruturas tridimensionais que são constituídas por 4 tipos de elementos, que garantem a sua integridade (Figura 4):

- Pilares e vigas – formam um pórtico bidimensional, responsável pela estrutura principal da construção, que suporta as cargas transmitidas pelas madres;
- Madres – elementos unidireccionais responsáveis por transmitir aos pórticos as cargas transmitidas pelos revestimentos;
- Revestimentos – responsáveis por proteger o interior da estrutura das intempéries e condições meteorológicas, é este elemento que transmite a carga às madres;
- Contraventamentos – elementos responsáveis por garantir a estabilidade devido às ações horizontais (vento por exemplo).

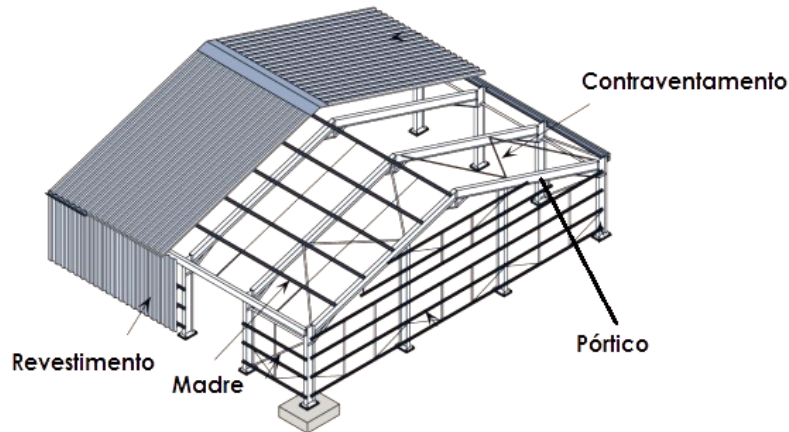


Figura 4 – Principais elementos de um pavilhão metálico[12]

Existem diversas tipologias de pavilhões metálicos, entre elas:

1. Pórticos de vigas simplesmente apoiadas;
2. Pórticos rígidos;
 - a. Pórticos de ligações rígidas (*Portal frame*);
 - b. Pórticos treliçados;
3. Pórticos suportados por cabos;
4. Pórticos em arco.

2.1.4.1 *Pórticos de vigas simplesmente apoiadas*

Nos pórticos de vigas simplesmente apoiadas, as vigas estão apoiadas diretamente nos pilares através de sistemas de apoio adequados. Neste tipo de geometria é necessário colocar sistemas de contraventamento na cobertura e nas fachadas (Figura 5) [13].

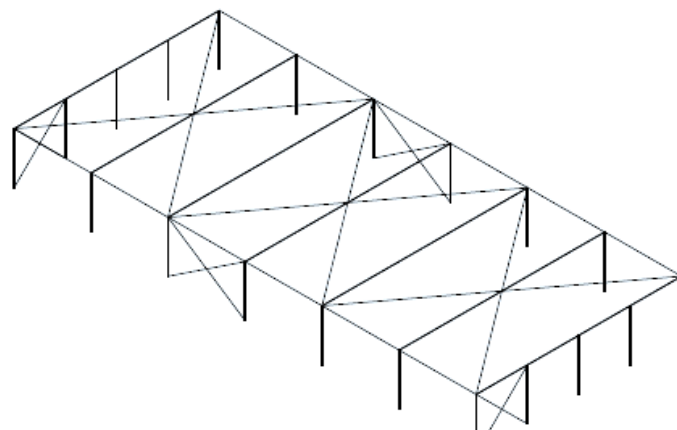


Figura 5 – Pórtico de vigas simplesmente apoiadas [13]

2.1.4.2 Pórticos de ligações rígidas

Nos pórticos de ligações rígidas as vigas e os pilares possuem ligações rígidas entre si. Estas ligações permitem uma maior eficiência da estrutura relativamente a um pórtico com vigas simplesmente apoiadas [13].

Também têm a vantagem de suportar as ações causadas pelo vento no plano do pórtico, não sendo necessário um sistema de contraventamento tão complexo quando comparado com os pórticos de vigas simplesmente apoiadas [13].

Este tipo de pórticos podem ser divididos em duas categorias:

- Pórticos de ligações rígidas - *Portal frame*;
- Pórticos treliçados.

2.1.4.2.1 Portal Frame

Estruturas compostas por pilares e vigas inclinadas, nas quais são normalmente usados perfis laminados a quente de secção I. É vulgar neste tipo de estrutura serem usados reforços, em forma triangular, nas ligações tal como se pode observar na Figura 6 [14].

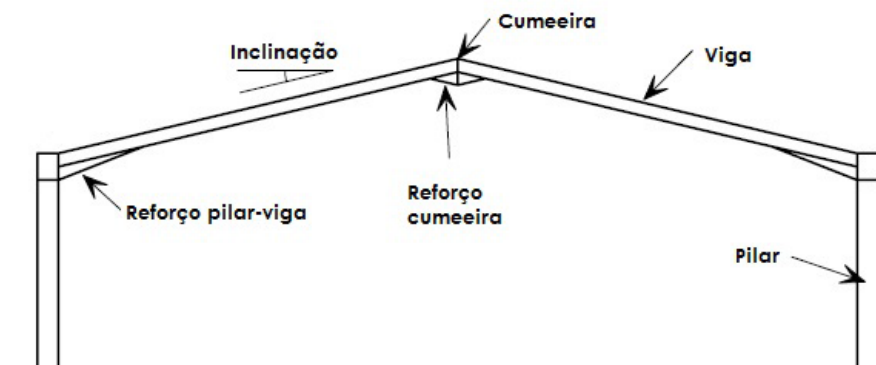


Figura 6 – Constituição de um portal frame (Adaptado [14])

Os *portal frame* são bastante utilizados e normalmente são aplicados em casos que necessitem de cumprir os seguintes requisitos [14]:

- Vãos compreendidos entre 15 m e 40 m;
- Altura de pilares entre 5 m e 10 m;
- Inclinações de cobertura entre 5° e 10°;
- Espaçamento de pórticos entre 5 m e 8 m.

Esta geometria pode assumir diversas tipologias, no entanto a forma básica pode ser verificada na Figura 7.



Figura 7 – Geometria mais vulgar na utilização de um portal frame [15]

2.1.4.2.2 Pórticos treliçados

Este tipo de geometria é bastante utilizada quando se pretende vencer grandes vãos, compreendidos entre 40m a 100m. Estes pórticos têm ainda a capacidade de suportar níveis elevados de carga[13].

As treliças podem assumir diversas geometrias e aplicações, que podem ser observadas na Figura 8.

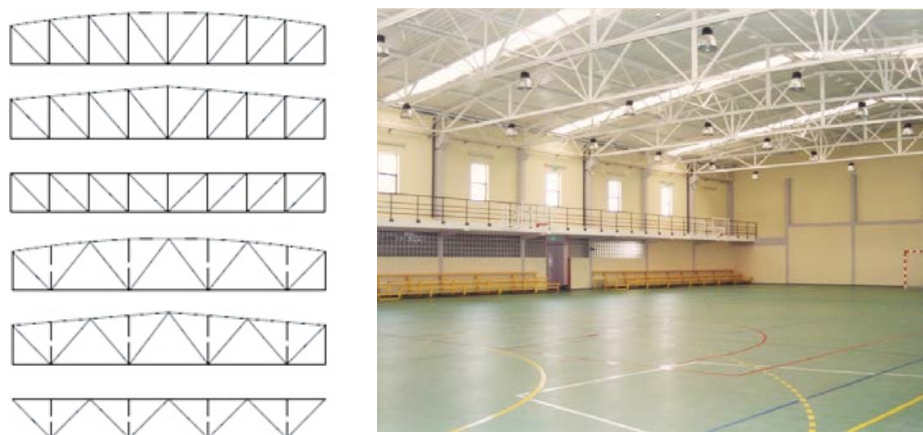


Figura 8 – Diferentes geometrias e aplicação de treliças (Adaptado [13, 16])

2.1.4.3 Pórticos de vigas suportadas por cabos

Nestes pórticos as vigas são suportadas por cabos ou bielas à tração, permitindo utilizar secções mais reduzidas. As bielas e cabos são suportados por mastros, que por sua vez são suportados igualmente por cabos e bielas [13].

Trata-se de uma solução económica quando se pretendem vencer vãos entre 30 m e 90 m [13]. Na Figura 9 podem ser observadas diferentes geometrias adoptadas para este tipo de pórticos e a aplicação deste tipo de solução em pavilhões industriais.



Figura 9 – Pórticos de vigas suportados por cabos (Adaptado [13])

2.1.4.4 Pórticos em arco

Os pórticos em arco são constituídos normalmente por perfis enformados a frio de secção I, e possuem forma circular ou parabólica. Estão sujeitos principalmente a esforços de compressão, que são suportados pelas fundações do edifício ou pela introdução de tirantes entre as suas fundações [13].

Na Figura 10 é apresentado um esquema de funcionamento de pórticos em forma de arco, na Figura 11 pode ser observada a aplicação deste tipo de solução num edifício de escritórios.

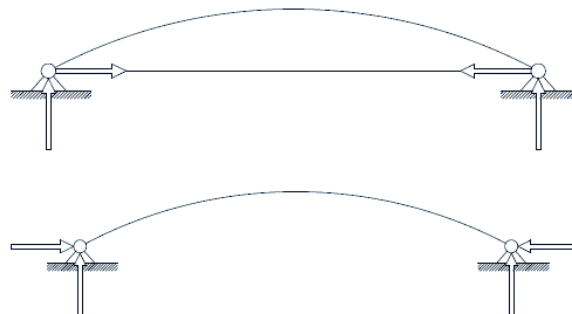


Figura 10 – Pórticos em arco [13]



Figura 11 – Aplicação de pórticos em arco [17]

2.1.5 Tipos de Ligações entre elementos metálicos

A análise da resistência de uma estrutura metálica deve incluir a influência das ligações entre elementos estruturais, pelo que este tipo de análise torna-se indispensável no projeto de qualquer tipo de estrutura metálica.

Para garantir o correto dimensionamento e funcionamento das ligações, o seu cálculo/verificação deve ser realizado de acordo com o Eurocódigo 3 parte 1-8 (EC3-1-8)[18].

Relativamente às vantagens da utilização de ligações em estruturas metálicas, importa salientar que [19]:

- Permitem mudanças de direção entre elementos da estrutura;
- Facilitam o transporte e manuseamento entre o processo de fabrico e a montagem em obra;
- Permitem quer a união entre componentes metálicos quer as ligações a outros componentes estruturais (Figura 12).

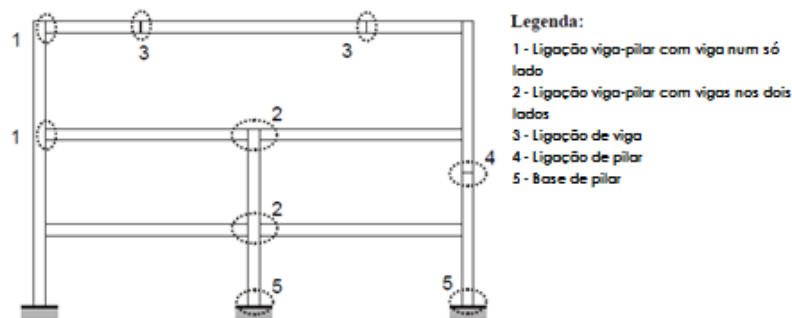


Figura 12 – União entre diversos elementos de uma estrutura [19]

Existem vários requisitos importantes que as ligações devem cumprir, sendo os principais os seguintes [19]:

- Devem possuir resistência suficiente para suportar os esforços atuantes;
- O dimensionamento das ligações permitir que seja feita uma transferência equilibrada das cargas, para que sejam evitadas concentrações de tensões;
- O projeto das ligações deve permitir um fácil acesso quer na montagem quer na manutenção;
- Deve ser maximizada a repetição do detalhe das ligações, para que se torne um processo mais uniforme e rápido, quer na produção quer na montagem;
- Os diâmetros, comprimentos e classes dos parafusos utilizados devem ser limitados para uniformizar o processo.

Quanto aos tipos de união utilizados podem-se considerar quatro tipos de ligações principais (Figura 13):

1. Ligações aparafusadas;
2. Ligações rebitadas;
3. Ligações com recurso a cavilhas;
4. Ligações soldadas;

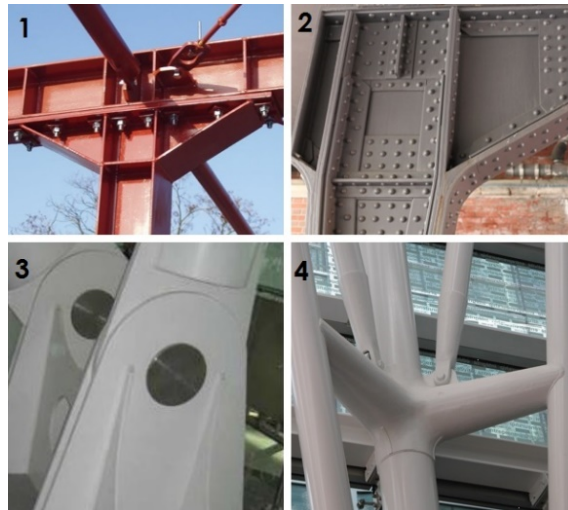


Figura 13 – Tipos de ligações normalmente utilizadas (Adaptado [19-22])

2.2 Projeto de estruturas treliçadas

2.2.1 Particularidades das estruturas treliçadas

Dá-se o nome de treliça a um sistema articulado, constituído por um sistema de barras rígidas delgadas ligadas entre si por extremidades rotuladas (nós).

São uma solução estrutural simples, prática e económica para muitas situações de projeto, sejam elas pontes, passagens superiores ou coberturas, tornando-as assim num dos principais tipos de estruturas de engenharia. Estes elementos apresentam como principal vantagem o facto de conseguirem vencer grandes vãos, e de suportarem cargas elevadas comparativamente com o seu peso [23].

Relativamente à sua constituição podem ser divididas em: corda superior, corda inferior, montantes e diagonais (Figura 14).

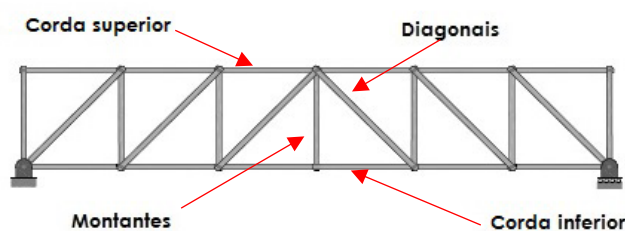


Figura 14 – Constituição de uma treliça [23]

Na Figura 15 pode ser observada uma ponte metálica que usa uma estrutura treliçada.



Figura 15 – Ponte com estrutura treliçada[24]

2.2.2 Tipos de geometrias possíveis

Existem três geometrias principais de treliças (Figura 16), que devem os seus nomes aos autores responsáveis pela sua implementação e/ou melhoria, sendo elas[23]:

- **Warren** - a mais comum quando se necessita de uma estrutura simples e contínua, sendo usadas para vencer vãos entre 40 e 100 metros. Este tipo de geometria pode ter duas vertentes, com ou sem montantes, caso se queiram vencer grandes ou pequenos vãos respetivamente;
- **Pratt** - facilmente identificada pelos seus elementos diagonais (geralmente solicitados à tração) que se apresentam todos inclinados e na direção do centro do vão;
- **Howe** - é o oposto da treliça Pratt, pois geralmente as barras diagonais estão solicitadas à compressão.

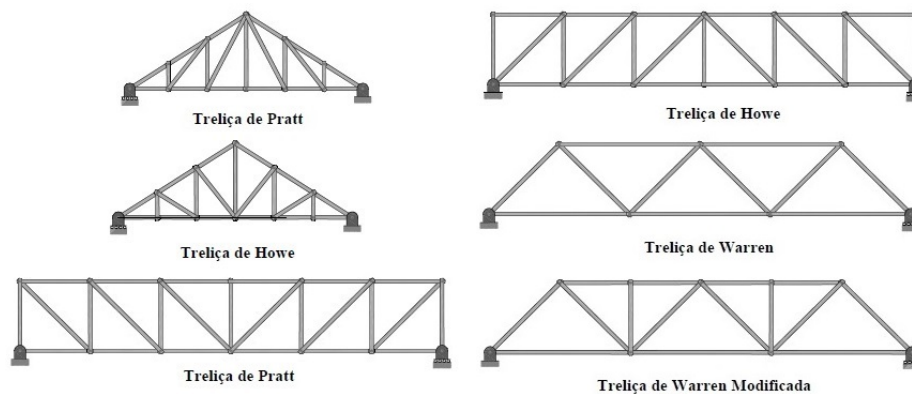


Figura 16 – Diferentes tipos de geometria de treliças [23]

As treliças podem ainda ser classificadas quanto à sua lei de formação [23]:

- **Treliça simples** - formada a partir de um triângulo inicial indeformável ao qual, para cada novo nó, são adicionadas duas novas barras (Figura 17);

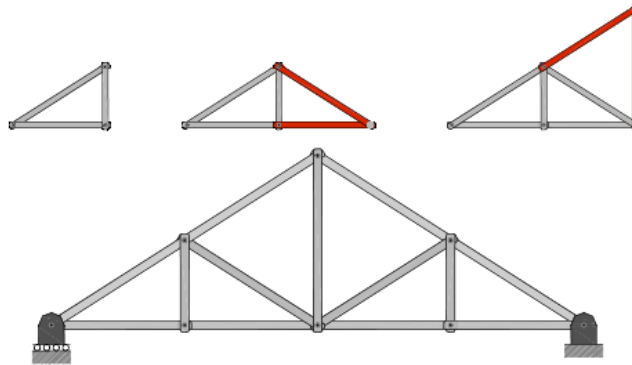


Figura 17 – Treliça simples [23]

- **Treliças compostas** – consistem na ligação de duas treliças simples por meio de um nó comum e uma barra ou então por três barras não paralelas entre si nem concorrentes no mesmo ponto (Figura 18);

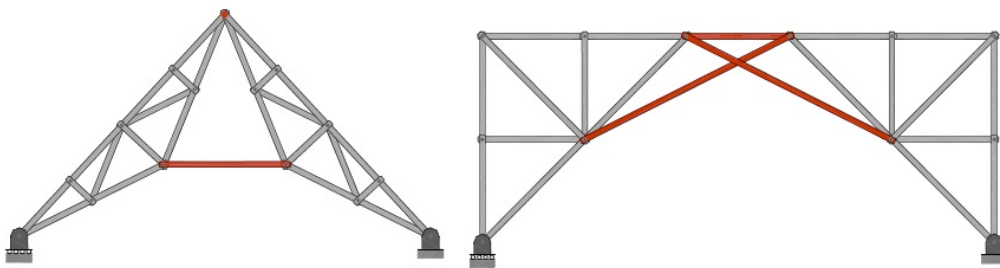


Figura 18 – Treliças compostas [23]

- **Treliças complexas** – quando uma treliça não é simples nem composta geralmente pode-se afirmar que se trata de uma treliça complexa. Este tipo de treliças podem ser constituídas por qualquer combinação de elementos triangulares, quadriláteros ou mesmo poligonais (Figura 19).

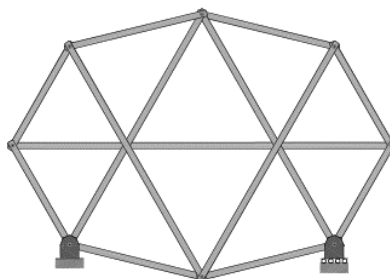


Figura 19 – Treliça complexa [23]

2.2.3 Tipos de esforços existentes

Neste tipo de estrutura o carregamento é realizado nos nós e considera-se que as barras apenas estão sujeitas a esforços normais (tração e compressão), pois os nós são tratados como se fossem rótulas (livre rotação). As treliças são projetadas para suportarem as cargas que atuam no seu plano, sendo assim consideradas como estruturas bidimensionais (Figura 20).

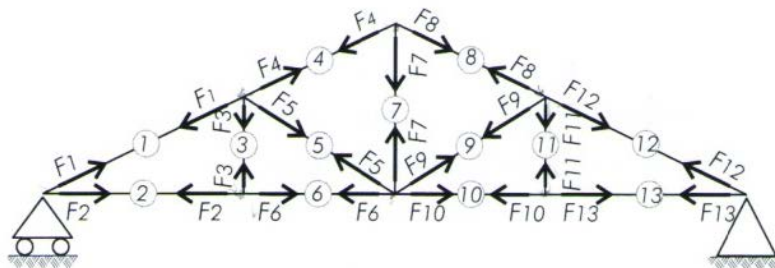


Figura 20 – Exemplo de esforços de tração e compressão numa treliça [25]

Na Figura 21 pode-se observar que a estrutura treliçada da ponte está projetada de forma a que as cargas impostas pelo pavimento e pelo movimento dos veículos sejam transmitidas diretamente aos nós da treliça, tal como foi referido anteriormente.

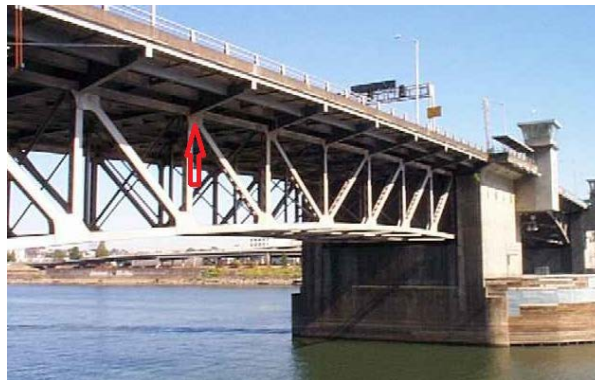


Figura 21 – Cargas impostas nos nós de uma ponte treliçada [26]

2.2.4 Métodos clássicos de cálculo de forças em treliças

A determinação dos esforços axiais nas barras de treliças bidimensionais pode ser, entre outros, realizada com recurso a dois métodos clássicos distintos:

- Método dos nós;
- Método de Ritter ou das secções.

2.2.4.1 Método dos nós

Neste método os nós da treliça são isolados e são marcadas quer as forças exteriores (ativas e reativas) quer os esforços normais das barras concorrentes no nó (Figura 22). De seguida os esforços são sucessivamente calculados por uma ordem que nunca resulte em mais do que duas incógnitas em cada novo nó [23].

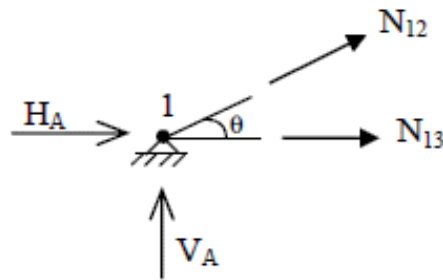


Figura 22 – Exemplo do nó de uma treliça e forças aplicadas [23]

Os esforços normais são determinados como forças que garantem o equilíbrio do nó, pois se a treliça está em equilíbrio os seus nós estarão igualmente em equilíbrio.

Aplicando a equação de equilíbrio de esforços concorrentes num ponto material (1), com as respetivas projeções em x e y, equação (2) e equação (3), respectivamente, podem-se calcular sucessivamente os esforços em cada nó.

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \quad (1)$$

$$\sum \vec{F}_x = \vec{0} \quad (2)$$

$$\sum \vec{F}_y = \vec{0} \quad (3)$$

Durante o cálculo deve-se arbitrar que o esforço a determinar é uma sollicitação à tração, colocando o sinal positivo na incógnita. Caso o resultado tenha sinal positivo (tal como arbitrado) significa que de facto o elemento se encontra sollicitado à tração, caso o sinal seja negativo (contrário ao arbitrado) pode-se afirmar que o elemento está sollicitado à compressão.

2.2.4.2 Método de Ritter

O Método de Ritter consiste em cortar a treliça por uma secção sendo obtidas duas partes totalmente independentes (Figura 23). No entanto, só podem ser cortadas tantas barras quantas equações da estática se possam escrever, uma vez que de outra forma o sistema de equações seria indeterminado. Por exemplo, no caso de se tratar do cálculo de uma treliça bidimensional, apenas podem ser cortadas três barras e estas não devem ser paralelas entre si nem concorrentes num mesmo ponto [23].

Cortando a treliça pela secção nada se altera sob o ponto de vista estático, desde que se substituam as barras cortadas pelos esforços normais nelas atuantes.

O cálculo das incógnitas é realizado com recurso às equações universais da estática, com uma ordem tal que permita a determinação direta de cada uma das incógnitas.

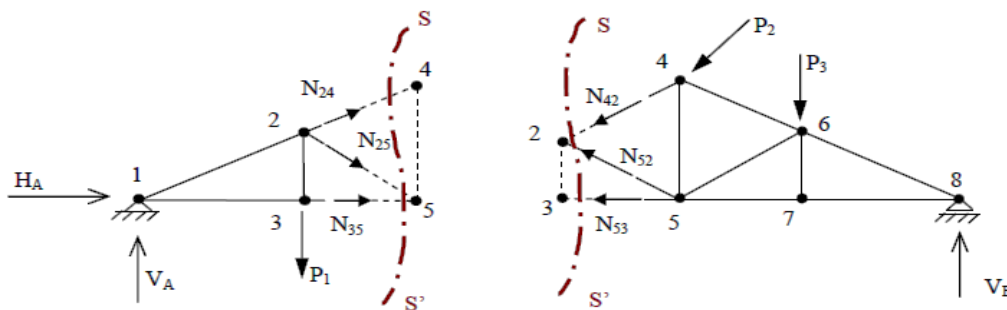


Figura 23 – Exemplo de corte de uma secção com o Método de Ritter [23]

2.3 Bases de cálculo

2.3.1 Conceitos base

O cumprimento dos requisitos de segurança e serviço de uma estrutura requerem a utilização do EC3 de forma consistente com os regulamentos mencionadas no capítulo 2.1.1. Devem igualmente ser tidos em conta a norma EN 1090 e os restantes Eurocódigos estruturais [27].

De acordo com [27], uma estrutura ao abrigo da norma EN 1090 deve ser dimensionada tendo em conta a função/condições de funcionamento e o seu período de vida útil pré-estabelecido. Devem ser corretamente escolhidos os materiais, bem como condições de concepção e montagem para que sejam verificados [27]:

- Estados de limite últimos - condição que impede o colapso da estrutura;
- Estados limites de utilização – condição que garante a segurança durante a sua utilização;
- Condições de durabilidade – proteção contra corrosão por exemplo;

Podem igualmente ser consideradas as seguintes situações de projeto [27]:

- Situações persistentes – condições normais de funcionamento;
- Situações transitórias – condições temporárias como reparações e construção por exemplo;
- Situações acidentais – condições de acidente, normalmente com baixa probabilidade de acontecerem;
- Situações sísmicas.

Geralmente na verificação dos estados limites, as ações são majoradas e as resistências dos materiais são minoradas (secção 6 da norma NP EN 1190), dando-se o nome de método dos coeficientes parciais. Este método envolve as seguintes variáveis básicas [27]:

- Ações e influências ambientais;
- Caracterização mecânica dos materiais;
- Caracterização geométrica da estrutura.

2.3.2 Variáveis básicas

2.3.2.1 Ações e influências ambientais

A determinação e quantificação das ações atuantes é uma fase crucial em qualquer projeto, pois têm obrigatoriamente de corresponder à realidade para que a estrutura não seja dimensionada com base em condições mal definidas. Existem três tipos de solicitações principais, que se devem considerar durante o dimensionamento [1, 27]:

- **Ações permanentes (G)** - Ações com elevada probabilidade de ocorrência durante um determinado período de referência e cuja variação de intensidade no tempo é desprezável ou é sempre no mesmo sentido (monotónica). O peso do revestimento e o peso próprio da estrutura são exemplos de ações permanentes.
- **Ações variáveis (Q)** – Ações cuja variação de intensidade no tempo não é desprezável nem monotónica. A sobrecarga e ações do vento e neve são exemplos de ações variáveis;
- **Ações de acidente (A)** – normalmente de curta duração mas com intensidade significativa, apresentam uma reduzida probabilidade de ocorrência durante o tempo e vida útil de projeto.

2.3.2.2 Combinação de ações

Para cada caso de carga, os valores de cálculo dos efeitos das ações devem ser determinados combinando os valores das ações que se consideram poder ocorrer simultaneamente.

Cada combinação de ações deverá incluir:

- Uma ação variável de base da combinação;
- ou
- Uma ação de acidente.

O formato geral dos efeitos das ações deverá corresponder à equação (4):

$$E_d = E \left\{ \gamma_{G,j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,1} Q_{k,1}; \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} G_{k,i} \right\} j \geq 1; i > 1 \quad (4)$$

Onde:

E_d - Valor de cálculo do efeito das ações;

$\gamma_{G,j}$ - Coeficiente parcial relativo à ação permanente j ;

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

$\gamma_{Q,1}$ - Coeficiente parcial relativo a ações variáveis da combinação 1;

$Q_{k,1}$ - Valor característico da ação variável de base da combinação 1;

$\gamma_{Q,i}$ - Coeficiente parcial relativo a ações variáveis de uma ação variável i ;

$\Psi_{0,i}$ - Coeficiente para a determinação do valor de combinação de uma ação variável i ;

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

Os valores recomendados para os coeficientes Ψ podem ser consultados no Quadro A.1.1 do ECO [1] (Tabela 1).

Tabela 1 – Coeficientes de combinação (Adaptado do ECO [1])

Ação	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Sobrecarga	0	0	0
Neve	0,5	0,2	0
Vento	0,6	0,2	0

Os valores de cálculo das ações podem ser consultados no Quadro A1.2(A) do ECO (Figura 24).

Situações de projecto persistentes e transitórias	Acções permanentes		Acção variável de base da combinação ^{*)}	Acções variáveis acompanhantes	
	Desfavoráveis	Favoráveis		Principais (caso existam)	Outras
(Expressão 6.10)	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{6,i} Q_{k,i}$
<p>^{*)} As acções variáveis são as consideradas no Quadro A1.1.</p> <p>NOTA 1: Os valores de γ poderão ser definidos no Anexo Nacional. O conjunto de valores recomendados para γ é: $\gamma_{Gj,sup} = 1,10$ $\gamma_{Gj,inf} = 0,90$ $\gamma_{Q,1} = 1,50$ nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis) $\gamma_{Q,i} = 1,50$ nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis)</p> <p>NOTA 2: Nos casos em que a verificação do equilíbrio estático também envolva a resistência dos elementos estruturais, como alternativa às duas verificações separadas baseadas nos Quadros A1.2(A) e A1.2(B) poderá ser adoptada uma verificação combinada, caso o Anexo Nacional o permita, baseada no Quadro A1.2(A) e com o seguinte conjunto de valores recomendados, que poderão ser alterados nesse Anexo: $\gamma_{Gj,sup} = 1,35$ $\gamma_{Gj,inf} = 1,15$ $\gamma_{Q,1} = 1,50$ nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis) $\gamma_{Q,i} = 1,50$ nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis) desde que a aplicação de $\gamma_{Gj,inf} = 1,00$, tanto às parcelas favoráveis como desfavoráveis das acções permanentes, não produza um efeito mais desfavorável.</p>					

Figura 24 – Valores de cálculo das acções [1]

2.3.2.3 Propriedades dos materiais

Para o cálculo das propriedades dos materiais, os seus valores característicos devem ser divididos pelos correspondentes coeficientes de segurança γ_{Mi} [27].

Segundo o EC3, os valores de coeficientes parciais de segurança a utilizar são os seguintes:

- $\gamma_{M0} = 1,00$ (usado na verificação da resistência das secções);
- $\gamma_{M1} = 1,00$ (usado nas verificações de estabilidade);
- $\gamma_{M2} = 1,25$ (usado nas ligações ou na verificação da resistência de secções tracionadas em zonas com furos).

Em projeto devem ser utilizadas propriedades baseadas em normas de produto ou normas de ensaio [27].

2.3.3 Estados Limites Últimos

Ao estado a partir do qual pode ocorrer o colapso da estrutura ou de parte dela, colocando em risco a segurança dos seus utilizadores, dá-se o nome de estado limite último [27].

A ocorrência deste fenómeno pode ter as seguintes causas [27]:

- Perda de equilíbrio da estrutura ou de um dos seus elementos;
- Ruína da estrutura ou dos seus elementos e ligações;
- Deformação excessiva das fundações;
- Rotura por fadiga.

Para que o cumprimento dos estados limites últimos sejam verificados deve ser respeitada a condição expressa na equação (5) [1]:

$$E_d \leq R_d \quad (5)$$

onde,

E_d - valor de cálculo do efeito das ações;

R_d - valor de cálculo da resistência correspondente.

2.3.4 Estados Limites de Utilização

Os estados limites de utilização correspondem a um estado a partir do qual as condições de utilização deixam de ser verificadas. Para que o cumprimento dos estados limites de utilização sejam verificados deve ser respeitada a condição expressa na equação (6) [1]:

$$E_d \leq C_d \quad (6)$$

Onde:

E_d - valor de cálculo do efeito das ações;

C_d - valor limite definido regulamentarmente para o efeito.

2.3.4.1 Verificação do Estado Limite de Deformação

Caso não sejam acordados valores entre o dono da obra e o projetista, devem ser utilizados os valores recomendados no Anexo Nacional Português do EC3-1-1, tal como referido nos sub-capítulos seguintes [5, 27].

2.3.4.1.1 Deslocamentos verticais

A flecha resultante do deslocamento vertical das vigas é calculada com recurso à equação (7), que se baseia na Figura 25 [5]:

$$\delta_{\max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0 \quad (7)$$

Onde:

δ_{\max} - flecha no estado final em relação à linha reta que une os apoios;

δ_0 - contra flecha da viga no estado não carregado;

δ_1 - variação da flecha da viga devida às ações permanentes, imediatamente após a sua aplicação;

δ_2 - variação da flecha da viga devida à ação variável de base associada aos valores de combinação.

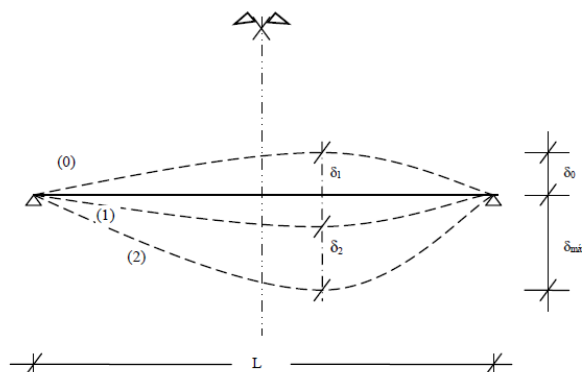


Figura 25 – Deslocamentos verticais [5]

Os valores de deslocamento vertical recomendados são indicados no Quadro NA.I do EC3-1-1 [5] (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores de deslocamentos verticais admissíveis (Adaptado do EC3 [5])

Condição	Limites	
	δ_{\max}	δ_2
Coberturas em geral	L/200	L/250

2.3.4.1.2 Deslocamentos horizontais

Na verificação dos deslocamentos horizontais em estruturas porticadas (Figura 26) devem ser respeitados os valores recomendados pelo Anexo Nacional Português (NA-7.2.2(1)B) [5], ilustrado na Tabela 3.

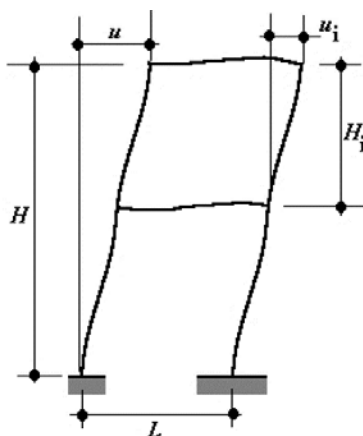


Figura 26 – Deslocamentos horizontais [5]

Tabela 3 - Valores de deslocamentos horizontais admissíveis (Adaptado EC3 [5])

Condições		Limites
Pórticos sem aparelhos de elevação		$H_i/150$
Outros edifícios de um só piso		$H_i/300$
Edifícios de vários pisos	Em cada piso	$H_i/300$
	Na estrutura globalmente	$H_0/500$

2.3.5 Durabilidade

Para que a durabilidade de uma estrutura metálica seja garantida, devem ser tidos em conta alguns cuidados, principalmente devido à corrosão. A proteção anti-corrosão (Figura 27) em estruturas metálicas pode ser obtida pelo recurso a pinturas orgânicas, galvânicas e de metalização ou pela utilização de aços auto protegidos [27].

Os requisitos de durabilidade a assegurar são indicados na cláusula 2.4 do EC0.



Figura 27 – Galvanização [28]

2.4 Critérios de dimensionamento

2.4.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentados os critérios de dimensionamento adoptados para o projeto da estrutura metálica. A descrição será focada apenas nos critérios necessários ao dimensionamento dos elementos do pavilhão industrial em estudo:

- **Pórtico treliçado** – NP EN 1993-1-1 – Eurocódigo 3, cláusula 6.2.3 e cláusula 6.2.4, para tração e compressão respetivamente [5];
- **Pilares** - NP EN 1993-1-1 – Eurocódigo 3, cláusula 6.2.9, para flexão composta [5];
- **Madres** - NP EN 1993-1-1 – Eurocódigo 3, cláusula 6.3.2 para flexão em elementos não restringidos lateralmente [5, 27];
- **Contraventamentos** - NP EN 1993-1-1 – Eurocódigo 3, cláusula 6.2.3 e cláusula 6.2.4, para tração e compressão, respetivamente [5].

2.4.2 Classificação de secções transversais metálicas

Dependendo da capacidade de utilização das suas propriedades plásticas, a diferentes secções existentes podem ser classificadas em [27]:

- **Classe 1** – podem formar uma rótula plástica, com capacidade de rotação superior à mínima exigida para utilização de métodos plásticos de análise;
- **Classe 2** – conseguem atingir o momento plástico, mas possuem capacidade de rotação reduzida;
- **Classe 3** – a tensão na fibra extrema mais comprimida do elemento de aço pode atingir o valor da tensão de cedência, mas o momento plástico não é atingido devido à encurvadura local;
- **Classe 4** – a encurvadura local impede que seja atingida a tensão de cedência nas zonas mais comprimidas da secção.

Na Figura 28 pode ser observado o comportamento à flexão para as diferentes classes de secções.

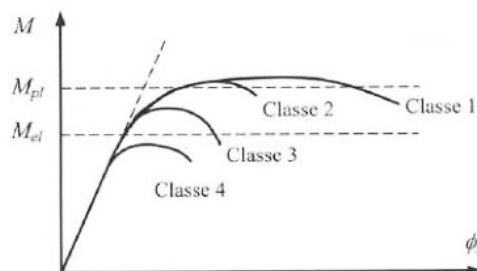


Figura 28 – Comportamento à Flexão para as diversas classes de secções [27]

A classificação das secções é realizada com recurso aos Quadros 5.2 do EC3-1-1, presentes no anexo 6.1 deste trabalho.

2.4.3 Resistência de secções transversais

Em secções de classe 1 ou classe 2 pode ser usada a resistência plástica, nas secções de classe 3 deve ser usada a resistência elástica. Quanto às secções de classe 4 deve ser utilizada a resistência elástica, no entanto deve ser considerada a secção efetiva reduzida devido ao risco de encurvadura local [27].

É possível dimensionar todas as secções considerando a sua capacidade elástica, no entanto esta solução leva geralmente a soluções menos económicas. Neste caso pode ser usado o critério de von Mises nos pontos críticos das secções (equação (8)) [27].

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right) + 3\left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}\right)^2 \leq 1 \quad (8)$$

onde,

$\sigma_{x,Ed}$ - valor de cálculo da tensão longitudinal;

$\sigma_{z,Ed}$ - valor de cálculo da tensão transversal;

τ_{Ed} - valor de cálculo da tensão tangencial;

f_y - tensão de cedência do aço.

Segundo a cláusula 6.2.1(7) do EC3-1-1 pode ser utilizado de forma conservativa outro critério de dimensionamento, caso não hajam critérios mais rigorosos para a aplicação em causa (equação (9)) [27].

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \quad (9)$$

Onde:

N_{Ed} - Valor de cálculo do esforço axial;

$M_{y,Ed}$ - Valor de cálculo do momento fletor em torno de y;

$M_{z,Ed}$ - Valor de cálculo do momento fletor em torno de z;

N_{Rd} - Valor de cálculo do esforço axial resistente;

$M_{y,Rd}$ - Valor de cálculo do momento fletor resistente em torno de y;

$M_{z,Rd}$ - Valor de cálculo do momento fletor resistente em torno de z.

2.4.4 Tração

Segundo a cláusula 6.2.3 do EC3-1-1:

Para elementos à tração deve ser satisfeita a condição da equação (10),

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \quad (10)$$

onde:

$N_{t,Rd}$ - valor de cálculo do esforço axial resistente de tração;

N_{Ed} - valor de cálculo do esforço axial de tração atuante.

No caso de secções com furos, o valor de cálculo do esforço normal resistente de tração, $N_{t,Rd}$, deverá ser considerado o menor valor entre $N_{pl,Rd}$ (equação (11)) e $N_{u,Rd}$ (equação (12)),

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (11)$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad (12)$$

onde:

$N_{pl,Rd}$ - resistência plástica da secção bruta;

$N_{u,Rd}$ - resistência última da secção útil na zona de ligação;

A - área total da secção transversal;

A_{net} - área útil da secção transversal na zona dos furos;

f_u - tensão última do aço.

Para barras com ligações aparafusadas pré-esforçadas (ligações categoria C do EC3-1-8, 3.4.1(1)), o valor de cálculo do esforço axial de tração resistente da secção útil deve cumprir a condição da equação (13) [27]:

$$N_{t,Rd} = N_{net,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (13)$$

2.4.5 Compressão

Segundo a cláusula 6.2.4 do EC3-1-1:

Para elementos à compressão deve ser satisfeita a condição da equação (14),

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1 \quad (14)$$

onde:

$N_{c,Rd}$ - valor de cálculo do esforço axial de compressão resistente;

O valor de $N_{c,Rd}$ é determinado com recurso à equação (15) para secções da classe 1, 2 ou 3 e com recurso à equação (16) para secções de classe 4.

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (15)$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (16)$$

onde:

A_{eff} - área efetiva de uma secção transversal de classe 4.

Em elementos comprimidos deve verificar-se a condição da equação (17), geralmente condicionante:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd} \quad (17)$$

onde:

$N_{b,Rd}$ - valor de cálculo da resistência à encurvadura do elemento.

A resistência à encurvadura em elementos de secção e esforço axial constante é determinada com recurso à equação (18) para secções da classe 1, 2 ou 3 e com recurso à equação (19) para secções de classe 4.

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad (18)$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad (19)$$

Onde:

χ - fator de redução para o modo de encurvadura relevante;

O coeficiente χ pode ser determinado com recurso à equação (20):

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}, \text{ com } \chi \leq 1,0 \quad (20)$$

Onde $\phi = 0,5 \left(1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right)$ e $\bar{\lambda}$ é o coeficiente de esbelteza normalizada, dada pela equação (21) para secções da classe 1, 2 e 3 e pela equação (22) para secções da classe 4.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{A \cdot f_y / N_{cr}} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1} \quad (21)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{A_{eff} \cdot f_y / N_{cr}} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{\sqrt{A_{eff} / A}}{\lambda_1} \quad (22)$$

Onde:

N_{cr} - carga crítica de Euler no plano mais condicionante à encurvadura;

L_{cr} - comprimento de encurvadura correspondente;

α - fator de imperfeição.

2.4.6 Flexão composta

As expressões regulamentares para verificação de segurança de elementos submetidos a flexão composta com compressão, resultam de fórmulas de interação M-N, calibradas com base em ensaios experimentais (equação (23)) [27].

$$f \left(\frac{N}{N_u}, \frac{M_y}{M_{uy}}, \frac{M_z}{M_{uz}} \right) \leq 1,0 \quad (23)$$

Segundo a cláusula 6.2.9 do EC3-1-1:

- a) Para secções de classe 1 ou 2 deve ser cumprida a condição da equação (24):

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd} \quad (24)$$

Onde:

M_{Ed} - valor de cálculo do momento fletor atuante;

$M_{N,Rd}$ - valor de cálculo do momento fletor resistente, reduzido devido ao esforço axial.

Para diferentes tipos de secções existem diferentes métodos de determinação de $M_{N,Rd}$, pelo que devem ser seguidos os passos necessários apresentados na cláusula 6.2.9.1 do EC3-1-1.

- b) Para secções de classe 3 ou 4 deve ser cumprida a condição da equação (25):

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (25)$$

Onde:

$\sigma_{x,Rd}$ - tensão normal máxima.

- c) Interação da flexão composta com o esforço transversal [27]

- Quando $V_{ed} > 50\%$ do valor de cálculo de $V_{pl,Rd}$, não é necessário reduzir o valor de cálculo do momento fletor, nem do esforço axial resistente;
- Quando $V_{ed} > 50\%$ do valor de cálculo de $V_{pl,Rd}$, então a resistência à combinação da flexão com o esforço axial deve ser avaliada, usando uma tensão de cedência reduzida dada por:

$$(1-\rho) \cdot f_y \quad (26)$$

Em que:

$$\rho = (V_{Ed} / V_{pl,Rd} - 1)^2 \quad (27)$$

- d) Estabilidade de elementos submetidos a flexão composta desviada

Para a correta verificação da segurança em relação à encurvadura por flexão e à encurvadura lateral, numa secção duplamente simétrica, submetida a flexão composta com compressão, devem ser cumpridas as condições expressas na equação (28) e na equação (29) [27]:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{LT} M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1 \quad (28)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{LT} M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} \leq 1 \quad (29)$$

Onde:

$\Delta M_{y,Ed}$ e $\Delta M_{z,Ed}$ - acréscimos de momentos fletores devido a excentricidades em secções de classe 4, conforme a cláusula 6.2.9.3 do EC3-1-1;

χ_y e χ_z - coeficientes de redução devido à encurvadura por flexão, conforme a cláusula 6.3.1 do EC3-1-1;

χ_{LT} - coeficiente de redução devido à encurvadura lateral, conforme a cláusula 6.3.2 do EC3-1-1;

$k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}$ - fatores de interação.

Os fatores de interação podem ser calculados com recurso ao Método 1 e Método 2. Para o cálculo dos fatores de interação segundo o Método 1 e Método 2, devem ser consultados o Anexo A e Anexo B do EC3-1-1, respetivamente.

2.4.7 Flexão em elementos não restringidos lateralmente

Segundo o EC3-1-1, a verificação de um elemento à encurvadura lateral deve respeitar a condição expressa na equação (30),

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1 \quad (30)$$

onde:

M_{Ed} - valor de cálculo do momento fletor atuante;

$M_{b,Rd}$ - valor de cálculo do momento fletor resistente à encurvadura lateral (Equação (31));

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad (31)$$

Onde:

- $W_y = W_{pl,y}$ em secções de classes 1 e 2;
- $W_y = W_{el,y}$ em secções de classe 3;
- $W_y = W_{eff,y}$ em secções de classe 4;
- χ_{LT} - coeficiente de redução devido à encurvadura lateral.

O EC3-1-1 apresenta dois métodos para o cálculo de χ_{LT} [27]:

- Método geral – mais conservativo e aplicável a qualquer tipo de secção;
- Método alternativo – aplicável apenas a secções laminadas ou secções soldadas equivalentes.

a) Método geral

De acordo com a cláusula 6.3.2.2 do EC3-1-1, o coeficiente χ_{LT} é determinado pela equação (32):

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}, \text{ com } \chi_{LT} \leq 1,0 \quad (32)$$

Onde $\phi = 0,5 \left(1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right)$ e $\bar{\lambda}_{LT}$ é o coeficiente de esbelteza normalizada, dada pela equação (33).

$$\bar{\lambda}_{LT} = \left[W_y \cdot f_y / M_{cr} \right]^{1/2} \quad (33)$$

O método para cálculo do valor do momento crítico elástico M_{cr} (momento máximo que uma viga, em condições ideais, pode suportar sem encurvar lateralmente), será apresentado seguidamente. Caso a viga cumpra os requisitos abaixo indicados, pode ser utilizado o caso padrão (equação (34)) [27]:

- Viga perfeitamente linear, sem qualquer tipo de imperfeições;
- Secção transversal duplamente simétrica;
- Material com comportamento elástico linear;
- Deformações pequenas.

$$M_{cr}^E = \frac{\pi}{L} \sqrt{GI_T EI_z \left(1 + \frac{\pi^2 EI_w}{L^2 GI_T} \right)} \quad (34)$$

Onde:

I_z - momento de inércia da secção em relação ao eixo z;

I_T - constante de torção uniforme;

I_w - constante de empenamento;

L - comprimento entre secções da viga contraventadas lateralmente;

E e G - módulos de elasticidade longitudinal e transversal, respectivamente.

Para outros casos em que os elementos possuam outras condições de apoio e estejam submetidos a diagramas de momentos fletores com diferentes configurações a equação modifica-se, conduzindo a outros valores de M_{cr} . Em casos mais práticos recorrem-se geralmente a fórmulas aproximadas aplicáveis a um vasto leque de situações no projeto de estruturas metálicas [27].

Recorrendo à formulação de Trahair pode ser considerada a equação (35) (de forma conservativa), se se verificarem as condições do caso padrão para as secções extremas. Caso não sejam cumpridas essas condições, devem ser utilizadas expressões especificamente deduzidas para o efeito [27].

$$M_{cr} = \alpha_m M_{cr}^E \tag{35}$$

Onde α_m pode ser definido com recurso à tabela representada na Figura 29.

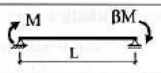
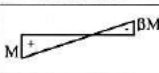
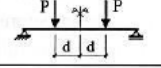
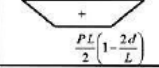
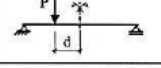
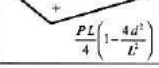
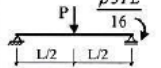
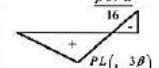
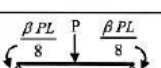
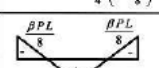
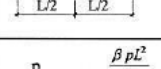
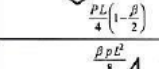
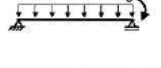
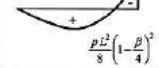
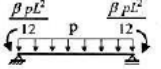
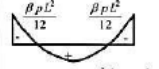

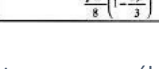

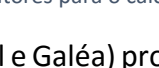
Elemento	Diagrama de momentos	α_m	Limites de validade
		$1.75 + 1.05\beta + 0.3\beta^2 \leq 2.5$	$-1 \leq \beta \leq 1$
		$1.0 + 0.35(1 - 2d/L)^2$	$0 \leq \frac{2d}{L} \leq 1$
		$1.35 + 0.4(2d/L)^2$	$0 \leq \frac{2d}{L} \leq 1$
		$1.35 + 0.15\beta$	$0 \leq \beta \leq 0.89$
		$-1.2 + 3\beta$	$0.89 \leq \beta \leq 1$
		$1.35 + 0.36\beta$	$0 \leq \beta \leq 1$
		$1.13 + 0.10\beta$	$0 \leq \beta \leq 0.7$
		$-1.25 + 3.5\beta$	$0.7 \leq \beta \leq 1$
		$1.13 + 0.12\beta$	$0 \leq \beta \leq 0.75$
		$-2.38 + 4.8\beta$	$0.75 \leq \beta \leq 1$

Figura 29 – Fatores para o cálculo do momento crítico [27]

Outros autores (Clark e Hill e Galéa) propõem ainda uma equação mais abrangente e de espectro de aplicação mais elevado, que pode constituir uma boa alternativa em algumas situações de projeto (equação (36)) [27].

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(k_z L)^2} \left\{ \left[\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z L)^2 GI_T}{\pi^2 EI_z} + (C_2 Z_g - C_3 Z_j)^2 \right]^{0.5} - (C_2 Z_g - C_3 Z_j) \right\} \tag{36}$$

Onde:

- C_1, C_2 e C_3 são coeficientes dependentes da forma do diagrama de momentos fletores e das condições de apoio;
- k_z e k_w são fatores de comprimento efetivo dependentes das condições de apoio nas extremidades;
- $z_g = (z_a - z_s)$, onde z_a e z_s são coordenadas do ponto de aplicação da carga e do centro de corte, em relação ao centro de gravidade da secção;
- $z_j = z_s - \left(0,5 \int_A (y^2 + z^2) (z / I_y) dA \right)$ é um parâmetro que traduz o grau de assimetria da secção em relação ao eixo y .

Os diferentes coeficientes utilizados nesta equação podem ser definidos com recurso às tabelas da Figura 30 e Figura 31.

Carregamento e condições de apoio	Diagrama de momentos	k_z	C_1	C_3	
				$\psi_f \leq 0$	$\psi_f > 0$
	$\psi = +1$	1.0 0.5	1.00 1.05	1.000 1.019	
	$\psi = +3/4$	1.0 0.5	1.14 1.19	1.000 1.017	
	$\psi = +1/2$	1.0 0.5	1.31 1.37	1.000 1.000	
	$\psi = +1/4$	1.0 0.5	1.52 1.60	1.000 1.000	
	$\psi = 0$	1.0 0.5	1.77 1.86	1.000 1.000	
	$\psi = -1/4$	1.0 0.5	2.06 2.15	1.000 1.000	0.850 0.650
	$\psi = -1/2$	1.0 0.5	2.35 2.42	1.000 0.950	$1.3 - 1.2\psi_f$ $0.77 - \psi_f$
	$\psi = -3/4$	1.0 0.5	2.60 2.45	1.000 0.850	$0.55 - \psi_f$ $0.35 - \psi_f$
	$\psi = -1$	1.0 0.5	2.60 2.45	$-\psi_f$ $-0.125 - 0.7\psi_f$	$-\psi_f$ $-0.125 - 0.7\psi_f$

• Em vigas submetidas a momentos de extremidade, por definição $C_2 z_g = 0$;
 • $\psi_f = \frac{I_{fc} - I_{ft}}{I_{fc} + I_{ft}}$, sendo I_{fc} e I_{ft} os momentos de inércia dos banzos comprimido e traccionado, respectivamente, em relação ao eixo de menor inércia da secção (eixo z);
 • C_1 deve ser dividido por 1.05 quando $\frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_T}} \leq 1.0$, mas $C_1 \geq 1.0$.

Figura 30 – Coeficiente C_1 e C_3 para vigas com momentos de extremidade [27]

Carregamento e condições de apoio	Diagrama de momentos	k_z	C_1	C_2	C_3
		1.0	1.12	0.45	0.525
		0.5	0.97	0.36	0.478
		1.0	1.35	0.59	0.411
		0.5	1.05	0.48	0.338
		1.0	1.04	0.42	0.562
		0.5	0.95	0.31	0.539

Figura 31 – Coeficientes C_1, C_2 e C_3 para vigas com cargas transversais [27]

2.5 Método de Elementos Finitos para o projeto de estruturas treliçadas

2.5.1 Introdução à ferramenta de projeto

Genericamente o Método dos Elementos Finitos (MEF) consiste na análise elementos muito pequenos de um sólido. Essa análise é feita em centenas ou milhares de elementos (dependendo do refinamento da malha), e o resultado final da análise do sólido resulta da interação entre a totalidade dos elementos individuais em análise (Figura 32 e Figura 33).

Deste modo, quanto mais refinada for a malha mais tempo demorará a análise do sólido, mas também mais precisos serão os resultados.

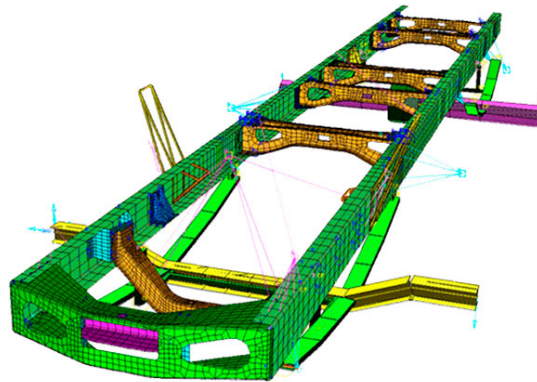


Figura 32 – Exemplo de malha de elementos finitos [29]

Este método teve o seu pico de desenvolvimento na década de 60, no entanto a sua aplicabilidade era limitada devido à complexidade e dimensão de cálculo necessários. Com a evolução da tecnologia começou a ser possível fazer análises mais complexas, pois os computadores têm uma rapidez e capacidade de cálculo muito elevadas.

Pode-se dizer que a aplicabilidade deste método está diretamente relacionada com a própria evolução dos computadores [30].

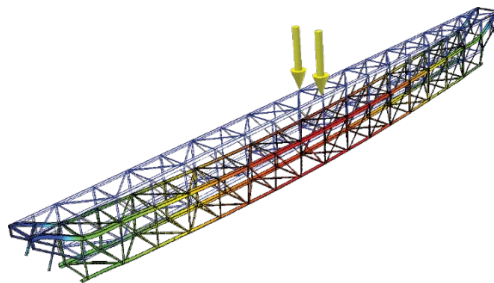


Figura 33 – Malha de elementos finitos aplicada a uma estrutura treliçada

Em situações que seja necessário recorrer ao MEF para as análises estruturais, e dependendo do contexto de aplicação, existem seis tipos principais de elementos finitos:

- Elementos unidimensionais;
- Elementos bidimensionais;
- Elementos tridimensionais;
- Elementos axisimétricos;
- Elementos de placa;
- Elementos de casca.

Para o projeto do pavilhão industrial serão utilizados os elementos unidimensionais (caracterizados por uma área de secção definida e representados por linhas retilíneas) que podem ser divididos em:

- **Elementos de barra** – aplicados a estruturas articuladas (treliças por exemplo) nas quais a ligação entre diferentes elementos é feita com recurso a rótulas. Este tipo de elementos estão sujeitos apenas a esforços de extremidade, pelo que se encontram solicitados puramente à tração e compressão (Figura 34)[30].

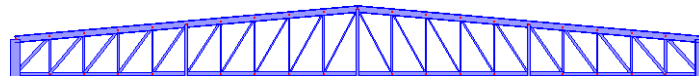


Figura 34 – Elementos de barra

- **Elementos de viga** – este tipo de elemento está sujeito a esforço axial e esforço transversal e é utilizado em estruturas reticuladas contínuas. Como são utilizadas ligações rígidas entre os diferentes elementos, deste tipo de elemento finito resultam também esforços causados pelos momentos fletores (Figura 35)[30].

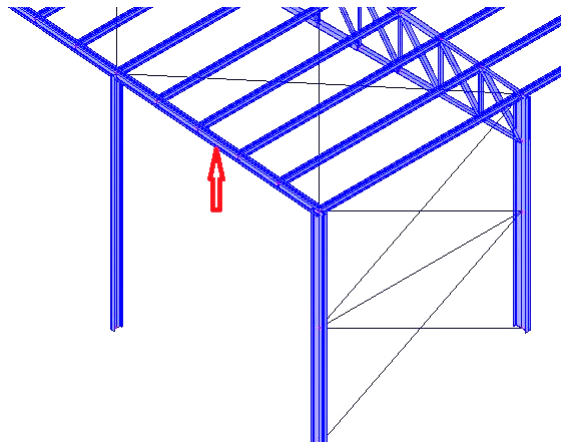


Figura 35 – Elementos de viga

- **Elementos de estrutura** – este tipo de elemento é muito semelhante aos elementos de viga, no entanto os elementos estão orientados segundo direções diferentes no plano (Figura 36)[30].

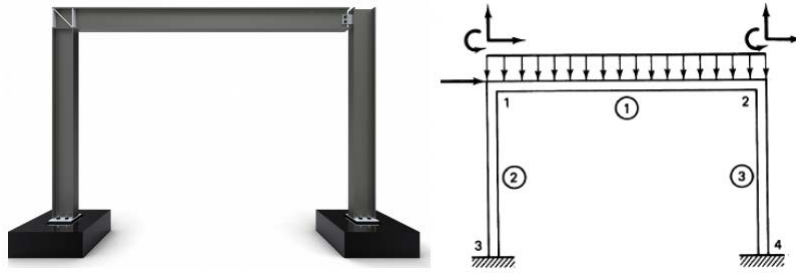


Figura 36 – Elementos de estrutura [30, 31]

Atualmente existem softwares que permitem:

- Modelar a 3 dimensões os sólidos ou conjuntos de sólidos a analisar;
- Definir materiais e refinamento de malha;
- Inserir condições fronteira e respetivas cargas a aplicar;
- Escolher o tipo de análise (estática, dinâmica, fadiga, mecânica de fluídos, entre outros);
- Obter resultados diversos (tensões, deformações, deslocamentos, coeficientes de segurança, entre outros).

Na pior das situações, este tipo de análise permite fazer uma boa aproximação do sólido final, pelo que os pormenores finais devem ser realizados através de outros métodos, como por exemplo ensaios mecânicos.

No projeto de estruturas de grandes dimensões por vezes é uma boa alternativa recorrer a ferramentas de cálculo, que calculam em segundos o que poderia demorar várias horas a ser calculado manualmente. Nos dias de hoje, os programas de cálculo computadorizado estão tão avançados e precisos que são usados quase na totalidade dos projetos de engenharia.

2.5.2 Vantagens da utilização em projeto

Este tipo de ferramentas são indispensáveis atualmente devido a algumas ou até à totalidade das seguintes vantagens:

- **Rapidez** – a ferramenta devolve valores em segundos (sejam eles esforços ou deslocamentos), enquanto que o método manual poderia levar horas ou mesmo dias;
- **Dinamismo** - permite repetir a análise consecutivamente até que se obtenha uma solução de dimensionamento adequada;
- **Precisão** – os programas de cálculo atuais devolvem resultados bastantes precisos. Em alguns casos, em função do programa utilizado e da estrutura a analisar, devolve valores iguais ao verificado experimentalmente;

- **Economia** – sem dúvida uma das principais vantagens, pois permite uma grande economia de tempo e recursos, que consequentemente leva a uma grande redução de custos.

2.5.3 *Software* existente e respetivas potencialidades

Existe no mercado uma grande variedade de *software* de MEF, cada um deles especializado num tipo de área de atuação. Existem programas mais ligados ao desenho e análise de sólidos, como é o caso do *Autodesk Inventor* e do *Solidworks*, bem como existem programas mais especializados em estruturas como é o caso do *Multiframe4D* e do *Autodesk Robot Structural Analysis Professional*. Outros exemplos de *software* de MEF são o *Ansys*, *Abaqus* e *Nastran*.

Ao longo deste projeto será utilizada a ferramenta de cálculo *Autodesk Robot Structural Analysis Professional* que permite que sejam inseridas as ações impostas (calculadas de acordo com o EC1 e definidas no capítulo 3.3) e posteriormente sejam calculados automaticamente os esforços normais, esforços de corte e momentos fletores que os diversos elementos da estrutura estão sujeitos.

Com os esforços devolvidos pode-se então dimensionar a estrutura em concordância com os requisitos impostos pelo EC3.

2.5.4 Casos práticos de dimensionamento

Um exemplo prático da utilização do *Autodesk Robot Structural Analysis Professional* foi o projeto e desenvolvimento do estádio “Arena das Dunas”, localizado no Brasil e construído no âmbito do *FIFA World Cup 2014*.

Segundo alguns dos responsáveis pelo projeto, o programa permitiu a exploração de novas formas e ajudou bastante no dimensionamento de uma estrutura dita complexa e desafiante.

Na Figura 37 podemos observar quer o estádio em fase de projeto quer o aspeto final da estrutura.

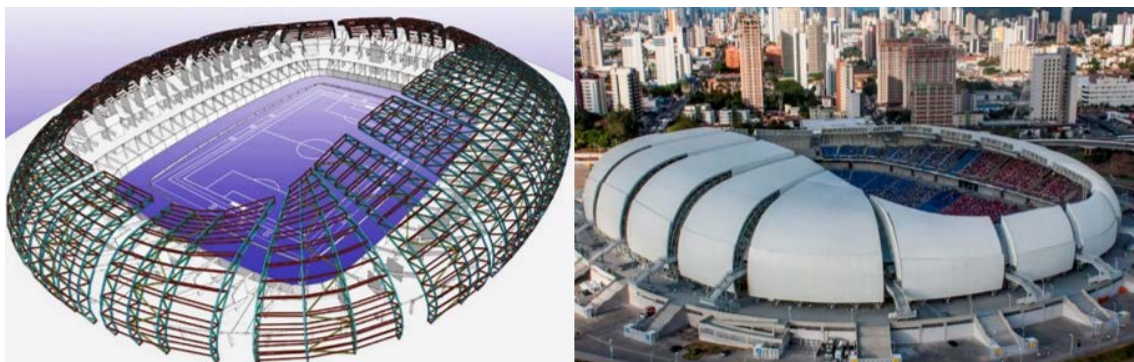


Figura 37 – Caso de aplicação do *Autodesk Robot Structural Analysis Professional* [32]

DESENVOLVIMENTO

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Descrição do pavilhão industrial a projetar

Tal como descrito anteriormente, o principal objetivo desta dissertação é o dimensionamento da estrutura metálica de um pavilhão industrial. Em termos geométricos o edifício tem uma configuração rectangular em planta, com uma cobertura de duas vertentes.

Segundo o EC1, a localização de qualquer edifício influencia diretamente o seu dimensionamento, pois altera as ações aplicadas a considerar, como tal um dos primeiros passos passa por definir a localização do pavilhão industrial que, neste caso, corresponde ao Concelho de Amarante, Distrito do Porto, a uma altitude de 260 m acima da cota do mar (Figura 38).

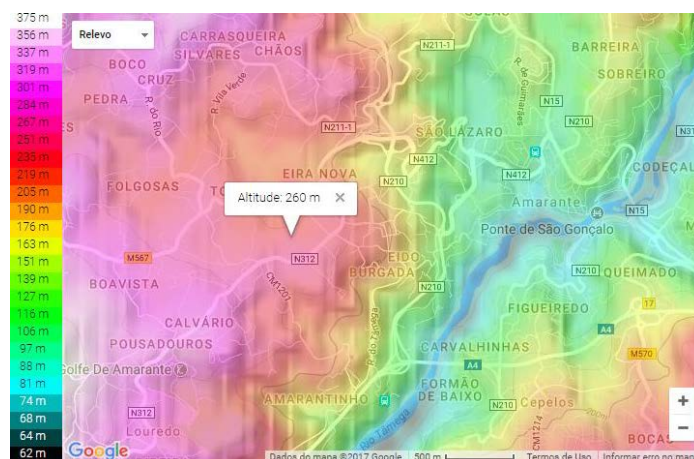


Figura 38 – Altitude e localização do pavilhão industrial [33]

No capítulo 2.1.4 foram apresentadas as diferentes soluções estruturais que se podem adoptar. Para o caso em estudo foi adoptada uma solução de pórtico rígido treliçado, com geometria Howe (Figura 16) com as seguintes características:

- Vão de 40 m;
- Altura de pilar igual a 10 m e altura total igual a 11,75 m;
- Altura de serviço de 8 m;
- Inclinação de vertentes de 5°.

Quanto às dimensões gerais, trata-se de um pavilhão de planta retangular com 70x40 m, com um espaçamento de 10 m entre pórticos treliçados, que resultam numa área coberta de 2800 m². A geometria e dimensões globais do pavilhão podem ser observadas na Figura 39.

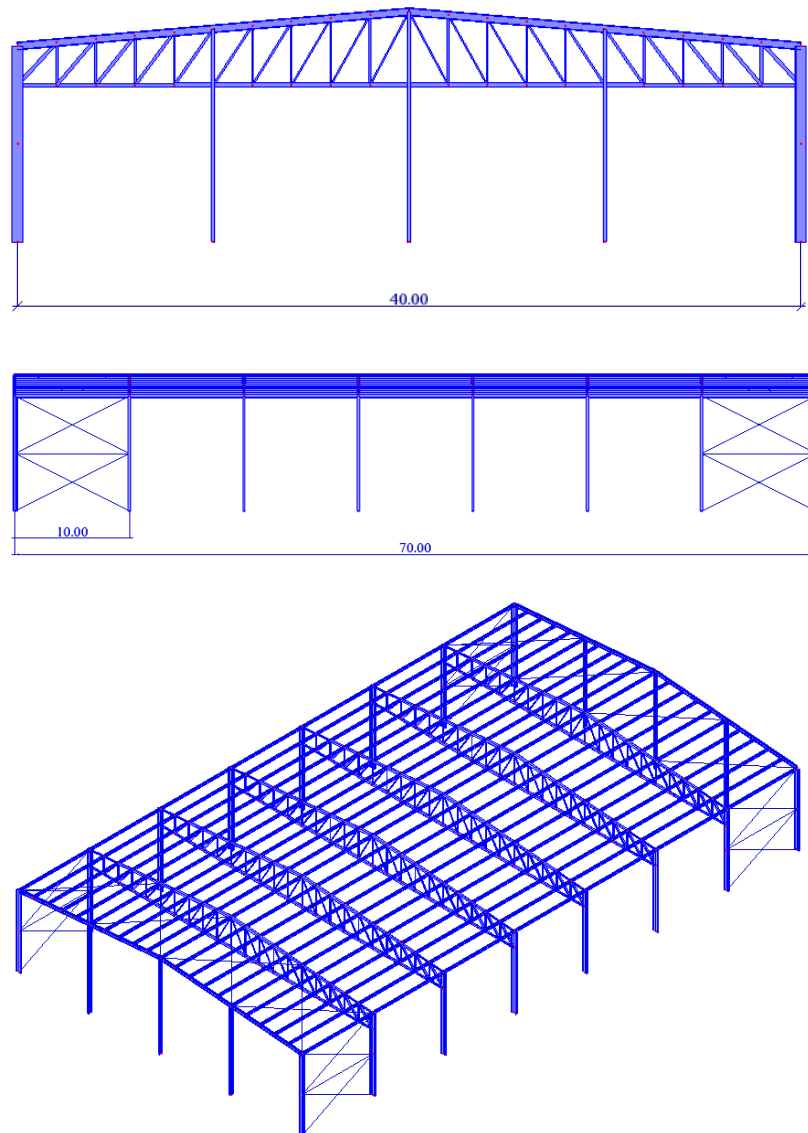


Figura 39 – Dimensões gerais do pavilhão industrial

A família de secções transversais escolhidas para os diferentes elementos da estrutura são as seguintes:

- Treliças – perfis tubulares de secção quadrada (SHS);
- Madres – perfis de secção Z enformados a frio;
- Pilares – perfis de secção aberta em I (IPE);
- Contraventamentos – perfis tubulares circulares (CHS);

De referir que será usado aço da classe S275 JR em todos os elementos da estrutura e que as treliças se encontram travadas lateralmente de quatro em quatro metros para evitar a encurvadura no plano perpendicular ao da treliça. As zonas de travamento podem ser observadas na Figura 40.

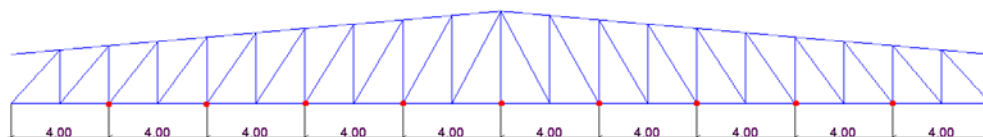


Figura 40 –Distância entre travamentos na treliça

3.2 Requisitos a cumprir

Para que sejam cumpridos todos os requisitos de segurança ao longo da elaboração do projeto, terão de ser cumpridos todos os aspectos mencionados nos capítulos 2.3 e 2.4, capítulos esses baseados na regulamentação existente, mais concretamente os Eurocódigos referenciados no capítulo 2.1.1

3.3 Definição das ações a considerar

3.3.1 Sobrecarga

A sobrecarga é considerada uma ação variável e para o caso do pavilhão industrial em estudo apenas tem de se considerar a sobrecarga da cobertura, visto tratar-se de uma estrutura de um único piso.

De acordo com o EC1-1-1, Quadro 6.9 (Tabela 4), estamos perante uma cobertura da categoria H, pelo que podemos considerar os valores de sobrecarga indicados no Quadro 6.10 do EC1-1-1 (Tabela 5).

Tabela 4 - Categoria de cobertura (Adaptado EC3 [5])

Categoria	Utilização específica
H	Coberturas não acessíveis, excepto operações de manutenção e reparação correntes

Tabela 5 – Sobrecarga regulamentar (Adaptado EC3 [5])

Cobertura	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Categoria H	0,4	1,0

3.3.2 Ação da neve

A ação variável da neve depende muito da localização geográfica da estrutura e, em casos excepcionais, pode ser considerada uma ação de acidente.

Para este capítulo da determinação de ações da neve, será utilizado o EC1-1-3 para o cálculo e justificação das ações consideradas.

O valor característico da carga da neve numa cobertura é quantificado com recurso à equação (37):

$$S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (37)$$

Onde,

S - valor característico da carga da neve;

μ_i - coeficiente de forma;

C_e - coeficiente de exposição;

C_t - coeficiente térmico;

s_k - carga da neve ao nível do solo (equação (38)).

$$s_k = C_z \cdot [1 + (H / 500)^2] \quad (38)$$

Onde,

C_z - coeficiente baseado no zonamento do território nacional;

H - altitude do local.

A determinação dos coeficientes para o conselho de Amarante é feita com recurso ao EC1-1-3 [3], obtendo-se os seguintes valores:

- $C_z = 0,2$ (Figura 41)
- $C_e = 1.0$ (Tabela 6)
- $C_t = 1.0$ ("O coeficiente térmico C_t deverá ser utilizado para ter em conta a redução das cargas da neve em coberturas com elevada transmissão térmica, em particular no caso de certas coberturas envidraçadas, devido à fusão da neve provocada pelo fluxo de calor. Para todos os outros casos $C_t = 1$ ".[3])
- $\mu_i = 0.8$ (Figura 42)

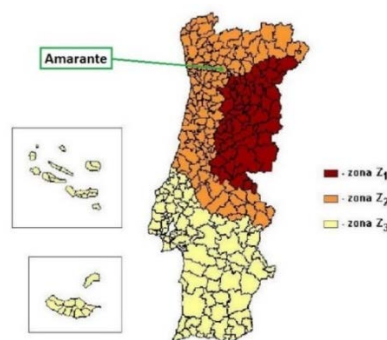


Figura 41 – Zonamento do território nacional para as ações da neve [3]

Tabela 6 – Coeficientes de exposição para diferentes topografias (Adaptado EC1-1-3 [3])

Topografia	C _e
Normal	1,0

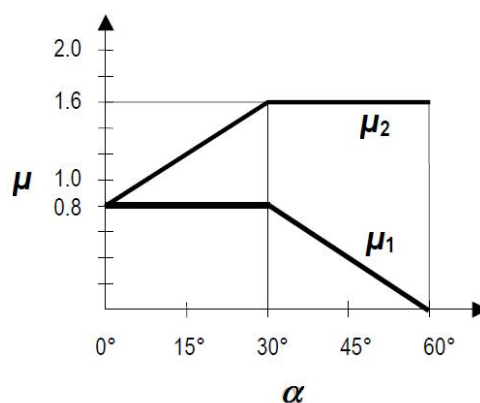


Figura 42 – Coeficiente de forma [3]

Logo, visto que todas as variáveis necessárias estão determinadas, pode-se calcular a carga de neve ao nível do solo:

$$S_k = 0,2 \cdot [1 + (260 / 500)^2] = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

Por fim calcula-se o valor característico da carga da neve, valor esse que será usado para determinar a ação a aplicar à estrutura:

$$S = 0,8 \cdot 1 \cdot 0,25 = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

A representação das ações causadas pela neve numa cobertura de duas vertentes é, de acordo com o EC1-1-3, representada na Figura 43.

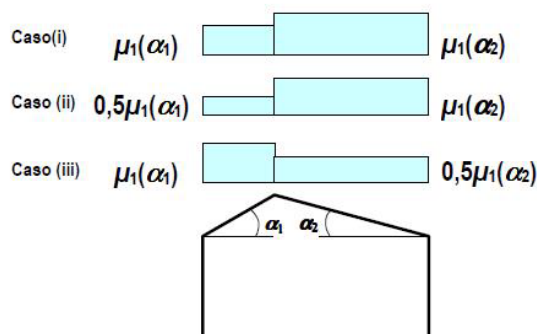


Figura 43 – Disposição da carga da neve em coberturas de duas vertentes [3]

Os valores da carga de neve a aplicar à estrutura, de acordo com os cálculos demonstrados anteriormente e com o EC3-1-1, são apresentados na Figura 44.

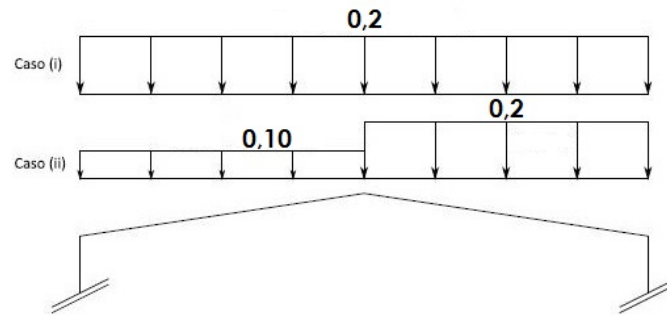


Figura 44 – Valores da carga de neve a aplicar à estrutura [kN/m²]

3.3.3 Ações do vento

As ações do vento são uma ação variável de grande influência numa estrutura metálica e têm de ser determinadas para as paredes e para a cobertura, quer para a vento longitudinal à estrutura quer para vento transversal à estrutura. Para este capítulo da determinação de ações do vento, será utilizado o EC1-1-4.

3.3.3.1 Velocidade de referência do vento

Para o cálculo da velocidade de referência do vento e segundo o EC1-1-4, é utilizada a equação (39).

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (39)$$

Os valores dos coeficientes necessários são obtidos com recurso ao EC1-1-4, e assumem os valores abaixo:

- $c_{dir}=1,0$;
- $c_{season}=1,0$;
- $v_{b,0}=27\text{m/s}$

Logo:

$$v_b = 1 \cdot 1 \cdot 27 = 27 \text{ m/s}$$

3.3.3.2 Velocidade média do vento

Para o cálculo da velocidade média do vento é utilizada a equação (40), para a qual são necessários coeficientes determinados de acordo com o EC1-1-4.

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \quad (40)$$

Onde:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) = 0.19 \cdot \ln(11.75/0.05) = 1,04$$

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07} = 0.19 \cdot \left(\frac{0.05}{0.05}\right)^{0.07} = 0.19$$

$$z = 11.75 \text{ m};$$

$$z_0 = 0.05 \text{ m};$$

$$c_0(z) = 1$$

Logo:

$$v_m(z) = 1,04 \cdot 1 \cdot 27 = 28,01 \text{ m/s}$$

3.3.3.3 Turbulência do vento

Para o cálculo da turbulência do vento utiliza-se a equação (41), para a qual são usados coeficientes presentes no EC1-1-4.

$$I_v(z) = \frac{1}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad (41)$$

Onde:

$$k_1 = 1$$

$$c_0(z) = 1$$

Logo:

$$I_v(z) = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{11,75}{0,05}\right)} = 0,18$$

3.3.3.4 Pressão dinâmica de pico

Para o cálculo da pressão dinâmica de pico utiliza-se a equação (42), para a qual são usados coeficientes presentes no EC1-1-4.

$$q_p(z) = (1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad (42)$$

Onde:

$$\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$$

Logo:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,18] \cdot 0,5 \cdot 1.25 \cdot 28.01^2 = 1118.86 \text{ N/m}^2 = \mathbf{1.12 \text{ kN/m}^2}$$

3.3.3.5 Pressão exercida pelo vento nas superfícies da cobertura

A pressão exercida pelo vento nas superfícies exteriores, w_e , deverá ser calculada de acordo com a equação (43).

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (43)$$

A pressão exercida pelo vento nas superfícies interiores, w_i , deverá ser calculada de acordo com a equação (44).

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad (44)$$

Onde:

- $q_p(z_e)$ – pressão dinâmica de pico;
- z_e – altura de referência para a pressão exterior;
- z_i – altura de referência para a pressão interior;
- c_{pe} – coeficiente de pressão para a pressão exterior;
- c_{pi} – coeficiente de pressão para a pressão interior.

3.3.3.6 Coeficientes de pressão para edifícios

3.3.3.6.1 Generalidades

Os coeficientes de pressão exterior c_{pe} a calcular dependem das dimensões da superfície carregada A , sendo esta a área da construção de que resultam as ações do vento na secção a ser calculada.

Os coeficientes de pressão exterior são fornecidos para superfícies carregadas A de 1 m^2 e de 10 m^2 nos quadros relativos, sendo representados, respetivamente, por $c_{pe,1}$ (coeficientes locais) e por $c_{pe,10}$ (coeficientes globais) (Figura 45).

Visto que todas as áreas a analisar são superiores a 10 m^2 , apenas serão utilizados os coeficientes globais.

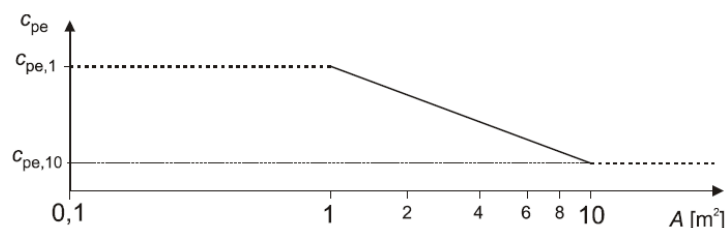


Figura 45 – Coeficientes de pressão exterior locais e globais [4]

3.3.3.6.2 Paredes verticais de edifícios de planta retangular

Visto que o pavilhão industrial possui planta retangular é necessário determinar os coeficientes de pressão exterior nas paredes, de acordo com o EC1-1-4, secção 7.2.2. Devem ser verificadas as situações de vento transversal e vento longitudinal, para as quais são necessários os valores apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores de cálculo para as paredes verticais do edifício

Variável	Valor
h	11,75 m
b_{0°	70,00 m
b_{90°	40,00 m
h/d_{0°	0,29
h/d_{90°	0,17
$2h$	23,50 m
e	23,50 m
d_{0°	40,00 m
d_{90°	70,00 m
$e/5$	4,70 m
$4/5 * e$	18,80 m
$d-e_{90^\circ}$	46,50 m
$d-e_{0^\circ}$	16,50 m

3.3.3.6.2.1 Vento transversal ($\theta=0^\circ$)

Na Figura 46 podem ser observadas as diferentes zonas da estrutura onde será necessário obter os coeficientes de pressão exterior.

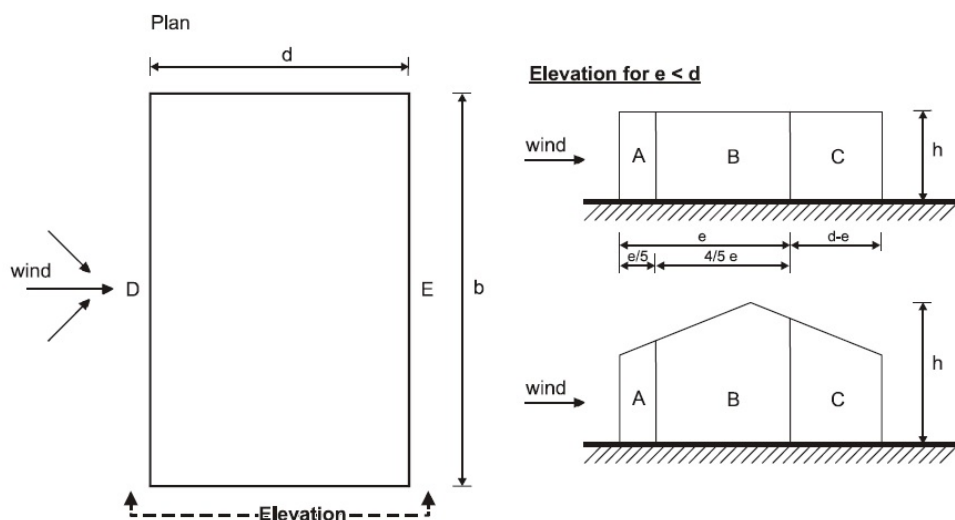


Figura 46 – Zonas de atuação do vento para paredes verticais de edifícios [4]

Com recurso aos valores e relações da Tabela 7, podemos escolher no quadro 7.1 do EC1-1-4 (Tabela 8) os respetivos valores de coeficientes de pressão exterior para as paredes.

Visto que o valor obtido é igual a 0,29 e que a interpolação linear resultaria em valores iguais ou muito semelhantes, assumiu-se que $h/d \leq 0,25$.

Após a determinação dos coeficientes, podem finalmente ser representados os coeficientes a aplicar nas áreas definidas pelo EC (Figura 47).

Tabela 8 – Valores de C_{pe} para paredes verticais de edifícios de planta retangular [4]

Zona	A		B		C		D		E	
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		-0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		-0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		-0,7	+1,0	-0,3	

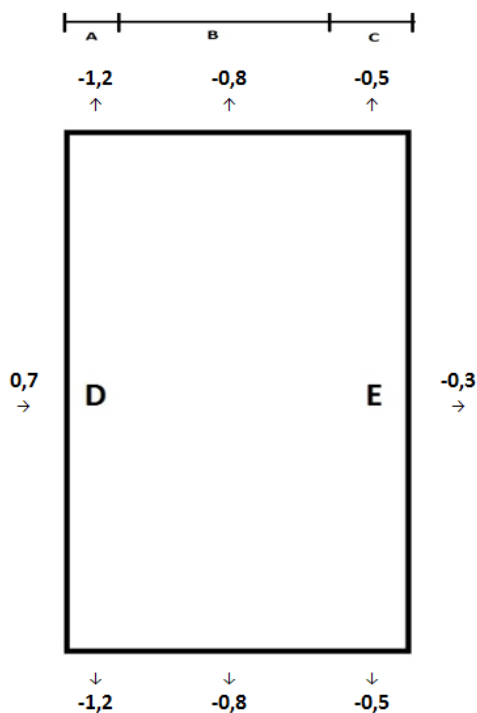


Figura 47 – Coeficientes de pressão exterior para paredes com vento transversal

3.3.3.6.2.2 Vento longitudinal ($\theta=90$)

O método para determinação dos coeficientes de pressão na situação de vento longitudinal é semelhante à do vento transversal. Neste caso em particular, devido à relação h/d , o valor dos coeficientes é o mesmo para as duas situações.

Na Figura 48 pode ser observada a representação dos coeficientes de pressão distribuídos pelas várias áreas das paredes.

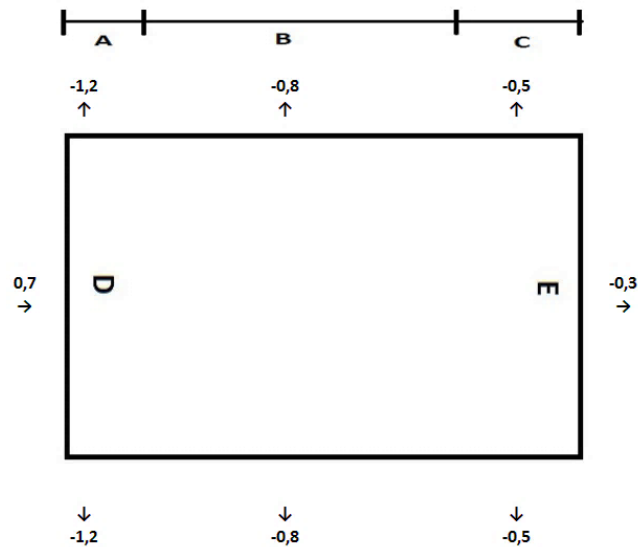


Figura 48 – Coeficientes de pressão exterior para paredes com vento longitudinal

3.3.3.6.3 Coberturas de duas vertentes

Visto que se trata de uma cobertura de duas vertentes, é necessário determinar os coeficientes de pressão exterior e os coeficientes de pressão interior nas vertentes da estrutura, de acordo com o EC1-1-4, secção 7.2.5.

Situações a verificar:

- Vento transversal;
- Vento longitudinal.

3.3.3.6.3.1 Coeficientes de pressão interior

Para os casos em que não seja possível calcular o índice de aberturas da estrutura, assumem-se os valores de 0,2 e 0,3 para pressão interior (caso a) e sucção interior (caso b), respetivamente (Figura 49) [34].

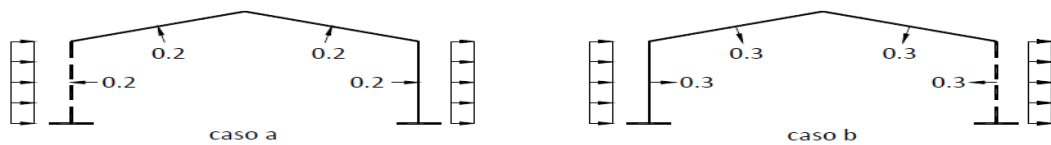


Figura 49 – Coeficientes de pressão interior [34]

3.3.3.6.3.2 Vento transversal ($\theta=0^\circ$)

Os valores necessários para a determinação dos coeficientes de pressão são apresentados na Tabela 9. Na Figura 50 pode ainda ser observado o esquema de distribuição de áreas de acordo com o EC1-1-4.

Tabela 9 – Valores de cálculo para as coberturas com vento transversal

b	70,00 m
2h	23,50 m
e	23,50 m
e/4	5,87 m
e/10	2,35 m

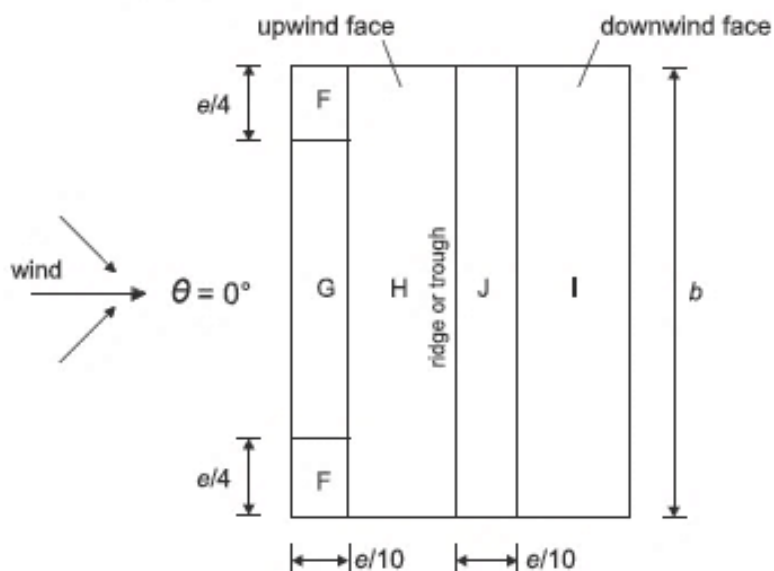


Figura 50 – Esquema de áreas para coberturas com vento transversal [4]

Com recurso ao Quadro 7.4a do EC1-1-4 (Tabela 10), são determinados os coeficientes de pressão exterior para coberturas de duas vertentes na situação de vento transversal.

Tabela 10 – Valores de C_{pe} para cobertura de 2 vertentes (vento transversal) [4]

Ângulo de inclinação α	Zona; Direcção do vento $\vartheta=0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0		-0,6		-0,6	

Depois de obtidos os coeficientes de pressão exterior, devem ser considerados quatro casos de distribuição de coeficientes de pressão exterior (Figura 51), dos quais resultam dois casos mais desfavoráveis à estrutura (caso 1 e caso 2 (casos a utilizar)).

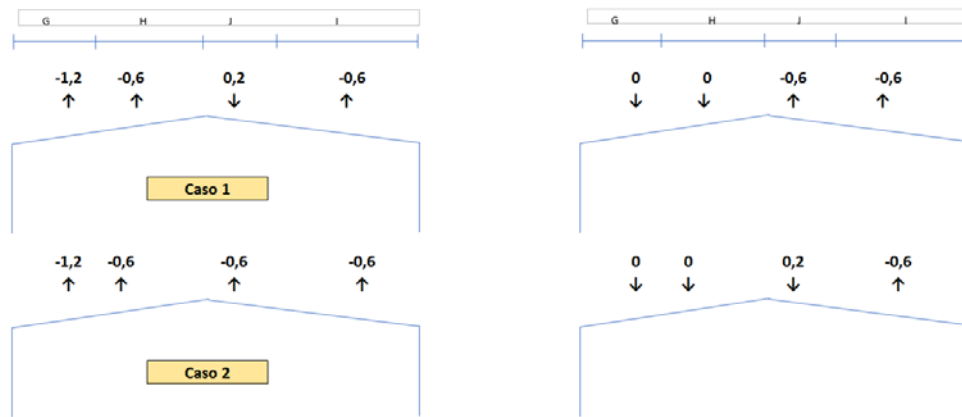


Figura 51 – Casos de distribuição de coeficientes de pressão exterior

Combinando o **caso 1**, **caso 2**, **caso a** e **caso b**, obtêm-se finalmente as quatro combinações a considerar no caso do vento transversal em coberturas de duas vertentes (Figura 52).

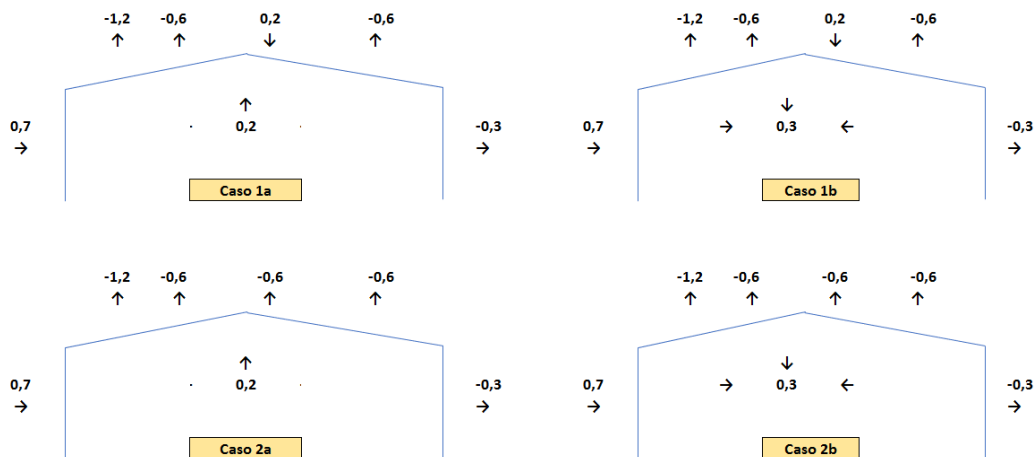


Figura 52 – Combinações resultantes para o vento transversal na cobertura

3.3.3.6.3.3 Vento longitudinal ($\theta=90^\circ$)

Os valores necessários para a determinação dos coeficientes de pressão são apresentados na Tabela 11. Na Figura 53 pode ainda ser observado o esquema de distribuição de áreas de acordo com o EC1-1-4.

Tabela 11 – Valores de cálculo para as coberturas com vento lonitudinal

b	40,00 m
2h	23,50 m
e	23,50 m
e/4	5,87 m
e/10	2,35 m
e/2	11,75 m

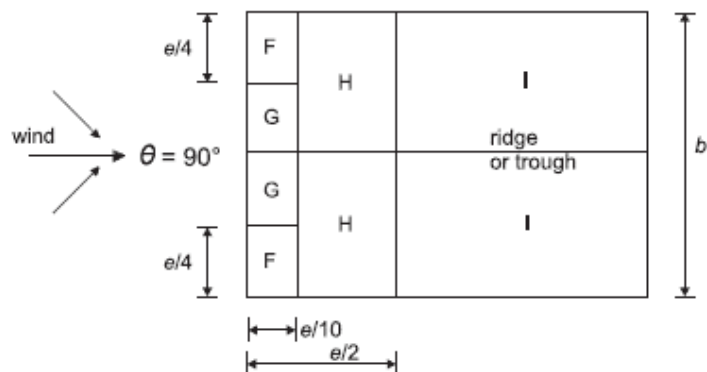


Figura 53 – Esquema de áreas para coberturas com vento longitudinal [4]

Com recurso ao Quadro 7.4b do EC1-1-4 (Tabela 12), são determinados os coeficientes de pressão exterior para coberturas de duas vertentes na situação de vento longitudinal.

Tabela 12 – Valores de C_{pe} para cobertura de 2 vertentes (vento longitudinal) [4]

Ângulo de inclinação α	Zona; Direcção do vento $\vartheta=90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	

Após terem sido obtidos os coeficientes, podem ser feitos três casos de distribuição de coeficientes de pressão exterior (Figura 54).

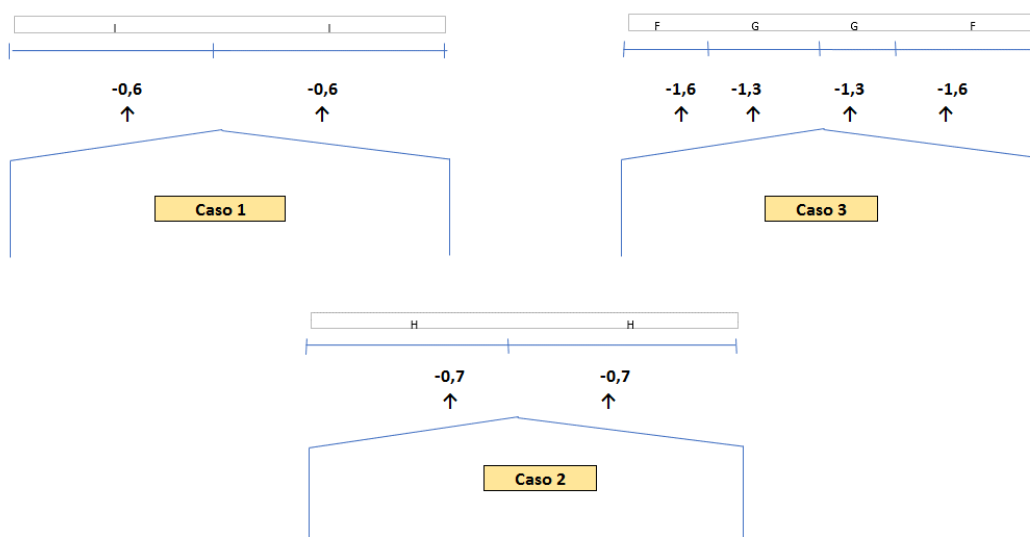


Figura 54 – Combinações resultantes para o vento longitudinal na cobertura

3.5 Cálculo dos esforços atuantes nos elementos

Tal como já foi referido no capítulo 2.5, será utilizado o *Autodesk Robot Structural Analysis* para o cálculo dos esforços actuantes de dimensionamento necessários à verificação de segurança da estrutura.

Para tal é necessário um modelo de cálculo (Figura 39 do capítulo 3.1), ao qual são aplicados *claddings* (Figura 56) que correspondem a revestimentos virtuais que têm o objetivo de transmitir às madres os esforços resultantes do vento e da neve.

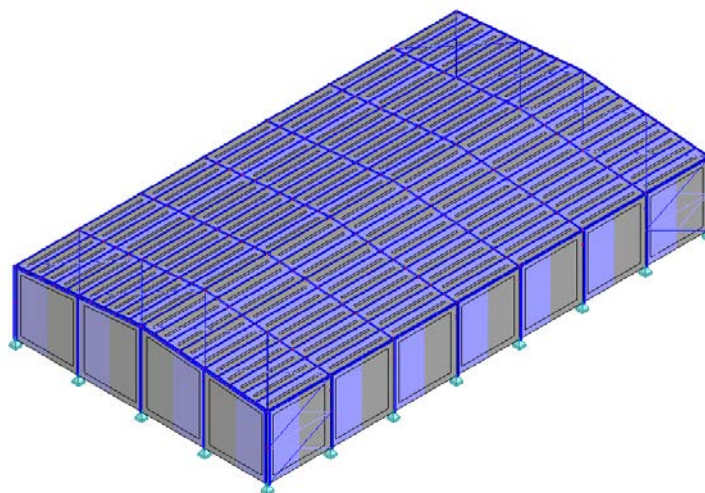


Figura 56 – Modelo de cálculo utilizado com *claddings*

Após a inserção dos *claddings* e com recurso às ações previamente definidas no capítulo 3.3, bem como as suas combinações (capítulo 3.4), podem-se aplicar ao modelo as diferentes combinações de ações. Na Figura 57 e na Figura 58 podem ser observados exemplos da aplicação da carga correspondente à ação da neve e da carga correspondente à ação do vento longitudinal, respetivamente.

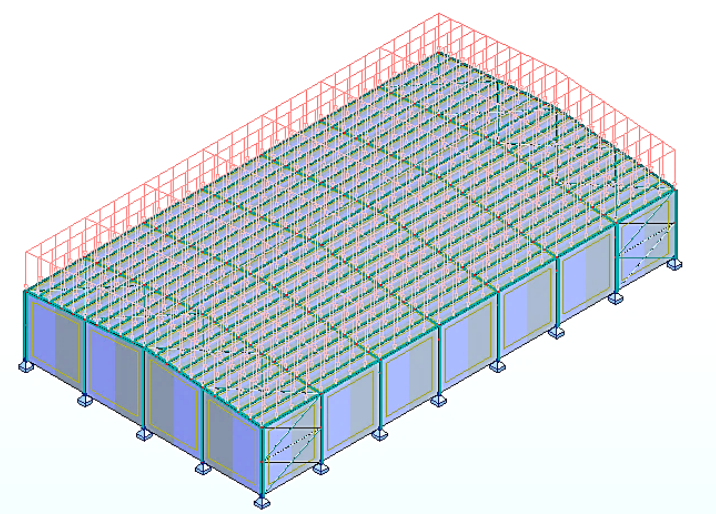


Figura 57 – Ação da neve na cobertura do pavilhão industrial

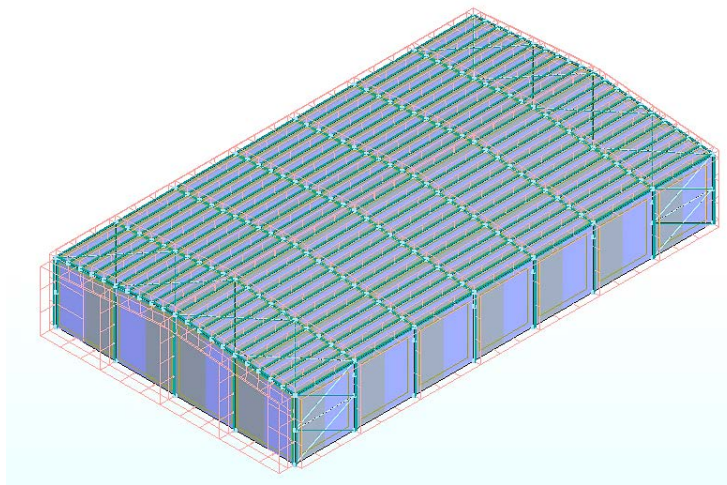


Figura 58 – Ação do vento longitudinal no pavilhão industrial

Quando é terminada a simulação, são obtidos os valores dos esforços resultantes (Figura 59) e deslocamentos da estrutura tais como: esforço transversal, esforço axial e momentos flectores.

Barra/Nó/Caso	FX (kN)	Comprimento (m)	Nome do caso
21/ 1/ 20 (C)	465,45>>	2,95	Comb1
21/ 70/ 20 (C)	464,86<<	2,95	Comb1
22/ 2/ 20 (C)	367,93>>	3,09	Comb1
22/ 72/ 20 (C)	367,49<<	3,09	Comb1
23/ 3/ 20 (C)	288,09>>	3,22	Comb1
23/ 74/ 20 (C)	287,61<<	3,22	Comb1
24/ 4/ 20 (C)	219,57>>	3,36	Comb1
24/ 76/ 20 (C)	219,14<<	3,36	Comb1
25/ 5/ 20 (C)	159,21>>	3,50	Comb1
25/ 78/ 20 (C)	158,75<<	3,50	Comb1
26/ 6/ 20 (C)	105,27>>	3,65	Comb1
26/ 80/ 20 (C)	104,78<<	3,65	Comb1
27/ 7/ 20 (C)	57,84>>	3,79	Comb1
27/ 82/ 20 (C)	57,50<<	3,79	Comb1
28/ 8/ 20 (C)	14,74>>	3,94	Comb1
28/ 84/ 20 (C)	14,38<<	3,94	Comb1
29/ 9/ 20 (C)	-25,17>>	4,10	Comb1

Figura 59 – Exemplo de tabela de resultados dada pelo programa de simulação

Com os valores dos esforços atuantes N_{Ed} obtidos através do software de análise estrutural, pode-se proceder ao dimensionamento e verificação dos elementos da estrutura de acordo com o EC3-1-1.

O software de análise estrutural *Autodesk Robot Structural Analysis* possui ainda um módulo de verificação de elementos metálicos que permite de forma expedita efectuar a verificação de um número elevado de elementos e combinações. Neste trabalho efectuou-se uma verificação manual de todos os elementos estruturais (que se apresenta em anexo), sendo depois comparados com os resultados obtidos através do módulo de verificação automática. Depois de validado o procedimento, foi possível alargar o estudo da solução treliçada a novas geometrias e tipos de secções transversais.

3.6 Comprimentos de encurvadura considerados para as treliças

A verificação de segurança dos elementos da treliça solicitados à compressão, envolve a verificação da sua estabilidade à encurvadura por flexão. Nesse sentido é necessário definir os comprimentos de encurvadura (L_{cr}) de cada um dos elementos da treliça em função da distância entre pontos travados/contraventados (L).

Na Tabela 13, podem ser consultados os valores adotados para o dimensionamento, valores esses presentes no Anexo BB1 do EC3-1-1.

Tabela 13 - Valores dos comprimentos de encurvadura a considerar nas treliças [5]

Comprimento de encurvadura (L_{cr})		
	Perfis de secção I ou H	Perfis de secção tubular SHS
Corde superior	$L_{cr}=0,9L$ (plano paralelo à treliça) e $L_{cr}=L$ (plano perpendicular à treliça)	$L_{cr}=0,9L$ (plano paralelo à treliça) e $L_{cr}=0,9L$ (plano perpendicular à treliça)
Corde inferior	$L_{cr}=0,9L$ (plano paralelo à treliça) e $L_{cr}=L$ (plano perpendicular à treliça)	$L_{cr}=0,9L$ (plano paralelo à treliça) e $L_{cr}=0,9L$ (plano perpendicular à treliça)
Montantes	$L_{cr}=0,9L$ (plano paralelo à treliça) e $L_{cr}=L$ (plano perpendicular à treliça)	$L_{cr}=L$ (plano paralelo à treliça) e $L_{cr}=L$ (plano perpendicular à treliça)
Diagonais	$L_{cr}=0,9L$ (plano paralelo à treliça) e $L_{cr}=L$ (plano perpendicular à treliça)	$L_{cr}=L$ (plano paralelo à treliça) e $L_{cr}=L$ (plano perpendicular à treliça)

No capítulo 3.7.2, pode ser verificada a utilização dos comprimentos de encurvadura referidos para os elementos em perfis de secção quadrada SHS, solicitados à compressão:

- Para a corde superior admitiu-se que as madres travam os nós no plano perpendicular à treliça, pelo que se L toma o valor do comprimento real do elemento;
- Na corde inferior os elementos só se encontram travados no plano perpendicular à treliça devido aos travamentos laterais. Deste modo, no plano perpendicular L toma o valor da distância entre travamentos, enquanto que para o plano paralelo à treliça L toma o valor do comprimento real do elemento;
- Para as Diagonais e Montantes, L assume o valor do comprimento real do elemento, quer seja no plano paralelo ou perpendicular.

3.7.1 Dimensionamento das treliças

Para a verificação de segurança das treliças, foi necessário seguir passo a passo os pontos assinalados abaixo:

1. Pré-dimensionamento de uma treliça central (E), pois em geral são as mais condicionantes. Seguidamente foram atribuídos os mesmos perfis às restantes treliças;
2. Simulação com os perfis definidos no pré-dimensionamento, e respetivas retificações das secções para que todos os elementos verificassem a segurança (capítulo 3.7.1.2);
3. Nova simulação na treliça central (E) para que fosse verificado que, de facto, era cumprida a segurança (capítulo 3.7.1.3).

Nota importante: o *Autodesk Robot Structural Analysis*, por convenção, define os esforços de tração com o sinal negativo (-) e os esforços de compressão com o sinal positivo (+).

3.7.1.1 Pré-dimensionamento da treliça (E)

O pré-dimensionamento serve apenas de ponto de partida para o dimensionamento da estrutura, pelo que este neste capítulo será apenas apresentada a treliça utilizada (Figura 62) e a designação dos seus elementos (Figura 63).

Os valores utilizados correspondem à combinação de ações mais desfavorável para cada elemento.

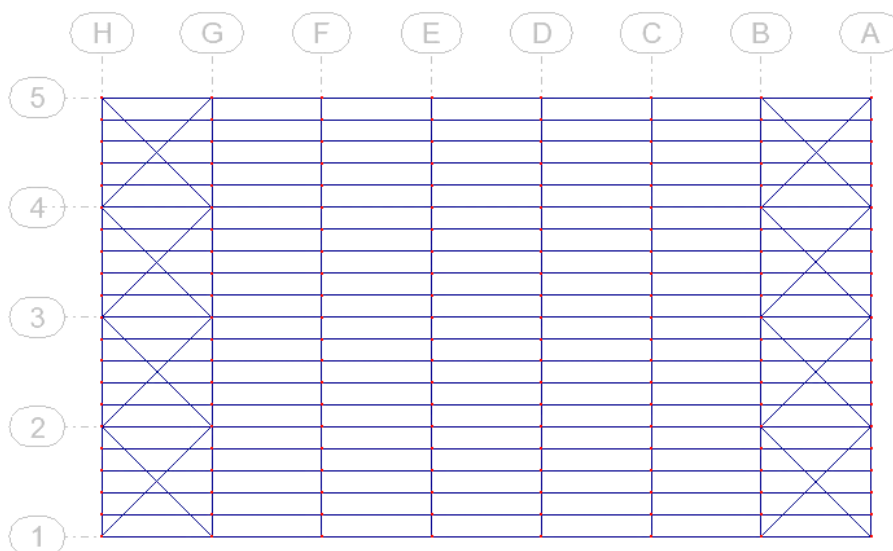


Figura 62 – Designação das treliças do pavilhão industrial



Figura 63 – Designação dos elementos da Treliça E

3.7.1.2 Primeira iteração para a totalidade das treliças da estrutura

Neste capítulo são verificadas todas as treliças da estrutura (B, C, D, E, F e G) após terem sido aplicadas todas as secções obtidas no pré-dimensionamento. Os valores de cálculo dos esforços axiais atuantes N_{Ed} devolvidos pelo *software* são inseridos na folha de cálculo da Figura 60 para nova verificação de segurança, agora para todas as treliças.

Esta verificação torna-se necessária pois a alteração das secções provoca um aumento do peso próprio, que resulta em maiores esforços atuantes. Este processo de verificação é bastante extenso, pelo que as verificações de segurança de cada treliça serão apresentadas no anexo 6.2.

Assim sendo, são apresentadas na Figura 64 as secções resultantes da 1ª iteração para as treliças da estrutura.

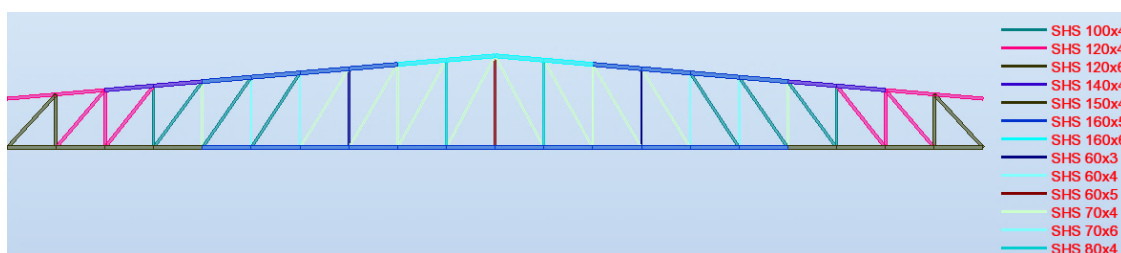


Figura 64 – Secções utilizadas após a verificação de segurança

3.7.1.3 Segunda iteração para a treliça (E)

A fase final do dimensionamento passa por verificar a segurança da treliça E (caso mais desfavorável) após terem sido inseridas as secções resultantes da 1ª iteração e recalculados os esforços atuantes. Caso sejam verificadas as condições de segurança, pode-se afirmar que estamos perante a configuração final da treliça.

Para além da verificação da treliça E com recurso à folha de cálculo, é ainda possível que a verificação seja confirmada pelo *software*. As condições de segurança para a treliça foram verificadas de ambas as formas, pelo que se pode afirmar que as treliças da estrutura assumem a configuração de secções representada anteriormente na Figura 64.

3.7.2 Verificação de segurança das treliças com recurso a verificações analíticas

Existem diversas formas de verificar a segurança dos elementos de uma treliça:

- Automaticamente com recurso a *software* de cálculo estrutural – método mais expedito, no entanto mais susceptível de erro caso não seja um utilizador experiente;
- Com recurso a uma folha de cálculo – exige ter alguns conhecimentos de programação. É mais demorado que o anterior um vez que é necessário passar a informação do *software* de análise para o excel;
- Por métodos analíticos – método mais trabalhoso e demorado, para um número de elementos e combinações elevado.

Como o método analítico é um processo bastante extenso, serão apenas demonstrados os cálculos para 4 elementos de uma das treliças.

As verificações de segurança efetuadas neste capítulo têm como base os princípios definidos no capítulo 2.4, baseados no EC3-1-1. Na Figura 63 é indicada a legenda das barras para a treliça E.

Neste capítulo serão realizadas, a título exemplificativo, as verificações de segurança para a treliça E, com recurso aos valores de cálculo dos esforços axiais atuantes N_{Ed} , resultantes do capítulo 3.7.1.3 e relativos à configuração final da treliça.

Serão ainda comparados os resultados obtidos pela folha de cálculo com os resultados obtidos analiticamente. Para tal, sejam considerados os seguintes elementos (Figura 65):

- Corda superior – barra 361;
- Corda inferior – barra 301;
- Montante – barra 342;
- Diagonal – barra 321.

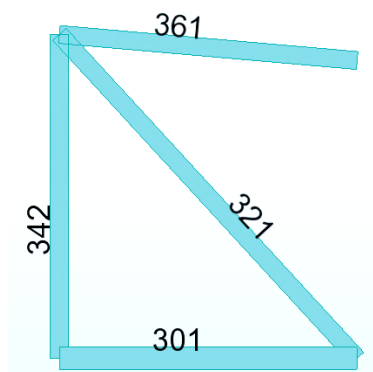


Figura 65 – Elementos da treliça a calcular

Os valores de cálculo dos esforços axiais atuantes N_{Ed} , devolvidos pelo *software* de análise estrutural para as combinações de ações mais desfavoráveis podem ser observados na Tabela 14.

Tabela 14 - Esforços axiais atuantes nos elementos a calcular

Barra/Nó/Caso	Ned (kN)	Comprimento (m)	Combinação	Solicitação
301/302/25 (C)	214,28	2,00	6	Compressão
301/302/22 (C)	-201,72	2,00	3	Tração
321/301/20 (C)	473,48	2,95	1	Compressão
321/81/22 (C)	-307,31	2,95	3	Tração
342/302/22 (C)	180,09	2,18	3	Compressão
342/81/20 (C)	-288,26	2,18	1	Tração
361/200/22 (C)	369,05	2,01	3	Compressão
361/81/20 (C)	-315,14	2,01	1	Tração

3.7.2.1 Corda superior

3.7.2.1.1 Verificação de segurança à tração

Seguidamente serão demonstrados os cálculos necessários à verificação de segurança deste elemento, que está sujeito a uma força de tração de 315,14 kN para a Combinação 1.

Na Figura 66 pode ser observado o diagrama de esforço normal de tração para a barra 361.

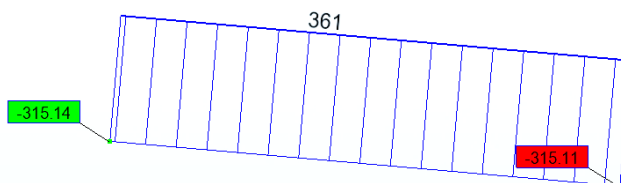


Figura 66 – Diagrama de esforço axial de tração para o elemento 361

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A \geq \frac{319,91 \times 1,0}{275 \times 10^3} = 11,46 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 11,46 \text{ cm}^2$$

Ou seja, para que seja verificada a segurança tem de ser usado um perfil que tenha uma área de secção superior a 11,46 cm². Com base numa tabela de perfis de secção quadrada, pode adoptar-se uma secção SHS80x4 mm (A=11,7 cm²).

3.7.2.1.2 Verificação de segurança à compressão

Seguidamente serão demonstrados os cálculos necessários à verificação de segurança deste elemento, que está sujeito a uma força de compressão de 369,05 kN para a Combinação 3.

Na Figura 67 pode ser observado o diagrama de esforço normal de compressão para a barra 361.

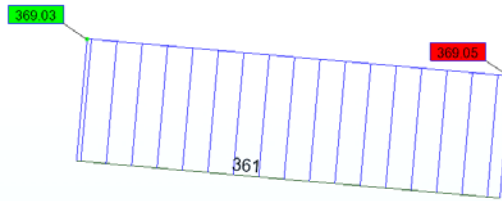


Figura 67 – Diagrama de esforço axial de compressão para o elemento 361

3.7.2.1.2.1 Pré-dimensionamento

Neste passo será pré-dimensionada secção a utilizar:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A \geq \frac{369,05 \times 1,0}{275 \times 10^3} = 13,42 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 13,42 \text{ cm}^2$$

Com base numa tabela de perfis de secção quadrada, pode adoptar-se uma secção SHS110x4 mm ($A=16,5 \text{ cm}^2$), com áreas um pouco superiores ao mínimo imposto pelas condições de pré-dimensionamento pois geralmente a verificação da resistência à encurvadura é mais condicionante.

3.7.2.1.2.2 Classificação da secção

Para a secção referida (secção tubular quadrada de espessura constante SHS110x4 mm), em aço S275, submetidas a compressão pura, a classe da secção é obtida com recurso ao Quadro 5.2 do EC3-1-1:

$$c \approx h - 3t = 98 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = 24,5 \leq 33\epsilon = 33 \times 0,92 = 30,4$$

Deste modo podemos concluir que se trata de uma secção de classe 1.

3.7.2.1.2.3 Verificação da resistência à encurvadura

Para elementos comprimidos deve-se verificar a condição $N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$, tal como referido no capítulo 2.4 De referir que para as cordas superiores o comprimento de encurvadura L_{\perp} e L_{\parallel} assumem o mesmo valor, pelo que não é necessário fazer a verificação individual dos dois casos.

Coefficiente de esbelteza de referência:

$$\lambda_1 = 93,9\epsilon = 93,9 \times 0,92 = 86,34$$

Comprimento de encurvadura:

$$L_E = 0,9L = 0,9 \times 2,01 = 1,81 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{L_E}{i} = \frac{1,81}{4,30 \times 10^{-2}} = 42,09$$

Coefficiente de esbelteza normalizada:

$$\bar{\lambda} = \lambda / \lambda_1 = 42,09 / 86,34 = 0,49$$

Secção tubular quadrada laminada, logo usa-se a Curva a, à qual corresponde um valor de $\alpha=0,21$.

$$\phi = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,49 - 0,2) + 0,49^2] = 0,651$$

$$\chi = \frac{1}{0,651 + \sqrt{0,651^2 - 0,49^2}} = 0,93$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,93 \times 16,5 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{1} = 421,99 \text{ kN}$$

Visto que $N_{Ed} = 369,05 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 421,99 \text{ kN}$, a secção SHS110x4 mm (S275), verifica a segurança.

Concluindo, para este caso, a solicitação de compressão é a condicionante, pelo que a secção a adoptar deve ser a SHS110x4 mm ($A=16,5 \text{ cm}^2$).

Para os elementos com igual localização nas treliças da estrutura foi adotada uma secção SHS120x4 mm ($A=18,1 \text{ cm}^2$) para este elemento devido à necessidade de simetria da treliça e à necessidade de todas as treliças serem iguais. Ou seja, para outras treliças que não a treliça E foi, com certeza, necessário adotar uma secção SHS120x4 mm para que a segurança fosse verificada, daí a diferença.

3.7.2.2 Corda inferior

3.7.2.2.1 Verificação de segurança à tração

Seguidamente serão demonstrados os cálculos necessários à verificação de segurança deste elemento, que está sujeito a uma força de tração de 201,72 kN para a Combinação 3.

Na Figura 68 pode ser observado o diagrama de esforço normal de tração para a barra 301.

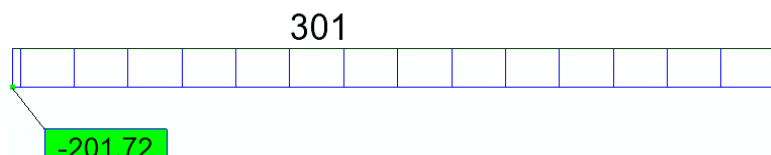


Figura 68 – Diagrama de esforço axial de tração para o elemento 301

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A \geq \frac{201,72 \times 1,0}{275 \times 10^3} = 7,34 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 7,34 \text{ cm}^2$$

Ou seja, para que seja verificada a segurança tem de ser usado um perfil tenha uma área de secção superior a 7,34 cm². Com base numa tabela de perfis de secção quadrada, pode adoptar-se uma secção SHS60x4 mm (A=8,55 cm²).

3.7.2.2.2 Verificação de segurança à compressão

Seguidamente serão demonstrados os cálculos necessários à verificação de segurança deste elemento, que está sujeito a uma força de compressão de 214,28 kN para a Combinação 6.

Na Figura 69 pode ser observado o diagrama de esforço normal de compressão para a barra 301.

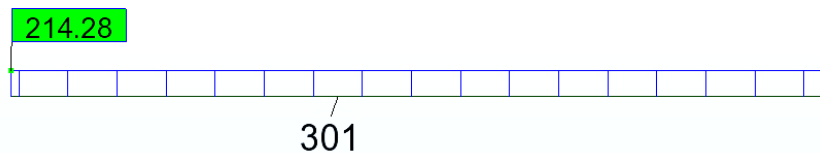


Figura 69 – Diagrama de esforço axial de compressão para o elemento 301

3.7.2.2.2.1 Pré-dimensionamento

Neste passo será pré-dimensionada a secção a utilizar:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A \geq \frac{214,28 \times 1,0}{275 \times 10^3} = 7,79 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 7,79 \text{ cm}^2$$

Com base numa tabela de perfis de secção quadrada, pode adoptar-se uma secção SHS100x4 mm (A=14,9 cm²), com áreas um pouco superiores ao mínimo imposto pelas condições de pré-dimensionamento pois geralmente a verificação da resistência à encurvadura é mais condicionante.

3.7.2.2.2.2 Classificação da secção

Para a secção referida (secção tubular quadrada de espessura constante SHS100x4 mm), em aço S275, submetida a compressão pura, a classe da secção é obtida com recurso ao Quadro 5.2 do EC3-1-1:

$$c \approx h - 3t = 88 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = 22 \leq 33\varepsilon = 33 \times 0,92 = 30,4$$

Deste modo pode-se concluir que se trata de uma secção de classe 1.

3.7.2.2.3 Verificação da resistência à encurvadura

Para elementos comprimidos deve-se verificar a condição $N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$, tal como referido no capítulo 2.4. De referir que para as cordas inferiores deve ser verificada a resistência à encurvadura quer para o comprimento de encurvadura L_{\perp} quer para L_{\parallel} .

Verificação da resistência à encurvadura no plano paralelo à treliça:

Coefficiente de esbelteza de referência:

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \times 0,92 = 86,34$$

Comprimento de encurvadura:

$$L_{\parallel} = 0,9L = 0,9 \times 2,00 = 1,80 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{L_{\parallel}}{i} = \frac{1,80}{3,89 \times 10^{-2}} = 46,27$$

Coefficiente de esbelteza normalizada:

$$\bar{\lambda} = \lambda / \lambda_1 = 46,27 / 86,34 = 0,54$$

Secção tubular quadrada laminada, logo usa-se a Curva a, à qual corresponde um valor de $\alpha=0,21$.

$$\phi = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,54 - 0,2) + 0,54^2] = 0,68$$

$$\chi = \frac{1}{0,68 + \sqrt{0,68^2 - 0,54^2}} = 0,91$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,91 \times 14,9 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{1} = 374,38 \text{ kN}$$

Visto que $N_{Ed} = 214,28 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 374,38 \text{ kN}$, a secção SHS100x4 mm (S275), verifica a segurança.

Verificação da resistência à encurvadura no plano perpendicular à treliça

Coefficiente de esbelteza de referência:

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \times 0,92 = 86,34$$

Comprimento de encurvadura:

$$L_{\perp} = 0,9L = 0,9 \times 4,00 = 3,60 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{L_{\perp}}{i} = \frac{3,60}{3,89 \times 10^{-2}} = 92,55$$

Coefficiente de esbelteza normalizada:

$$\bar{\lambda} = \lambda / \lambda_1 = 92,55 / 86,34 = 1,07$$

Secção tubular quadrada laminada, logo usa-se a Curva a, à qual corresponde um valor de $\alpha=0,21$.

$$\phi = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (1,07 - 0,2) + 1,07^2] = 1,16$$

$$\chi = \frac{1}{1,16 + \sqrt{1,16^2 - 1,07^2}} = 0,62$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,62 \times 14,9 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{1} = 253,79 \text{ kN}$$

Visto que $N_{Ed} = 214,28 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 253,79 \text{ kN}$, a secção SHS100x4 mm (S275), verifica a segurança.

Concluindo, para este caso, a solicitação de compressão é a condicionante, pelo que a secção a adoptar deve ser a SHS100x4 mm ($A=14,9 \text{ cm}^2$).

Para os elementos com igual localização nas treliças da estrutura foi adotada uma secção SHS150x4 mm ($A=22,9 \text{ cm}^2$) para este elemento devido à necessidade de simetria da treliça e à necessidade de todas as treliças serem iguais. Ou seja, para outras treliças que não a treliça E foi, com certeza, necessário adotar uma secção SHS150x4 mm para que a segurança fosse verificada, daí a diferença.

3.7.2.3 Montante

3.7.2.3.1 Verificação de segurança à tração

Seguidamente serão demonstrados os cálculos necessários à verificação de segurança deste elemento, que está sujeito a uma força de tração de 288,26 kN para a Combinação 1.

Na Figura 70 pode ser observado o diagrama de esforço normal de tração para a barra 342.

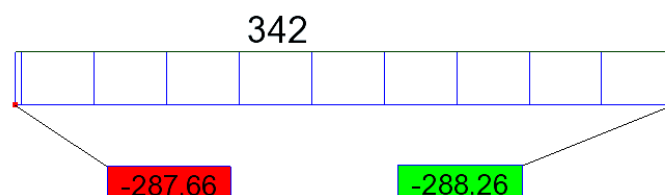


Figura 70 – Diagrama de esforço axial de tração para o elemento 342

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A \geq \frac{288,26 \times 1,0}{275 \times 10^3} = 10,48 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 10,48 \text{ cm}^2$$

Ou seja, para que seja verificada a segurança tem de ser usado um perfil tenha uma área de secção superior a 10,48 cm². Com base numa tabela de perfis de secção quadrada, pode adoptar-se uma secção SHS80x4 mm (A=11,7 cm²).

3.7.2.3.2 Verificação de segurança à compressão

Seguidamente serão demonstrados os cálculos necessários à verificação de segurança deste elemento, que está sujeito a uma força de compressão de 180,09 kN para a Combinação 3.

Na Figura 71 pode ser observado o diagrama de esforço normal de compressão para a barra 342.

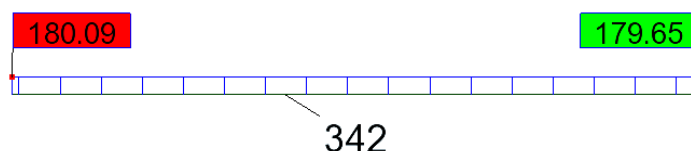


Figura 71 – Diagrama de esforço axial de compressão para o elemento 342

3.7.2.3.2.1 Pré-dimensionamento

Neste passo será pré-dimensionada a secção a utilizar:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A \geq \frac{180,09 \times 1,0}{275 \times 10^3} = 6,55 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 6,55 \text{ cm}^2$$

Com base numa tabela de perfis de secção quadrada, pode adoptar-se uma secção SHS70x4 mm (A=10,1 cm²), com áreas um pouco superiores ao mínimo imposto pelas condições de pré-dimensionamento pois geralmente a verificação da resistência à encurvadura é mais condicionante.

3.7.2.3.2.2 Classificação da secção

Para a secção referida (secção tubular quadrada de espessura constante SHS70x4 mm), em aço S275, submetida a compressão pura, a classe da secção é obtida com recurso ao Quadro 5.2 do EC3-1-1:

$$c \approx h - 3t = 58 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = 14,5 \leq 33\varepsilon = 33 \times 0,92 = 30,4$$

Deste modo pode-se concluir que se trata de uma secção de classe 1.

3.7.2.3.2.3 Verificação da resistência à encurvadura

Para elementos comprimidos deve-se verificar-se a condição $N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$, tal como referido no capítulo 2.4. De referir que para os montantes os comprimentos de encurvadura L_{\perp} e L_{\parallel} assumem o mesmo valor, pelo que não é necessário fazer a verificação individual dos dois casos.

Coefficiente de esbelteza de referência:

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \times 0,92 = 86,34$$

Comprimento de encurvadura:

$$L_E = L = 2,18 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{L_E}{i} = \frac{2,18}{2,67 \times 10^{-2}} = 81,65$$

Coefficiente de esbelteza normalizada:

$$\bar{\lambda} = \lambda / \lambda_1 = 81,65 / 86,34 = 0,95$$

Secção tubular quadrada laminada, logo usa-se a Curva a, à qual corresponde um valor de $\alpha=0,21$.

$$\phi = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,95 - 0,2) + 0,95^2] = 1,02$$

$$\chi = \frac{1}{1,02 + \sqrt{1,02^2 - 0,85^2}} = 0,71$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,71 \times 10,10 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{1} = 196,29 \text{ kN}$$

Visto que $N_{Ed} = 180,09 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 196,29 \text{ kN}$, a secção SHS70x4 mm (S275), verifica a segurança.

Concluindo, para este caso, a solicitação de tração é a condicionante, pelo que a secção a adoptar deve ser a SHS80x4 mm ($A=11,7 \text{ cm}^2$).

Para os elementos com igual localização nas treliças da estrutura foi adotada uma secção SHS120x6 mm ($A=26,4 \text{ cm}^2$) para este elemento devido à necessidade de simetria da treliça e à necessidade de todas as treliças serem iguais.

Ou seja, para outras treliças que não a treliça E foi, com certeza, necessário adotar uma secção SHS120x6 mm para que a segurança fosse verificada, daí a diferença.

3.7.2.4 Diagonal

3.7.2.4.1 Verificação de segurança à tração

Seguidamente serão demonstrados os cálculos necessários à verificação de segurança deste elemento, que está sujeito a uma força de tração de 307,31 kN para a Combinação 3.

Na Figura 72 pode ser observado o diagrama de esforço normal de tração para a barra 321.

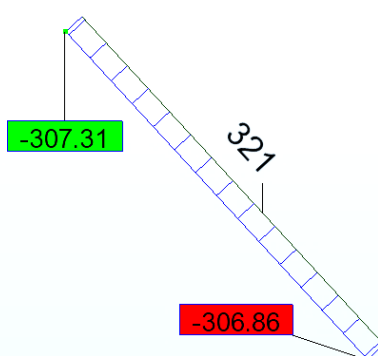


Figura 72 – Diagrama de esforço axial de tração para o elemento 321

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A \geq \frac{307,31 \times 1,0}{275 \times 10^3} = 11,17 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 11,17 \text{ cm}^2$$

Ou seja, para que seja verificada a segurança tem de ser usado um perfil tenha uma área de secção superior a 11,17 cm². Com base numa tabela de perfis de secção quadrada, pode adoptar-se uma secção SHS80x4 mm (A=11,7 cm²).

3.7.2.4.2 Verificação de segurança à compressão

Seguidamente serão demonstrados os cálculos necessários à verificação de segurança deste elemento, que está sujeito a uma força de compressão de 473,48 kN para a Combinação 1.

Na Figura 73 pode ser observado o diagrama de esforço normal de tração para a barra 321.

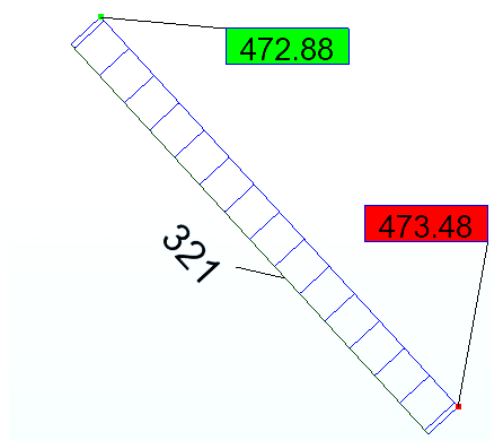


Figura 73 – Diagrama de esforço axial de compressão para o elemento 321

3.7.2.4.2.1 Pré-dimensionamento

Neste passo será pré-dimensionada a secção a utilizar:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A \geq \frac{473,48 \times 1,0}{275 \times 10^3} = 17,22 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 17,22 \text{ cm}^2$$

Com base numa tabela de perfis de secção quadrada, pode adoptar-se uma secção SHS120x5 mm ($A=22,4 \text{ cm}^2$), com áreas um pouco superiores ao mínimo imposto pelas condições de pré-dimensionamento pois geralmente a verificação da resistência à encurvadura é mais condicionante.

3.7.2.4.2.2 Classificação da secção

Para a secção referida (secção tubular quadrada de espessura constante SHS120x5 mm), em aço S275, submetida a compressão pura, a classe da secção é obtida com recurso ao Quadro 5.2 do EC3-1-1:

$$c \approx h - 3t = 105 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = 21 \leq 33\epsilon = 33 \times 0,92 = 30,4$$

Deste modo pode-se concluir que se trata de uma secção de classe 1.

3.7.2.4.2.3 Verificação da resistência à encurvadura

Para elementos comprimidos deve verificar-se a condição $N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$, tal como referido no capítulo 2.4. De referir que para as diagonais o comprimento de encurvadura L_{\perp} e L_{\parallel} assumem o mesmo valor, pelo que não é necessário fazer a verificação individual dos dois casos.

Coefficiente de esbelteza de referência:

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \times 0,92 = 86,34$$

Comprimento de encurvadura:

$$L_E = L = 2,95 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{L_E}{i} = \frac{2,95}{4,66 \times 10^{-2}} = 63,3$$

Coefficiente de esbelteza normalizada:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{63,3}{86,34} = 0,73$$

Secção tubular quadrada laminada, logo usa-se a Curva a, à qual corresponde um valor de $\alpha=0,21$.

$$\phi = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (0,73 - 0,2) + 0,73^2] = 0,82$$

$$\chi = \frac{1}{0,82 + \sqrt{0,82^2 - 0,73^2}} = 0,84$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,84 \times 22,4 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{1} = 517,44 \text{ kN}$$

Visto que $N_{Ed} = 473,48 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 517,44 \text{ kN}$, a secção SHS120x5 mm (S275), verifica a segurança.

Concluindo, para este caso, a solicitação de compressão é a condicionante, pelo que a secção a adoptar deve ser a SHS120x5 mm ($A=22,4 \text{ cm}^2$).

Para os elementos com igual localização nas treliças da estrutura foi adotada uma secção SHS120x6 mm ($A=26,4 \text{ cm}^2$) para este elemento devido à necessidade de simetria da treliça e à necessidade de todas as treliças serem iguais. Ou seja, para outras treliças que não a treliça E foi, com certeza, necessário adotar uma secção SHS120x6 mm para que a segurança fosse verificada, daí a diferença.

Com esta última verificação dá-se por concluída a verificação analítica dos quatro elementos em análise. A segurança dos quatro elementos é garantida e, conseqüentemente cumpre os requisitos impostos pelo EC3-1-1.

Os restantes elementos da treliça foram verificados com o mesmo processo, no entanto foi utilizada uma folha de cálculo (Figura 60) devido à quantidade de verificações necessárias. Os resultados para os restantes elementos das treliças da estrutura são apresentados no anexo 6.2.

3.7.3 Dimensionamento dos pilares

3.7.3.1 Esforços atuantes

Para o dimensionamento dos pilares devem ser cumpridos os requisitos impostos pelo EC3-1-1, referidos no capítulo 2.4.6.

Assim sendo será apresentada de forma breve verificação de segurança do perfil escolhido (IPE600) para a verificação do cumprimento dos requisitos referidos anteriormente.

Para a combinação 1 (condição mais desfavorável) foram verificados com recurso ao software de simulação os seguintes valores máximos:

- $N_{Ed} = 407,51$ kN (compressão);
- $V_{z,Ed} = 65,02$ kN
- $M_{y,Ed} = 520,17$ kN.m

3.7.3.2 Classificação da secção

Seguidamente tem de ser feita a classificação da secção com recurso à informação presente no anexo 6.1, de onde se obtiveram os seguintes resultados:

$$\frac{c}{t} = 4,21 \leq 9\varepsilon = 0,92 \rightarrow \text{Banzo classe 1}$$

$$\frac{c}{t} = 42,83 \leq 72\varepsilon = 66,24 \rightarrow \text{Alma classe 1}$$

Logo, a secção é de classe 1.

3.7.3.3 Resistência da secção transversal

Com recurso às equações presentes no capítulo 2.4.6 (de acordo com o EC3-1-1), obtêm-se os seguintes valores de resistência da secção transversal:

$$N_{c,Rd} = 4289,56 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,pl,Rd} = 965,97 \text{ kN.m}$$

$$M_{N,y,Rd} = 965,97 \text{ kN.m}$$

$$M_{y,c,Rd} = 965,97 \text{ kN.m}$$

$$V_{z,c,Rd} = 1330,25 \text{ kN.m}$$

3.7.3.4 Resistência à encurvadura por flexão

3.7.3.4.1 Segundo o eixo yy

$$L_{cr,y} = 8,00 \text{ m}$$

$$\lambda_y = 32,93$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,38$$

Curva de encurvadura → Curva a

$$\alpha_y = 0,21$$

$$\phi_y = 0,59$$

$$\chi_y = 0,96$$

$$N_{y,b,Rd} = 4110,10 \text{ kN}$$

3.7.3.4.2 Segundo o eixo zz

$$L_{cr,z} = 5,00 \text{ m}$$

$$\lambda_z = 107,30$$

$$\bar{\lambda}_z = 1,24$$

Curva de encurvadura → Curva b

$$\alpha_z = 0,34$$

$$\phi_z = 1,44$$

$$\chi_z = 0,46$$

$$N_{z,b,Rd} = 1969,01 \text{ kN}$$

3.7.3.5 Resistência à encurvadura lateral

$$L_{cr,LT} = 2,50 \text{ m}$$

$$C_1 = 1,88 ; C_2 = 0,00 ; C_3 = 0,85$$

$$M_{cr} = 6555,01 \text{ kN.m}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0,39$$

Curva de encurvadura lateral → Curva b

$$\alpha_{LT} = 0,34$$

$$\phi_{LT} = 0,60$$

$$\chi_{LT} = 0,93$$

$$M_{b,Rd} = 898,35 \text{ kN.m}$$

3.7.3.6 Estabilidade global do elemento

Como o elemento em análise é constituído por uma secção suscetível de sofrer deformações de torção (secção aberta de paredes finas), admite-se que a encurvadura lateral constitui o modo de instabilidade relevante.

A verificação da encurvadura lateral (em flexão composta) para uma secção de classe 1 consiste na verificação da duas seguintes condições:

$$C_{m_y,0} = 0,79; C_{m_z,0} = 0,77; C_{m_y} = 0,94; C_{m_z} = 0,77$$

$$C_{m_y,0,LT} = 0,79; C_{m_y,LT} = 0,94$$

$$k_{yy} = 0,97; k_{zy} = 0,51$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \times N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} = 0,67 \leq 1,0 \rightarrow \text{OK}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \times N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \times \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \times M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} = 0,51 \leq 1,0 \rightarrow \text{OK}$$

Uma vez verificadas as duas condições anteriores, conclui-se que o perfil IPE600 em aço S275 verifica a segurança em relação aos esforços atuantes, de acordo com o EC3-1-1.

3.7.4 Dimensionamento das madres

Para as madres da estrutura foi escolhido um perfil Z320x120x40x3 mm (Figura 74), em aço S280GD+Z com as seguintes características:

- $f_y=280$ MPa (tensão de cedência);
- $f_u=360$ MPa (tensão última à tração).

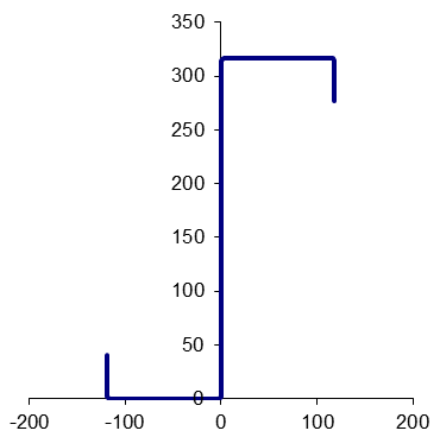


Figura 74 – Secção Z utilizada para as madres

Como se trata de uma secção de classe 4, não podem ser utilizadas as propriedades da secção bruta (Tabela 15), como tal têm de ser calculadas as suas propriedades efetivas de acordo com o EC3-1-1, propriedades essas apresentadas na Tabela 16.

Tabela 15 - Propriedades da secção bruta

Área		Inércia		Módulo de flexão	
A (mm ²)	1850	I _y (mm ⁴)	29157048	W _y (mm ³)	182232
		I _z (mm ⁴)	6335164	W _z (mm ³)	52793
		I _{yz} (mm ⁴)	10126571		

Tabela 16 - Propriedades da secção efetiva

Y _{CG} (mm)	Z _{cg} (mm)	A _{eff} (mm ²)	I _{yeff} (mm ⁴)	I _{zeff} (mm ⁴)	W _{yeff} (mm ³)	W _{zeff} (mm ³)
-1,27	156,35	1824	28549138	6107948	176068	50366

Com as propriedades efetivas calculadas é efetuada a verificação de segurança para que as condições impostas pelo EC3-1-1 sejam verificadas. A secção utilizada cumpre os requisitos impostos pela norma, tal como se pode observar na Tabela 17.

Tabela 17 - Momento atuante e momento resistente da madre

M _{y,Ed} (kN/m)	39,810
M _{c,Rd} (kNm)	49,30

De referir que a madre se encontra travada lateralmente com recurso a três tirantes distribuídos igualmente pelo seu vão.

3.7.5 Dimensionamento dos contraventamentos

Neste capítulo será verificada a segurança, a título exemplificativo, de um elemento do sistema de contraventamento da estrutura, que por sua vez adota uma geometria em cruz.

Seja considerada a barra 1106, com secção tubular circular CHS 168,3x4 mm em aço S275, com as seguintes solicitações:

- 53,72 kN (compressão);
- 58,78 kN (tração).

3.7.5.1 Verificação de segurança à tração

Seguidamente serão demonstrados os cálculos necessários à verificação de segurança deste elemento, que está sujeito a uma força de tração de 58,78 kN para a Combinação 3.

Na Figura 75 pode ser observado o diagrama de esforço normal de tração para a barra 1106.

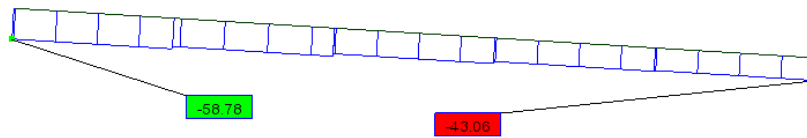


Figura 75 – Diagrama de esforço axial de tração para o elemento 1106

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A \geq \frac{58,78 \times 1,0}{275 \times 10^3} = 2,14 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 2,14 \text{ cm}^2$$

Ou seja, para que seja verificada a segurança tem de ser usado um perfil que tenha uma área de secção superior a $2,14 \text{ cm}^2$. Deste modo, pode-se concluir que é cumprida a segurança, pois a secção CHS168,3x4mm tem uma área de secção superior ($A=20,60 \text{ cm}^2$).

3.7.5.2 Verificação de segurança à compressão

Seguidamente serão demonstrados os cálculos necessários à verificação de segurança deste elemento, que está sujeito a uma força de compressão de 53,72 kN para a Combinação 1.

Na Figura 76 pode ser observado o diagrama de esforço normal de compressão para a barra 1106.

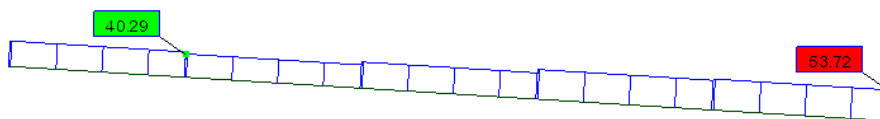


Figura 76 – Diagrama de esforço axial de compressão para o elemento 1106

3.7.5.2.1 Classificação da secção

Para a secção referida (secção tubular redonda de espessura constante CHS168,3x4mm), em aço S275, submetidas a compressão pura, a classe da secção é obtida com recurso ao Quadro 5.2 do EC3-1-1.

$$\frac{c}{t} = \frac{168,3}{4} = 42,08 \leq 50\varepsilon^2 = 42,5$$

Logo pode-se concluir que se trata de uma secção de classe 1.

3.7.5.2.2 Verificação da resistência à encurvadura

Para elementos comprimidos deve-se verificar a condição $N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$, tal como referido no capítulo 2.4, de referir que para os contraventamentos o comprimento de encurvadura assume um comprimento de encurvadura de $0,5L$.

Coefficiente de esbelteza de referência:

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9 \times 0,92 = 86,34$$

Comprimento de encurvadura:

$$L_E = 0,5L = 0,5 \times 14,17 = 7,09 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{L_E}{i} = \frac{7,09}{5,81 \times 10^{-2}} = 121,95$$

Coefficiente de esbelteza normalizada:

$$\bar{\lambda} = \lambda / \lambda_1 = 121,95 / 86,34 = 1,41$$

Secção tubular redonda laminada, logo usa-se a Curva a, à qual corresponde um valor de $\alpha=0,21$.

$$\chi = 0,5 \times [1 + 0,21 \times (1,41 - 0,2) + 1,41^2] = 1,62$$

$$\chi = \frac{1}{1,62 + \sqrt{1,62^2 - 1,41^2}} = 0,41$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,41 \times 20,60 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{1} = 234,32 \text{ kN}$$

Visto que $N_{Ed} = 53,72 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 234,32 \text{ kN}$, a secção CHS168,3x4 mm (S275), verifica a segurança.

Concluindo, a verificação de segurança é cumprida quer para o esforço axial de tração quer para o esforço axial de compressão.

Assim:

$$\frac{H}{150} = \frac{10}{150} = 0,067 \geq 0,067 \text{ m}$$

Logo pode-se afirmar que é verificado do estado limite de utilização para o caso do deslocamento horizontal dos pilares.

3.7.6.2 Deslocamentos verticais

De acordo com os dados fornecidos pelo capítulo 2.3.4.1.1 e pela Tabela 2, pode-se calcular o valor de deslocamento vertical máximo admitido para as treliças.

O valor máximo de deslocamento vertical presente na estrutura corresponde a 0,081 m (Figura 78) para a combinação 203 à qual corresponde a Ação Variável Base do vento.

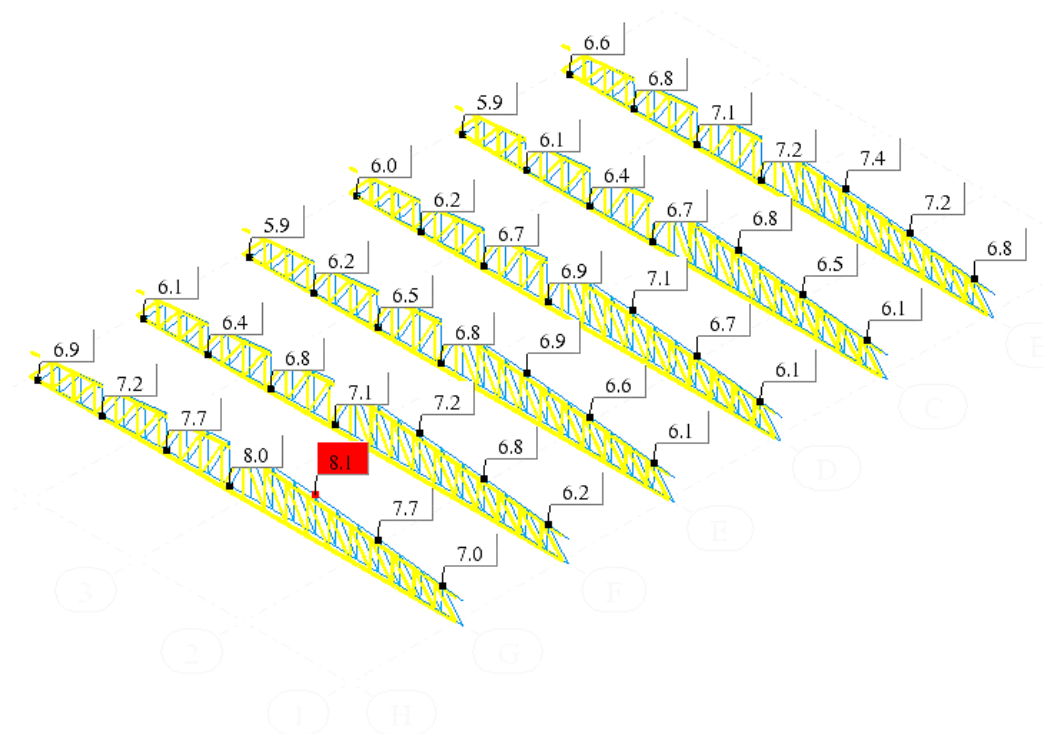


Figura 78 – Deslocamento vertical máximo da estrutura

Assim:

$$\frac{L}{200} = \frac{40}{200} = 0,2 \geq 0,081 \text{ m}$$

Logo pode-se afirmar que é verificado o estado limite de utilização para o caso do deslocamento vertical das treliças.

Na Figura 79 pode ser observada uma visão global exemplificativa da deformação horizontal e vertical imposta à estrutura.

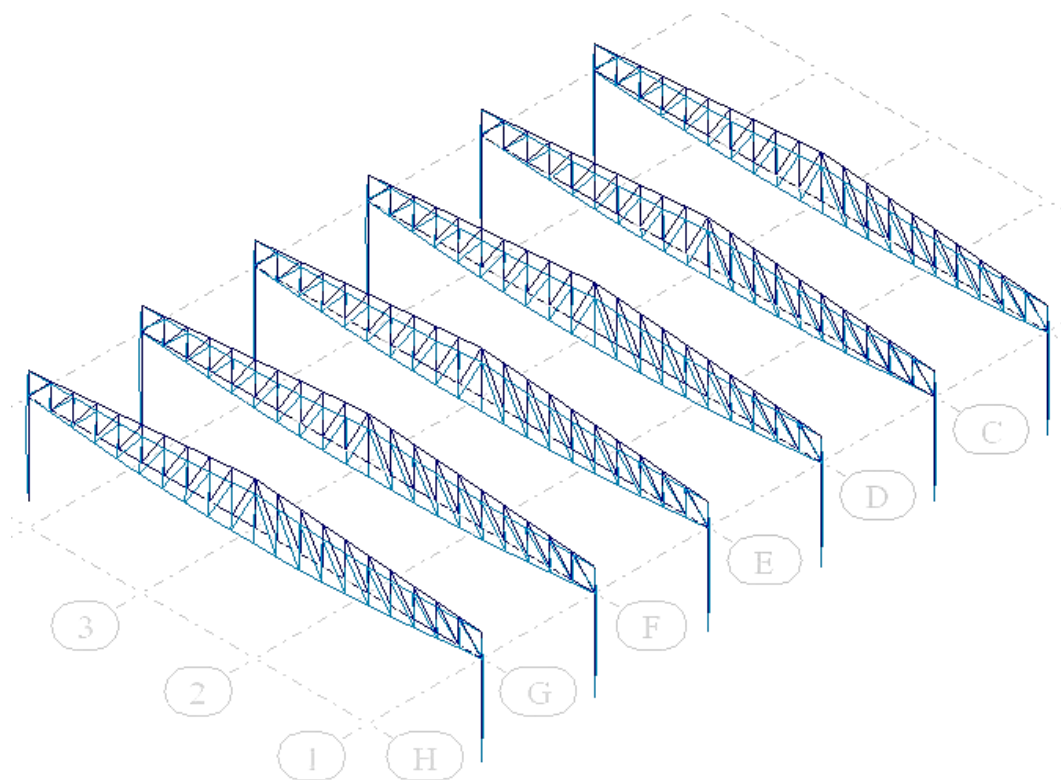


Figura 79 – Exemplo de deslocamentos verticais e horizontais impostos à estrutura

3.8 Estudo paramétrico e avaliação de custos da treliça

Em qualquer projeto uma das principais condicionantes a considerar são os custos, que de um modo geral são condicionados pelo peso da estrutura. Como para o caso do aço geralmente o preço é associado ao peso (€/kg), neste capítulo serão feitas comparações e relações entre as duas grandezas. Para a análise de custos serão tidos em conta:

- Custo da matéria-prima;
- Custo do processo de fabrico;
- Custo da montagem em obra.

Para este estudo, além da solução geométrica calculada (Solução 1), apresentada no capítulo 3.7.1 e com geometria Howe, constituída por secções transversais do tipo SHS e travamentos laterais espaçados de quatro em quatro metros, foi concebida ainda uma solução geométrica alternativa (Solução 2) com o mesmo tipo de travamento no entanto com geometria Warren.

Para as duas soluções geométricas serão analisadas soluções em perfis SHS e HEA e ainda três soluções de travamentos laterais para cada uma, perfazendo um total de 12 geometrias possíveis (Tabela 20).

Tabela 20 – Soluções construtivas estudadas para as treliças

Tipo de solução	Tipo de secção utilizada	Tipo de travamento lateral	Totalidade de soluções estudadas
Solução 1	SHS	Travamento 1	12
		Travamento 2	
		Travamento 3	
	HEA	Travamento 1	
		Travamento 2	
		Travamento 3	
Solução 2	SHS	Travamento 1	
		Travamento 2	
		Travamento 3	
	HEA	Travamento 1	
		Travamento 2	
		Travamento 3	

Deste modo, este capítulo estará dividido da seguinte forma:

- Apresentação das diferentes soluções geométricas e tipos de secção utilizada;
- Apresentação dos diferentes tipos de travamentos;
- Análise de custos;
- Análise de peso da treliça em aço;
- Comparação custo/peso.

3.8.1 Apresentação das diferentes soluções construtivas

Neste capítulo são apresentadas as soluções estruturais da treliça para a Solução 1 e Solução 2 referindo apenas a geometria original de travamento, no entanto na Figura 80 pode ser observado um esquema da totalidade das soluções.

A análise das soluções construtivas apresentadas neste capítulo torna-se importante na medida em que vai permitir aferir a influência da geometria e do tipo de secção usada no custo e no peso final das treliças. Os resultados e/ou conclusões das diferentes soluções construtivas serão apresentados nos capítulos 3.8.3, 3.8.4, 3.8.4 e 3.8.6, no entanto as conclusões finais são apresentadas no capítulo 4.

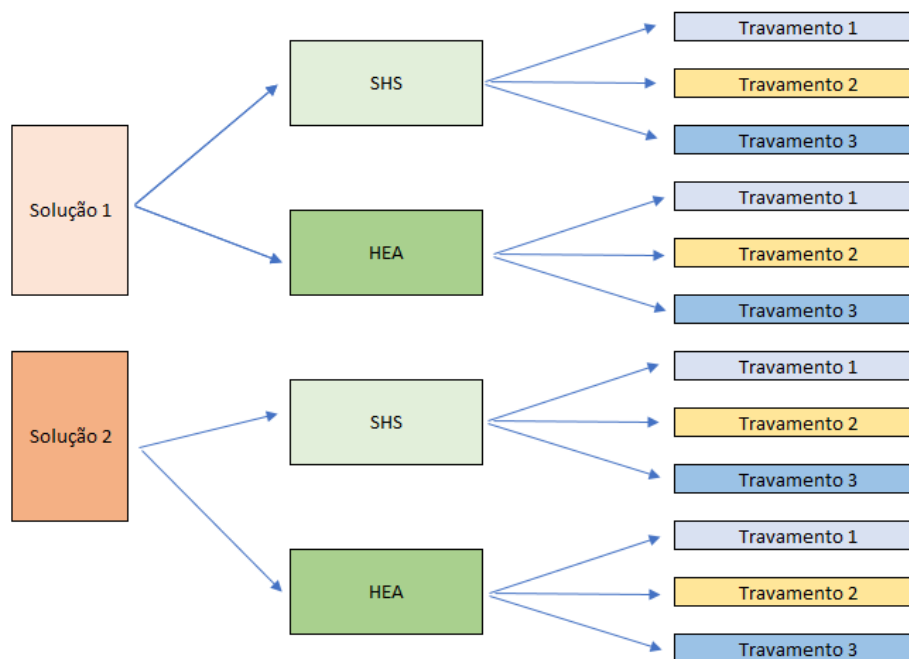


Figura 80 – Esquema com as soluções construtivas estudadas para as treliças

3.8.1.1 Solução 1 em perfis de secção SHS

A solução apresentada na Figura 81 refere-se à treliça dimensionada no capítulo 3.7.1, para a qual foram utilizadas as secções SHS apresentadas. As diferentes cores da figura representam as diferentes secções SHS utilizadas na treliça.

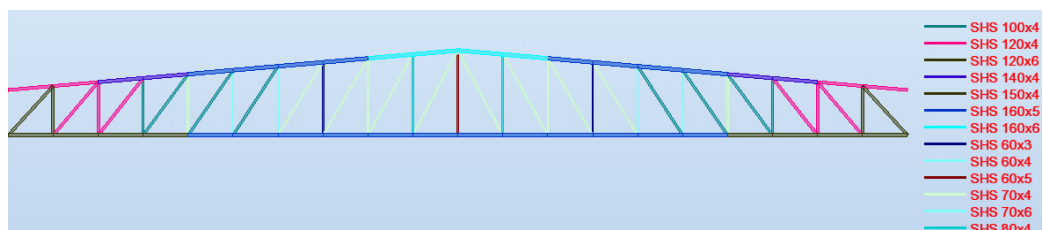


Figura 81 – Secções utilizadas na solução 1 em perfis SHS

3.8.1.2 Solução 1 em perfis de secção HEA

A solução apresentada na Figura 82 tem a mesma geometria da treliça apresentada em na Figura 81, no entanto utiliza secções de perfil aberto HEA. As diferentes cores da figura representam as diferentes secções HEA utilizadas na treliça.

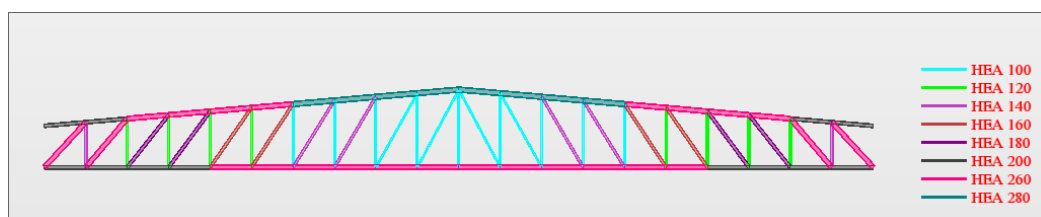


Figura 82 – Secções utilizadas na solução 1 em perfis HEA

3.8.1.3 Solução 2 em perfis de secção SHS

A solução apresentada na Figura 83 utiliza perfis de secção SHS, no entanto apresenta uma geometria diferente à da solução apresentada no capítulo 3.8.1.1. De uma forma geral, nesta solução os montantes foram reduzidos para metade e as diagonais adotaram um novo posicionamento, enquanto que os restantes elementos mantiveram as suas geometrias inalteradas.

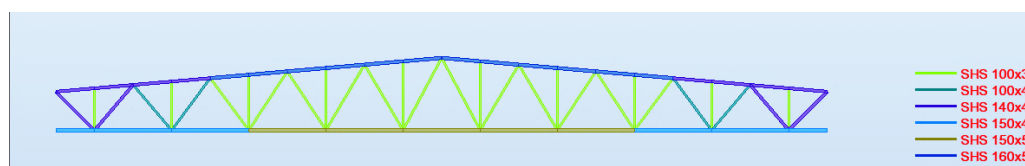


Figura 83 – Secções utilizadas na solução 2 em perfis SHS

3.8.1.4 Solução 2 em perfis de secção HEA

A solução apresentada na Figura 84 tem a mesma geometria da treliça apresentada na Figura 83, no entanto utiliza secções HEA.

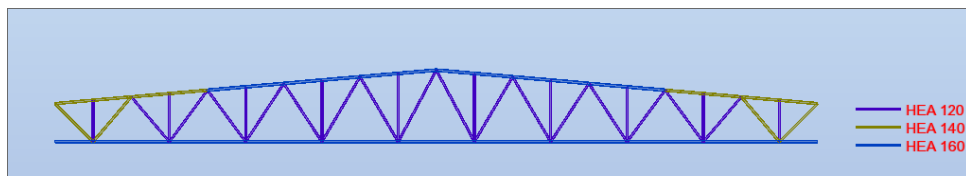


Figura 84 – Seções utilizadas na solução 2 em perfis HEA

3.8.2 Influência do número de travamentos

Tal como referido anteriormente, para cada solução construtiva serão analisados três tipos de travamentos laterais (Travamento 1, Travamento 2 e Travamento 3).

Os travamentos têm como função principal impedir a encurvadura no plano perpendicular à treliça, visto que reduzem o seu comprimento de encurvadura, como tal estes elementos revelam-se de grande importância.

Assim sendo, o estudo de diferentes soluções de travamento permitirá compreender a influência dos mesmos no custo e no peso da estrutura e perceber se é compensatório ou não usar determinada geometria.

Neste estudo serão, tal como referido anteriormente, considerados três tipos de travamento, que possuem a seguinte configuração e disposição geométrica:

- Travamento 1 – tipo de travamento utilizado no dimensionamento da estrutura e que é aplicado de quatro em quatro metros aos nós da corda inferior da treliça (Figura 85 e Figura 86);
- Travamento 2 – travamento aplicado de oito em oito metros aos nós da corda inferior da treliça (Figura 87 e Figura 88);
- Travamento 3 – travamento aplicado de dez em dez metros aos nós da corda inferior da treliça (Figura 89 e Figura 90).

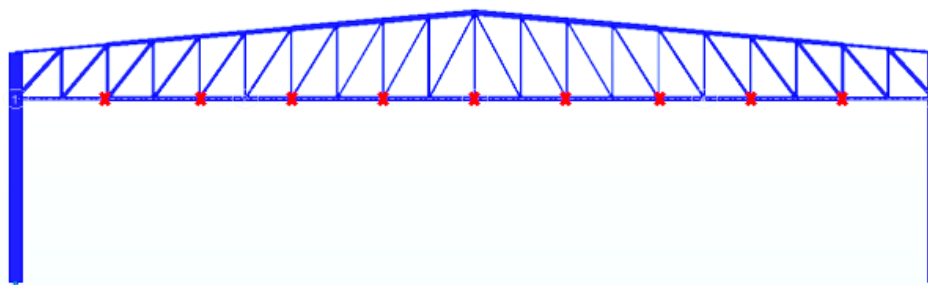


Figura 85 – Travamento 1 para a solução 1

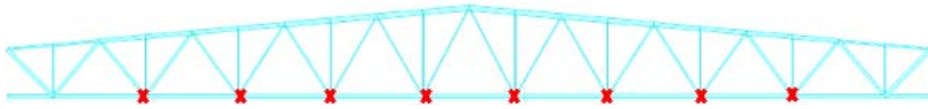


Figura 86 – Travamento 1 para a solução 2

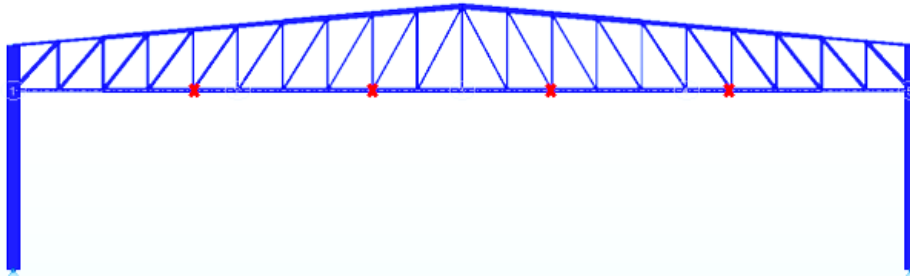


Figura 87 – Travamento 2 para a solução 1

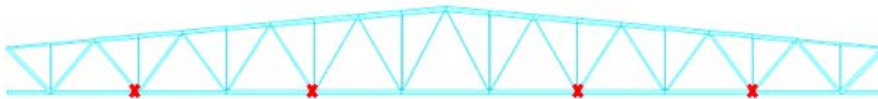


Figura 88 – Travamento 2 para a solução 2

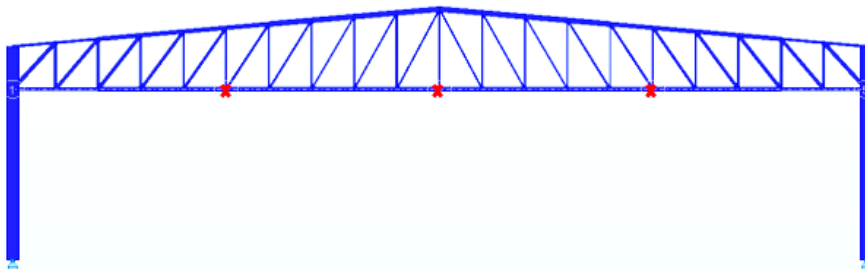


Figura 89 – Travamento 3 para a solução 1



Figura 90 – Travamento 3 para a solução 2

Para que seja facilitada a análise dos pesos das diferentes soluções para os diferentes tipos de travamento, pode-se consultar a Tabela 21

Tabela 21 – Peso das treliças em função do tipo de travamento

Solução	Tipo de secção utilizada	Travamento	Peso (kg)
Solução 1	SHS	Travamento 1	3059,00
		Travamento 2	3206,00
		Travamento 3	3411,00
	HEA	Travamento 1	5289,00
		Travamento 2	6092,00
		Travamento 3	6485,00
Solução 2	SHS	Travamento 1	2687,00
		Travamento 2	2921,00
		Travamento 3	3727,00
	HEA	Travamento 1	4378,00
		Travamento 2	4640,00
		Travamento 3	4796,00

Para o correto funcionamento dos travamentos são vulgarmente utilizados dois tipos principais de geometria:

- **Tirantes** – aplicados desde a parte inferior da treliça até às madres (Figura 91);
- **Treliça** – aplicada longitudinalmente ao longo de todo o comprimento da estrutura, interceptando a totalidade das treliças dos pórticos principais (Figura 92).

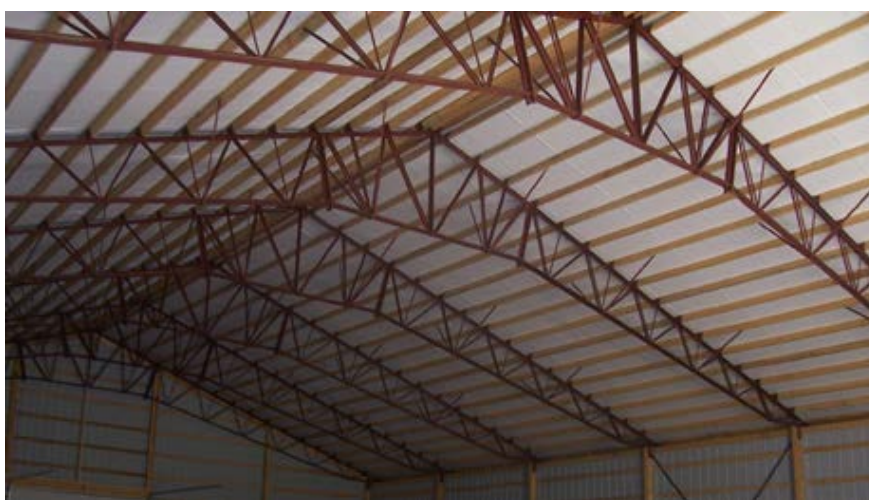


Figura 91 – Solução de travamento por tirantes



Figura 92 – Solução de travamento por treliças [35]

3.8.3 Dados gerais das diferentes soluções estudadas

O custo e o peso são grandezas que estão diretamente relacionadas no projeto de estruturas metálicas, sendo que deve ser estudado o melhor compromisso entre as diferentes soluções, levando assim a uma otimização dos custos.

Por uma questão de simplicidade foi realizado um orçamento apenas baseado no peso da matéria prima (para o custo da matéria prima foi considerado um valor médio, baseado em preços de referência atuais para o aço).

Uma análise mais pormenorizada exigia a consideração das ligações e preços associados a cada tipo de secção.

Foram ainda considerados os custos associados ao processo de fabrico e o custo da montagem em obra, obtidos com recurso a valores adotados por [36].

Na Figura 93 pode ser observado o peso e custo das doze soluções, entre eles o custo da matéria-prima, custo do processo de fabrico, custo da montagem em obra, peso total e custo total.

	Material		Fabrico				Montagem em obra			Preço total (€)	
	Peso total (kg)	Preço médio (€/kg)	Preço (€)	Pórtico treliçado (€/kg)	Galvanização (€/kg)	Chumbadouros (€/kg)	Preço (€)	Mão de obra (€/kg)	Méios de montagem (€/kg)		Preço (€)
Sol 1 SHS Trav 1	3059,00	1,05	3211,95	0,60	0,40	0,10	3364,90	0,35	0,17	1590,68	8167,53
Sol 1 SHS Trav 2	3206,00	1,05	3366,30	0,60	0,40	0,10	3526,60	0,35	0,17	1667,12	8560,02
Sol 1 SHS Trav 3	3411,00	1,05	3581,55	0,60	0,40	0,10	3752,10	0,35	0,17	1773,72	9107,37
Sol 2 SHS Trav 1	2687,00	1,05	2821,35	0,60	0,40	0,10	2955,70	0,35	0,17	1397,24	7174,29
Sol 2 SHS Trav 2	2921,00	1,05	3067,05	0,60	0,40	0,10	3213,10	0,35	0,17	1518,92	7799,07
Sol 2 SHS Trav 3	3727,00	1,05	3913,35	0,60	0,40	0,10	4099,70	0,35	0,17	1938,04	9951,09
Sol 1 HEA Trav 1	5289,00	0,84	4442,76	0,60	0,40	0,10	5817,90	0,35	0,17	2750,28	13010,94
Sol 1 HEA Trav 2	6092,00	0,84	5117,28	0,60	0,40	0,10	6701,20	0,35	0,17	3167,84	14986,32
Sol 1 HEA Trav 3	6485,00	0,84	5447,40	0,60	0,40	0,10	7133,50	0,35	0,17	3372,20	15953,10
Sol 2 HEA Trav 1	4378,00	0,84	3677,52	0,60	0,40	0,10	4815,80	0,35	0,17	2276,56	10769,88
Sol 2 HEA Trav 2	4640,00	0,84	3897,60	0,60	0,40	0,10	5104,00	0,35	0,17	2412,80	11414,40
Sol 2 HEA Trav 3	4796,00	0,84	4028,64	0,60	0,40	0,10	5275,60	0,35	0,17	2493,92	11798,16

Figura 93 – Peso e custos para as diferentes soluções construtivas

3.8.4 Análise do peso da treliça em aço

Na Figura 94 pode ser observada uma relação entre o peso das diferentes soluções construtivas e o tipo de travamentos utilizados.

Pode-se concluir que de um modo geral há uma diminuição de peso quando se opta pela solução 2, sendo esta diminuição mais acentuada para as soluções em perfis de secção HEA.

Em termos globais, a solução mais pesada é a Solução 1 em perfis de secção HEA, enquanto a solução mais leve é a solução 2 em perfis de secção SHS.

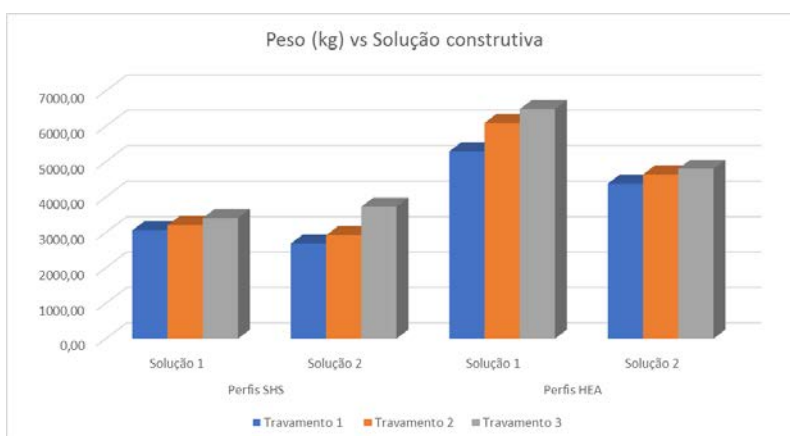


Figura 94 – Peso em função da solução construtiva e do travamento utilizado

Na Figura 95 pode ser observada uma relação entre o peso da treliça para os diferentes tipos de travamento e o tipo de secção utilizada.

Quanto ao tipo de travamento adoptado, pode-se concluir que à medida que se optam por travamentos mais espaçados entre si o peso da treliça tende a aumentar. Apesar disso o aumento não é significativo, pelo que pode compensar face à necessidade de criar uma estrutura auxiliar aos travamentos.



Figura 95 – Peso em função do travamento e da secção utilizada

3.8.5 Análise de custos

Na Figura 96 pode ser observada uma relação entre o preço das diferentes soluções construtivas e o tipo de travamentos utilizados.

Pode-se concluir que para perfis de secção SHS não há grande variação de preço entre usar a solução 1 ou a solução 2, no entanto, para perfis de secção HEA, há uma grande diminuição de preço quando se opta pela solução 2 ao invés da solução 1.

Em termos globais, a solução mais dispendiosa é a solução 1 com perfis HEA enquanto que a solução mais económica é a solução 2 em perfis SHS.

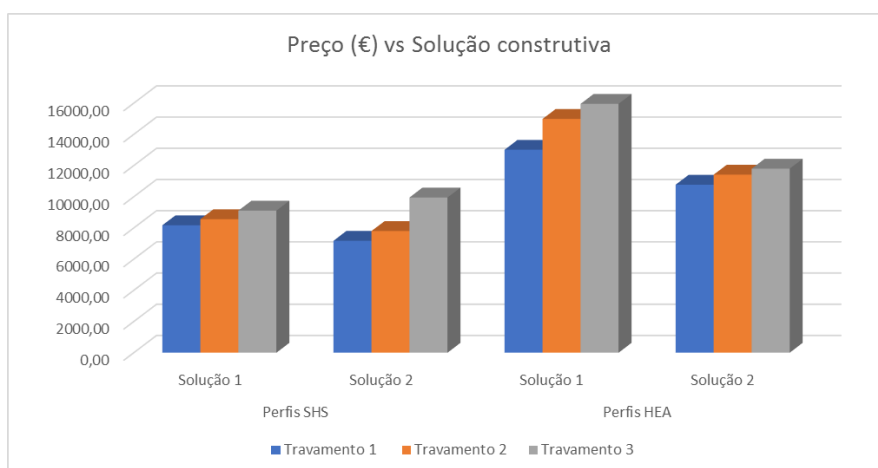


Figura 96 – Preço em função da solução construtiva e do travamento utilizado

Na Figura 97 pode ser observada uma relação entre o preço das treliças para os diferentes tipos de travamento e o tipo secção utilizada.

Quanto ao tipo de travamento adoptado, pode-se concluir que à medida que se optam por travamentos mais espaçados entre si o custo da treliça tende a aumentar. No entanto o aumento não é significativo, pelo que pode compensar face à necessidade de criar uma estrutura auxiliar aos travamentos.

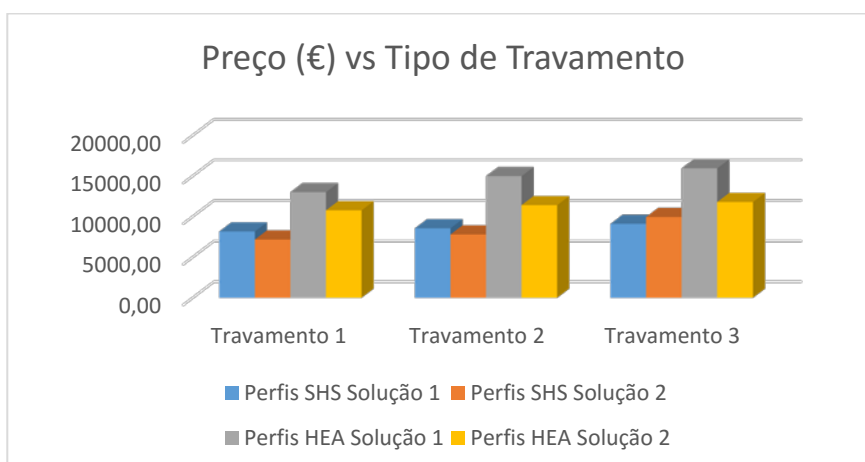


Figura 97 – Preço em função do travamento e da secção utilizada

3.8.6 Comparação custo/peso para as diferentes soluções

Dado que existem duas variáveis em análise (custo e peso), a melhor forma para ser escolhida a melhor solução geral é o quociente entre as duas variáveis, que resultará numa relação que permite encontrar a melhor solução.

Na Figura 98 podem-se observar as relações referidas anteriormente e concluir que para os dois tipos de perfis utilizados nas diferentes soluções construtivas, a que apresenta uma melhor relação entre o preço e o peso são as soluções em perfis HEA. No entanto conduz a soluções estruturais de treliça bastante mais pesadas, o que pode fazer das soluções SHS mais atractivas em termos de preço global.

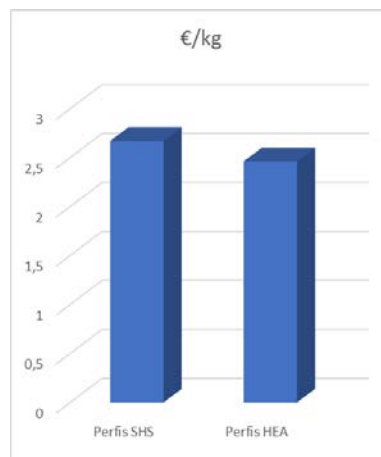


Figura 98 – Relação €/kg para soluções em perfis SHS e perfis HEA

Concluindo e para que se possa ter uma visão global das variáveis em estudo (peso e custo), são apresentados na Figura 99 todos os resultados obtidos durante o presente capítulo (3.8). As soluções de treliça em perfis SHS são substancialmente mais leves e com um custo significativamente mais baixo.

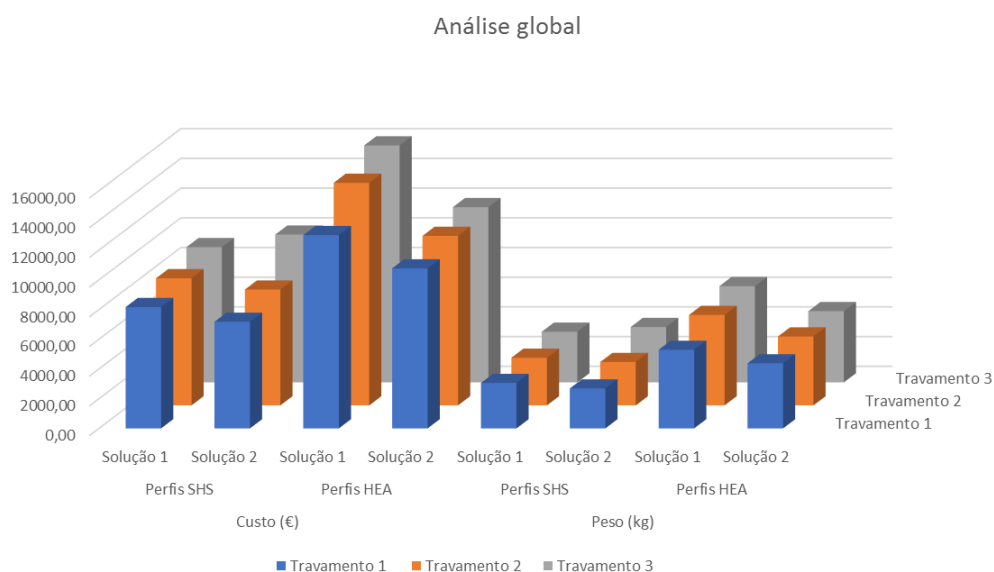


Figura 99 – Análise paramétrica e económica global

CONCLUSÕES

4 CONCLUSÕES

A entrada em vigor dos Eurocódigos no projeto de estruturas metálicas conduziu a uma uniformização nos princípios de dimensionamento e métodos de cálculo na Comunidade Europeia.

Os Eurocódigos têm a vantagem de possuírem carácter normativo e em simultâneo fornecerem um vasto leque de ferramentas de dimensionamento, tornando-se assim documentos de grande importância para todos os projetistas de construções metálicas.

O Eurocódigo 1 revela-se de grande importância para a quantificação de todas as ações impostas nas estruturas, especificando detalhadamente todos os métodos e procedimentos a utilizar.

O Eurocódigo 3, mais extenso, carece de uma utilização mais cuidada e constante devido a todas as regras e exceções existentes para cada caso e tipo de dimensionamento/verificação a realizar.

O principal objetivo desta dissertação foi estudar a aplicação de soluções em treliça a coberturas de grandes vãos em unidades industriais, tendo sido realizado um estudo paramétrico com diferentes tipologias de treliça, tipos de secção transversal e configurações de travamento da corda inferior. Todos os dimensionamentos foram realizados de acordo com os requisitos de segurança impostos pelo Eurocódigo 1 (EC1) e Eurocódigo 3 (EC3).

Os pavilhões metálicos são construídos principalmente para uso industrial, comercial, agrícola e armazenamento. Desta tipologia de construção resultam espaços amplos com o mínimo de pilares interiores possível, daí o uso recorrente deste tipo de soluções.

Quanto à configuração do pavilhão industrial estudado, foi definida uma geometria em planta de 70x40 m, com uma cobertura de duas vertentes com uma inclinação de 5 graus. Para pavilhões industriais com vãos superiores a 40 m, a solução estrutural em treliça é tipicamente adoptada, sendo que o projectista fica confrontado com um conjunto de opções de projecto que podem ter um peso relevante na solução final. De entre essas opções, salienta-se: a tipologia de treliça, o tipo de secção transversal, o número de travamentos da corda inferior, ou o tipo de ligações a aplicar. Este trabalho pretende ajudar a clarificar as implicações de cada uma destas opções. Nesse sentido, foi dedicada especial atenção ao dimensionamento da solução em treliças e respetiva análise de diferentes soluções, o dimensionamento das ligações não foi considerado neste trabalho.

Numa fase inicial foi dedicado um tempo significativo à compreensão e aplicação dos requisitos definidos pelo Eurocódigo 1 para a definição da acção da neve e vento. O carácter detalhado do código bem como as particularidades associadas a cada tipologia estrutural exigem uma aplicação rigorosa.

De seguida foi definida uma configuração base da treliça, neste estudo foi definida a treliça tipo Howe, e realizado o modelo numérico para as simulações. Neste estudo foi usado o *software* de análise estrutural, *Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018*. Trata-se de um *software* de análise estrutural reconhecido e com grande implantação em gabinetes de projecto de estruturas em toda a Europa. O modelo numérico permite obter os esforços actuantes em cada elemento da estrutura, sendo necessário proceder de seguida às verificações de segurança de acordo com o Eurocódigo 3. Dos três métodos abordados para a verificação de segurança das treliças da estrutura (verificação manual de cada elemento (método analítico), programação de folha de cálculo e utilização dos módulos de verificação do *software* de simulação) pode-se concluir que todos são aplicáveis, no entanto o método analítico é significativamente mais demorado. Por outro lado a utilização do módulo de verificação do *software* de análise, permite efectuar todas as verificações de segurança em segundos. A utilização de uma folha de cálculo assume um meio termo entre os dois métodos referidos anteriormente.

Apesar da morosidade do método analítico este nunca deve ser totalmente colocado de parte, pois constitui uma importante ferramenta de calibração dos resultados obtidos via verificação automática e permite, por vezes, encontrar erros de parametrização de resultados obtidos pelo módulo de verificação do *software*.

Depois de obtida a solução estrutural para a treliça base foi definido um estudo paramétrico em que se consideraram diferentes alternativas quanto à tipologia, secção transversal dos elementos e número de travamentos da corda inferior. Relativamente à tipologia da treliça foi considerada a utilização de treliças tipo Warren. No que diz respeito ao tipo de perfis a utilizar, consideraram-se perfis tubulares quadrados e perfis de secção aberta HEA e HEB. Adicionalmente foram considerados três cenários de travamentos da corda inferior da treliça.

Após o dimensionamento das diferentes soluções foi avaliado o peso e o custo de cada solução e comparados os resultados. Como seria expectável a adoção de diferentes soluções construtivas para as treliças tem influência direta no seu peso e custo. Comparando as tipologias de treliça, as treliças tipo Warren (Solução 2) apresentam pesos mais baixos, e consequentemente custos de material inferiores, independentemente da secção transversal adoptada e do número de travamentos considerado.

Um segundo aspecto analisado, foi a influência no peso e custo do tipo de secção transversal adoptada. Dos resultados obtidos é possível concluir que independentemente da tipologia de treliça adoptada, as soluções com perfis de secção aberta apresentam maior peso de material. Para todos os cenários em estudo, o peso

das soluções em secção aberta é sensivelmente o dobro do peso das soluções em perfil tubular. Salienta-se ainda, que apesar do custo dos perfis de secção aberta ser inferior ao custo das secções tubulares, o custo total da estrutura adoptando perfis de secção aberta é substancialmente superior.

Quanto ao número de travamentos da corda inferior, pode concluir-se que o aumento do peso devido à diminuição do número de travamentos não é significativo (aproximadamente 10%). Sendo este aumento de peso pouco significativo, pode ser benéfico adoptar um número de travamentos inferior, visto que o trabalho e o material envolvido nas soluções de travamento da corda inferior da treliça podem implicar custos superiores à poupança de material.

Em resumo, conclui-se que na execução de pavilhões metálicos a utilização de soluções de treliça de tipo Waren é mais vantajosa pois permite uma redução significativa do peso/custo. Foi ainda possível concluir que a utilização de perfis tubulares permite a obtenção de soluções globalmente mais económicas. Relativamente ao número de travamentos a utilizar, foi evidente que o aumento de peso/custo associado à diminuição do número de travamentos não é significativo quando comparado com o valor associado à execução e peso de um número elevado de elementos de travamento.

Como proposta para desenvolvimentos futuros da dissertação são de realçar os seguintes aspetos:

- Influência das ligações no custo das treliças;
- Quantificação mais rigorosa do custo total do pavilhão industrial (estruturas secundárias, ex. tipo de travamento da corda inferior);
- Utilização de outras secções tubulares e perfis abertos, considerando ainda a questão da orientação como critério de dimensionamento;
- Utilização de secções compostos, tipo duplo C, e implicações do custo fabrico face às soluções em secção laminada.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

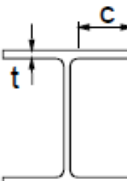
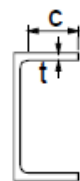
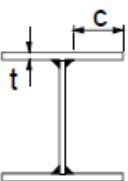
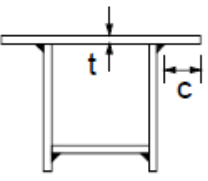
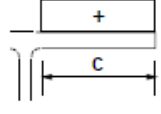
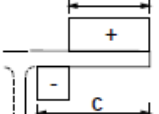
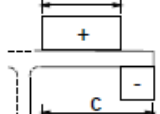
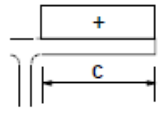
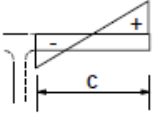
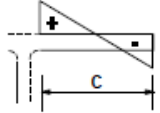
1. NP EN 1990 – Eurocódigo – Bases para o projeto de estruturas 2009, Instituto Português da Qualidade.
2. NP EN 1991-1-1 – Eurocódigo 1 – Ações em estruturas. Parte 1-1: Ações gerais: pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios. 2009, Instituto Português da qualidade.
3. NP EN 1991-1-3 – Eurocódigo 1 – Ações em estruturas. Parte 1-3: Ações gerais: Ações da neve 2009, Instituto Português da qualidade.
4. NP EN 1991-1-4 – Eurocódigo 1 - Ações em estruturas. Parte 1-4: Ações gerais: Ações do vento. 2010, Instituto Português da qualidade.
5. NP EN 1993-1-1 – Eurocódigo 3 – Projeto de estruturas de aço. Parte 1-1: Regras gerais regras para edifícios 2010, Instituto Português da qualidade.
6. GEG - Engineering Structures. [cited 2017 Setembro]; <http://geg.pt/projetos/viaduto-das-andreas-sobre-a-vci/>.
7. Portal dos Equipamentos. [cited 2017 Junho]; Available from: portaldosequipamentos.com.br.
8. Jornalismo Porto Net (página oficial). [cited 2017 Setembro]; Available from: <https://jpn.up.pt/2016/03/08/alargamento-da-ponte-d-luis-i-solucao-doce/>.
9. Jornal Económico. [cited 2017 Maio]; Available from: <http://www.jornaleconomico.sapo.pt/noticias/ameaca-de-bomba-na-gare-do-oriente-134608>.
10. Hotfrog. [cited 2017 Junho]; Available from: <https://www.hotfrog.in/business/andhra-pradesh/hyderabad-h-o/royalaseema-steel-re-rolling-mills>.
11. Alibaba. [cited Agosto 2017]; Available from: https://www.alibaba.com/product-detail/Construction-Stainless-C-U-Z-Purlins_60441499409.html.
12. Steelconstruction. [cited 2017 Setembro]; Available from: <https://www.steelconstruction.info/images/thumb/0/07/Portal-1.jpg/500px-Portal-1.jpg>.
13. STEEL BUILDINGS IN EUROPE - Part 1: Architect's Guide (SECHALO). Arcelor Mittal. p. 47.
14. Salter, P.R., A.S. Malik, and C.M. King, *Design of single-span steel portal frames to BS 5950-1:2000*. 2004, The Steel Construction Intitute: United Kingdom.
15. Miracle Span. [cited 2017 Setembro]; Available from: <http://miraclespan.co.uk/wp-content/uploads/2014/01/Miracle-Portal-Frame-840x400.jpg>.
16. Norasil. [cited 2017 Agosto]; Available from: <http://www.norasil.pt/1997/11/construcao-de-pavilhao-desportivo-incluindo-arranjos-exteriores-na-escola-eb-23-francisco-torrinha-no-porto-dren/>.
17. American Steel Span. [cited 2017 Setembro]; Available from: <http://www.americansteelspan.us/house1.jpg>.
18. Eurocódigo 3 - Projecto de estruturas de aço. Parte 1-8: Projecto de ligações. 2010, Instituto Português da qualidade.
19. Falcão, R.M., *Apontamentos da unidade curricular de Construções Mecânicas do Mestrado em Engenharia Mecânica*, ISEP. 2016.
20. Wikipedia. [cited 2017 Agosto]; Available from: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Rebite>.
21. Architectureau. [cited 2017 Agosto]; Available from: <https://architectureau.com/articles/architecturally-exposed-structural-steel/>.

22. *Pinterest*. [cited 2017 Agosto]; Available from: <https://www.pinterest.pt/explore/steel-structure/>.
23. Silva, M.I.S., *ESTUDO E ANÁLISE DE TRELIÇAS*. 2016.
24. *Historic Bridges*. [cited 2017 Junho]; Available from: <http://historicbridges.org/bridges/browser/?bridgebrowser=newyork/eriecanalrrnorthbridge/>.
25. *Descompliquei Engenharia*. [cited 2017 Agosto]; Available from: <http://descompliqueiaengenharia.blogspot.pt/2016/11/analise-de-esforcos-de-trelizas-planas.html>.
26. *LEM*. [cited 2017 Julho]; Available from: <http://www.lem.ep.usp.br/pef2309/antigo/2002.1/2002pontes/>.
27. Simões, R.A.D., *Manual de Dimensionamento de Estruturas Metálicas*. 2007.
28. *Eletropoll*. [cited 2017 Setembro]; Available from: <http://www.eletropoll.com.br/pt/unidades-de-negocios-bandejamento/galvanizacao-a-fogo>.
29. Filho, A.A., *Elementos Finitos*. 2000: Érica.
30. Campilho, R.D.S.G., *Método dos Elementos Finitos - Ferramentas para análise Estrutural*. 2012: Publindústria.
31. *Elemento de estrutura*. Available from: <https://expeditionworkshed.org/workshed/push-me-pull-me/>.
32. Autodesk, *Autodesk Customer Success Story*.
33. *Topographic-map (Página oficial)*. Available from: <http://pt-pt.topographic-map.com/>.
34. Jacinto, L., *Acção do vento: quantificação de acordo com o EC1*. 2014, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
35. *Uni Steel Buildings - travamento com treliça*. [cited 2017 Agosto]; Available from: <http://www.uni-steelbuildings.com/Uploads/Qc/Ads-20170403170239-0.png>.
36. Sousa, J.F.M., *ESTUDO ECONÓMICO DE PAVILHÕES METÁLICOS*. 2016, Instituto Politécnico de Viana do Castelo: Viana do Castelo.

ANEXOS

6 ANEXOS

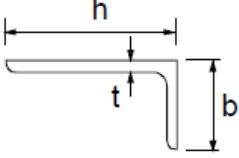
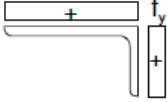
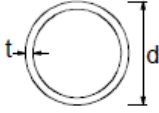
6.1 Quadros para classificação de secções transversais

Quadro 5.2 (página 2 de 3) – Limites máximos das relações largura-espessura para componentes comprimidos						
Banzos em consola						
						
Secções laminadas			Secções soldadas			
Classe	Componente solicitado à compressão	Componente solicitado à flexão e à compressão				
		Extremidade comprimida		Extremidade traccionada		
Distribuição das tensões nos componentes (compressão positiva)						
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
Distribuição das tensões nos componentes (compressão positiva)						
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_{\sigma}}$ Para k_{σ} ver a EN 1993-1-5				
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Quadro 5.2 (página 1 de 3) – Limites máximos das relações largura-espessura para componentes comprimidos

Componentes internos comprimidos						
				Eixo de flexão		
				Eixo de flexão		
Classe	Componente solicitado à flexão	Componente solicitado à compressão	Componente solicitado à flexão e à compressão			
1						
2						
3						
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

⁹ $\psi \leq -1$ aplica-se quando a tensão de compressão $\sigma \leq f_y$, ou quando a extensão de tracção $\epsilon_y > f_y / E$.

Quadro 5.2 (página 3 de 3) – Limites máximos das relações largura-espessura para componentes comprimidos						
Consultar também “Banzos em consola” (ver página 2 de 3)		<p style="text-align: center;">Cantoneiras</p> 			Não se aplica a cantoneiras em contacto contínuo com outros componentes	
Classe	Secção comprimida					
Distribuição das tensões na secção (compressão positiva)						
3	$h/t \leq 15\epsilon \quad e \quad \frac{b+h}{2t} \leq 11,5\epsilon$					
<p>Secções tubulares</p> 						
Classe	Secção em flexão e/ou compressão					
1	$d/t \leq 50\epsilon^2$					
2	$d/t \leq 70\epsilon^2$					
3	$d/t \leq 90\epsilon^2$					
<i>NOTA: Para $d/t > 90\epsilon^2$ ver a EN 1993-1-6.</i>						
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	ϵ^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

6.2 Verificações de segurança para a treliça com tubos de secção SHS

Cordas superiores

Treliza	Cordas superiores					Tração		Compressão				Perfil
	Barra/Nó/Caso	Ned (kN)	Comprimento (m)	Combinação	Solicitação	Npl,rd/Ned	Verificação	Y-Y		z-z		
								Nb,rd/Ned	Verificação	Nb,rd/Ned	Verificação	
B	61/68/22 (C)	373,93	2,01	Comb3	Compressão	-	-	0,811	OK	0,811	OK	SHS120x4
	61/70/20 (C)	-311,73	2,01	Comb1	Tração	0,626	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	62/70/22 (C)	163,32	2,01	Comb3	Compressão	-	-	0,354	OK	0,354	OK	SHS120x4
	62/72/25 (C)	-164,42	2,01	Comb6	Tração	0,330	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	63/72/20 (C)	241,82	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,436	OK	0,436	OK	SHS140x4
	63/74/24 (C)	-249,04	2,01	Comb5	Tração	0,425	OK	-	-	-	-	SHS140x4
	64/74/20 (C)	420,78	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,758	OK	0,758	OK	SHS140x4
	64/76/24 (C)	-308,67	2,01	Comb5	Tração	0,527	OK	-	-	-	-	SHS140x4
	65/76/20 (C)	551,22	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,686	OK	0,686	OK	SHS160x5
	65/78/24 (C)	-347,78	2,01	Comb5	Tração	0,416	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	66/78/20 (C)	641,66	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,799	OK	0,799	OK	SHS160x5
	66/80/26 (C)	-407,33	2,01	Comb7	Tração	0,487	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	67/80/20 (C)	700,42	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,872	OK	0,872	OK	SHS160x5
	67/82/26 (C)	-436,18	2,01	Comb7	Tração	0,522	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	68/82/20 (C)	731,42	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,910	OK	0,910	OK	SHS160x5
	68/84/26 (C)	-450,77	2,01	Comb7	Tração	0,539	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	69/84/20 (C)	738,82	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,777	OK	0,777	OK	SHS160x6
	69/86/26 (C)	-452,66	2,01	Comb7	Tração	0,457	OK	-	-	-	-	SHS160x6
	70/86/20 (C)	726,78	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,764	OK	0,764	OK	SHS160x6
	70/89/26 (C)	-443,96	2,01	Comb7	Tração	0,448	OK	-	-	-	-	SHS160x6
	71/56/20 (C)	727,53	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,765	OK	0,765	OK	SHS160x6
	71/69/26 (C)	-444,88	2,01	Comb7	Tração	0,449	OK	-	-	-	-	SHS160x6
	72/54/20 (C)	739,58	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,778	OK	0,778	OK	SHS160x6
	72/56/26 (C)	-453,56	2,01	Comb7	Tração	0,458	OK	-	-	-	-	SHS160x6
	73/53/20 (C)	732,16	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,911	OK	0,911	OK	SHS160x5
	73/54/26 (C)	-451,64	2,01	Comb7	Tração	0,540	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	74/100/20 (C)	701,17	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,873	OK	0,873	OK	SHS160x5
	74/53/26 (C)	-437,07	2,01	Comb7	Tração	0,523	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	75/98/20 (C)	642,44	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,800	OK	0,800	OK	SHS160x5
	75/100/26 (C)	-408,26	2,01	Comb7	Tração	0,488	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	76/96/20 (C)	552,37	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,688	OK	0,688	OK	SHS160x5
	76/98/22 (C)	-348,68	2,01	Comb3	Tração	0,417	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	77/94/20 (C)	421,65	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,760	OK	0,760	OK	SHS140x4
	77/96/22 (C)	-309,49	2,01	Comb3	Tração	0,528	OK	-	-	-	-	SHS140x4
	78/92/20 (C)	242,55	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,437	OK	0,437	OK	SHS140x4
	78/94/22 (C)	-249,8	2,01	Comb3	Tração	0,426	OK	-	-	-	-	SHS140x4
	79/90/25 (C)	162,97	2,01	Comb6	Compressão	-	-	0,353	OK	0,353	OK	SHS120x4
	79/92/22 (C)	-165,05	2,01	Comb3	Tração	0,332	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	80/89/24 (C)	373,13	2,01	Comb5	Compressão	-	-	0,809	OK	0,809	OK	SHS120x4
	80/90/20 (C)	-310,81	2,01	Comb1	Tração	0,624	OK	-	-	-	-	SHS120x4
161/66/22 (C)	353,5	2,01	Comb3	Compressão	-	-	0,766	OK	0,766	OK	SHS120x4	
161/71/20 (C)	-287,61	2,01	Comb1	Tração	0,578	OK	-	-	-	-	SHS120x4	
162/71/23 (C)	166,26	2,01	Comb4	Compressão	-	-	0,360	OK	0,360	OK	SHS120x4	
162/73/24 (C)	-176,16	2,01	Comb5	Tração	0,354	OK	-	-	-	-	SHS120x4	
163/73/20 (C)	230,39	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,415	OK	0,415	OK	SHS140x4	
163/75/24 (C)	-261,6	2,01	Comb5	Tração	0,447	OK	-	-	-	-	SHS140x4	
164/75/20 (C)	399,17	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,719	OK	0,719	OK	SHS140x4	
164/77/24 (C)	-323	2,01	Comb5	Tração	0,551	OK	-	-	-	-	SHS140x4	
165/77/20 (C)	523,38	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,651	OK	0,651	OK	SHS160x5	
165/122/24 (C)	-364,96	2,01	Comb5	Tração	0,437	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
166/122/20 (C)	611,04	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,761	OK	0,761	OK	SHS160x5	
166/124/24 (C)	-391	2,01	Comb5	Tração	0,468	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
167/124/20 (C)	668,12	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,832	OK	0,832	OK	SHS160x5	
167/126/24 (C)	-403,98	2,01	Comb5	Tração	0,483	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
168/126/20 (C)	699,75	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,871	OK	0,871	OK	SHS160x5	
168/128/24 (C)	-405,85	2,01	Comb5	Tração	0,485	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
169/128/20 (C)	709,88	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,747	OK	0,747	OK	SHS160x6	
169/130/24 (C)	-398,27	2,01	Comb5	Tração	0,402	OK	-	-	-	-	SHS160x6	
170/130/20 (C)	701,52	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,738	OK	0,738	OK	SHS160x6	
170/67/24 (C)	-382,73	2,01	Comb5	Tração	0,387	OK	-	-	-	-	SHS160x6	
171/150/20 (C)	701,54	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,738	OK	0,738	OK	SHS160x6	
171/67/22 (C)	-382,71	2,01	Comb3	Tração	0,387	OK	-	-	-	-	SHS160x6	
172/148/20 (C)	709,89	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,747	OK	0,747	OK	SHS160x6	
172/150/22 (C)	-398,21	2,01	Comb3	Tração	0,402	OK	-	-	-	-	SHS160x6	
173/146/20 (C)	699,74	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,871	OK	0,871	OK	SHS160x5	
173/148/22 (C)	-405,73	2,01	Comb3	Tração	0,485	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
174/144/20 (C)	668,09	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,832	OK	0,832	OK	SHS160x5	
174/146/22 (C)	-403,79	2,01	Comb3	Tração	0,483	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
175/142/20 (C)	610,99	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,761	OK	0,761	OK	SHS160x5	
175/144/22 (C)	-390,74	2,01	Comb3	Tração	0,467	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
176/140/20 (C)	523,34	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,651	OK	0,651	OK	SHS160x5	
176/142/22 (C)	-364,65	2,01	Comb3	Tração	0,436	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
177/138/20 (C)	399,12	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,719	OK	0,719	OK	SHS140x4	
177/140/22 (C)	-322,61	2,01	Comb3	Tração	0,551	OK	-	-	-	-	SHS140x4	
178/136/20 (C)	230,34	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,415	OK	0,415	OK	SHS140x4	
178/138/22 (C)	-261,15	2,01	Comb3	Tração	0,446	OK	-	-	-	-	SHS140x4	
179/134/25 (C)	166,46	2,01	Comb6	Compressão	-	-	0,361	OK	0,361	OK	SHS120x4	
179/136/22 (C)	-175,64	2,01	Comb3	Tração	0,353	OK	-	-	-	-	SHS120x4	
180/133/24 (C)	354,14	2,01	Comb5	Compressão	-	-	0,768	OK	0,768	OK	SHS120x4	
180/134/20 (C)	-287,66	2,01	Comb1	Tração	0,578	OK	-	-	-	-	SHS120x4	

D	261/156/22 (C)	381,12	2,01	Comb3	Compressão	-	-	0,826	OK	0,826	OK	SHS120x4
	261/158/20 (C)	-333,25	2,01	Comb1	Tração	0,670	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	262/158/23 (C)	163,98	2,01	Comb4	Compressão	-	-	0,355	OK	0,355	OK	SHS120x4
	262/160/24 (C)	-177,29	2,01	Comb5	Tração	0,356	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	263/160/20 (C)	269,71	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,486	OK	0,486	OK	SHS140x4
	263/162/24 (C)	-284,68	2,01	Comb5	Tração	0,486	OK	-	-	-	-	SHS140x4
	264/162/20 (C)	464,52	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,837	OK	0,837	OK	SHS140x4
	264/164/24 (C)	-362,06	2,01	Comb5	Tração	0,618	OK	-	-	-	-	SHS140x4
	265/164/20 (C)	607,02	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,756	OK	0,756	OK	SHS160x5
	265/166/24 (C)	-415,42	2,01	Comb5	Tração	0,497	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	266/166/20 (C)	706,96	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,880	OK	0,880	OK	SHS160x5
	266/168/24 (C)	-449,24	2,01	Comb5	Tração	0,537	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	267/168/20 (C)	771,67	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,961	OK	0,961	OK	SHS160x5
	267/170/24 (C)	-467,27	2,01	Comb5	Tração	0,559	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	268/170/20 (C)	803,19	2,01	Comb1	Compressão	-	-	1,000	OK	1,000	OK	SHS160x5
	268/172/24 (C)	-472,01	2,01	Comb5	Tração	0,565	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	269/172/20 (C)	818,17	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,861	OK	0,861	OK	SHS160x6
	269/174/24 (C)	-465,46	2,01	Comb5	Tração	0,470	OK	-	-	-	-	SHS160x6
	270/174/20 (C)	808,1	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,850	OK	0,850	OK	SHS160x6
	270/157/24 (C)	-449,39	2,01	Comb5	Tração	0,454	OK	-	-	-	-	SHS160x6
	271/194/20 (C)	807,97	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,850	OK	0,850	OK	SHS160x6
	271/157/22 (C)	-449,32	2,01	Comb3	Tração	0,454	OK	-	-	-	-	SHS160x6
	272/192/20 (C)	818,01	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,860	OK	0,860	OK	SHS160x6
	272/194/22 (C)	-465,4	2,01	Comb3	Tração	0,470	OK	-	-	-	-	SHS160x6
	273/190/20 (C)	802,08	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,998	OK	0,998	OK	SHS160x5
	273/192/22 (C)	-472,04	2,01	Comb3	Tração	0,565	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	274/188/20 (C)	771,65	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,960	OK	0,960	OK	SHS160x5
	274/190/22 (C)	-467,44	2,01	Comb3	Tração	0,559	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	275/186/20 (C)	707,01	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,880	OK	0,880	OK	SHS160x5
	275/188/22 (C)	-449,53	2,01	Comb3	Tração	0,538	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	276/184/20 (C)	607,07	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,756	OK	0,756	OK	SHS160x5
	276/186/22 (C)	-415,76	2,01	Comb3	Tração	0,497	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	277/182/20 (C)	464,56	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,837	OK	0,837	OK	SHS140x4
	277/184/22 (C)	-362,48	2,01	Comb3	Tração	0,619	OK	-	-	-	-	SHS140x4
	278/180/20 (C)	269,78	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,486	OK	0,486	OK	SHS140x4
	278/182/22 (C)	-285,18	2,01	Comb3	Tração	0,487	OK	-	-	-	-	SHS140x4
	279/178/25 (C)	163,77	2,01	Comb6	Compressão	-	-	0,355	OK	0,355	OK	SHS120x4
	279/180/22 (C)	-177,88	2,01	Comb3	Tração	0,357	OK	-	-	-	-	SHS120x4
280/177/24 (C)	380,44	2,01	Comb5	Compressão	-	-	0,825	OK	0,825	OK	SHS120x4	
280/178/20 (C)	-333,19	2,01	Comb1	Tração	0,669	OK	-	-	-	-	SHS120x4	
361/200/22 (C)	369,08	2,01	Comb3	Compressão	-	-	0,800	OK	0,800	OK	SHS120x4	
361/81/20 (C)	-314,86	2,01	Comb1	Tração	0,633	OK	-	-	-	-	SHS120x4	
362/81/23 (C)	165,03	2,01	Comb4	Compressão	-	-	0,358	OK	0,358	OK	SHS120x4	
362/85/24 (C)	-175,07	2,01	Comb5	Tração	0,352	OK	-	-	-	-	SHS120x4	
363/85/20 (C)	251,51	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,453	OK	0,453	OK	SHS140x4	
363/88/24 (C)	-272,93	2,01	Comb5	Tração	0,466	OK	-	-	-	-	SHS140x4	
364/88/20 (C)	436,14	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,786	OK	0,786	OK	SHS140x4	
364/93/24 (C)	-343,7	2,01	Comb5	Tração	0,587	OK	-	-	-	-	SHS140x4	
365/93/20 (C)	572,19	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,712	OK	0,712	OK	SHS160x5	
365/97/24 (C)	-392,71	2,01	Comb5	Tração	0,470	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
366/97/20 (C)	668,4	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,832	OK	0,832	OK	SHS160x5	
366/123/24 (C)	-423,95	2,01	Comb5	Tração	0,507	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
367/123/20 (C)	731,06	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,910	OK	0,910	OK	SHS160x5	
367/127/24 (C)	-440,29	2,01	Comb5	Tração	0,527	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
368/127/20 (C)	765,74	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,953	OK	0,953	OK	SHS160x5	
368/131/24 (C)	-444,08	2,01	Comb5	Tração	0,531	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
369/131/20 (C)	776,88	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,817	OK	0,817	OK	SHS160x6	
369/135/24 (C)	-437,31	2,01	Comb5	Tração	0,442	OK	-	-	-	-	SHS160x6	
370/135/20 (C)	767,89	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,808	OK	0,808	OK	SHS160x6	
370/79/24 (C)	-421,72	2,01	Comb5	Tração	0,426	OK	-	-	-	-	SHS160x6	
371/238/20 (C)	768,53	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,808	OK	0,808	OK	SHS160x6	
371/79/22 (C)	-422,31	2,01	Comb3	Tração	0,427	OK	-	-	-	-	SHS160x6	
372/236/20 (C)	777,74	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,818	OK	0,818	OK	SHS160x6	
372/238/22 (C)	-438,16	2,01	Comb3	Tração	0,443	OK	-	-	-	-	SHS160x6	
373/234/20 (C)	766,45	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,954	OK	0,954	OK	SHS160x5	
373/236/22 (C)	-444,85	2,01	Comb3	Tração	0,532	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
374/232/20 (C)	731,45	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,910	OK	0,910	OK	SHS160x5	
374/234/22 (C)	-440,83	2,01	Comb3	Tração	0,527	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
375/230/20 (C)	668,6	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,832	OK	0,832	OK	SHS160x5	
375/232/22 (C)	-424,38	2,01	Comb3	Tração	0,508	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
376/228/20 (C)	572,45	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,713	OK	0,713	OK	SHS160x5	
376/230/22 (C)	-393,3	2,01	Comb3	Tração	0,470	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
377/226/20 (C)	436,41	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,786	OK	0,786	OK	SHS140x4	
377/228/22 (C)	-344,39	2,01	Comb3	Tração	0,588	OK	-	-	-	-	SHS140x4	
378/224/20 (C)	251,71	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,453	OK	0,453	OK	SHS140x4	
378/226/22 (C)	-273,66	2,01	Comb3	Tração	0,467	OK	-	-	-	-	SHS140x4	
379/222/25 (C)	164,63	2,01	Comb6	Compressão	-	-	0,357	OK	0,357	OK	SHS120x4	
379/224/22 (C)	-175,92	2,01	Comb3	Tração	0,353	OK	-	-	-	-	SHS120x4	
380/141/24 (C)	367,9	2,01	Comb5	Compressão	-	-	0,797	OK	0,797	OK	SHS120x4	
380/222/20 (C)	-314,43	2,01	Comb1	Tração	0,632	OK	-	-	-	-	SHS120x4	

F	461/244/22 (C)	381,94	2,01	Comb3	Compressão	-	-	0,828	OK	0,828	OK	SHS120x4
	461/246/20 (C)	-330,98	2,01	Comb1	Tração	0,665	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	462/246/23 (C)	168,59	2,01	Comb4	Compressão	-	-	0,365	OK	0,365	OK	SHS120x4
	462/248/24 (C)	-178,15	2,01	Comb5	Tração	0,358	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	463/248/20 (C)	262,88	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,474	OK	0,474	OK	SHS140x4
	463/250/24 (C)	-283,91	2,01	Comb5	Tração	0,485	OK	-	-	-	-	SHS140x4
	464/250/20 (C)	458,82	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,827	OK	0,827	OK	SHS140x4
	464/252/24 (C)	-361,68	2,01	Comb5	Tração	0,617	OK	-	-	-	-	SHS140x4
	465/252/20 (C)	603,54	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,751	OK	0,751	OK	SHS160x5
	465/254/24 (C)	-415,97	2,01	Comb5	Tração	0,498	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	466/254/20 (C)	705,86	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,879	OK	0,879	OK	SHS160x5
	466/256/24 (C)	-450,52	2,01	Comb5	Tração	0,539	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	467/256/20 (C)	773,37	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,963	OK	0,963	OK	SHS160x5
	467/258/24 (C)	-469,96	2,01	Comb5	Tração	0,562	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	468/258/20 (C)	801,68	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,998	OK	0,998	OK	SHS160x5
	468/260/24 (C)	-475,99	2,01	Comb5	Tração	0,569	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	469/260/20 (C)	824,69	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,867	OK	0,867	OK	SHS160x6
	469/262/24 (C)	-470	2,01	Comb5	Tração	0,475	OK	-	-	-	-	SHS160x6
	470/262/20 (C)	815,26	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,857	OK	0,857	OK	SHS160x6
	470/245/24 (C)	-453,33	2,01	Comb5	Tração	0,458	OK	-	-	-	-	SHS160x6
	471/282/20 (C)	813,45	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,856	OK	0,856	OK	SHS160x6
	471/245/22 (C)	-451,64	2,01	Comb3	Tração	0,456	OK	-	-	-	-	SHS160x6
	472/280/20 (C)	822,73	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,865	OK	0,865	OK	SHS160x6
	472/282/22 (C)	-468,05	2,01	Comb3	Tração	0,473	OK	-	-	-	-	SHS160x6
	473/278/20 (C)	801,06	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,997	OK	0,997	OK	SHS160x5
	473/280/22 (C)	-475,14	2,01	Comb3	Tração	0,568	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	474/276/20 (C)	774,69	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,964	OK	0,964	OK	SHS160x5
	474/278/22 (C)	-470,72	2,01	Comb3	Tração	0,563	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	475/274/20 (C)	708,32	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,882	OK	0,882	OK	SHS160x5
	475/276/22 (C)	-452,21	2,01	Comb3	Tração	0,541	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	476/272/20 (C)	605,87	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,754	OK	0,754	OK	SHS160x5
	476/274/22 (C)	-417,3	2,01	Comb3	Tração	0,499	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	477/270/20 (C)	460,75	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,830	OK	0,830	OK	SHS140x4
	477/272/22 (C)	-362,56	2,01	Comb3	Tração	0,619	OK	-	-	-	-	SHS140x4
	478/268/20 (C)	264,31	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,476	OK	0,476	OK	SHS140x4
	478/270/22 (C)	-284,23	2,01	Comb3	Tração	0,485	OK	-	-	-	-	SHS140x4
	479/266/25 (C)	168,89	2,01	Comb6	Compressão	-	-	0,366	OK	0,366	OK	SHS120x4
	479/268/22 (C)	-177,24	2,01	Comb3	Tração	0,356	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	480/265/24 (C)	385,1	2,01	Comb5	Compressão	-	-	0,835	OK	0,835	OK	SHS120x4
	480/266/20 (C)	-333,33	2,01	Comb1	Tração	0,670	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	561/288/22 (C)	407,57	2,01	Comb3	Compressão	-	-	0,883	OK	0,883	OK	SHS120x4
	561/290/20 (C)	-348,02	2,01	Comb1	Tração	0,699	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	562/290/23 (C)	156,5	2,01	Comb4	Compressão	-	-	0,339	OK	0,339	OK	SHS120x4
	562/292/24 (C)	-175,39	2,01	Comb5	Tração	0,352	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	563/292/20 (C)	287,43	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,518	OK	0,518	OK	SHS140x4
	563/294/24 (C)	-292,3	2,01	Comb5	Tração	0,499	OK	-	-	-	-	SHS140x4
	564/294/20 (C)	487,35	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,878	OK	0,878	OK	SHS140x4
	564/296/24 (C)	-373,82	2,01	Comb5	Tração	0,638	OK	-	-	-	-	SHS140x4
	565/296/20 (C)	634,08	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,789	OK	0,789	OK	SHS160x5
	565/298/24 (C)	-430,89	2,01	Comb5	Tração	0,515	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	566/298/20 (C)	733,18	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,913	OK	0,913	OK	SHS160x5
	566/300/28 (C)	-493,54	2,01	Comb9	Tração	0,590	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	567/300/20 (C)	793,55	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,988	OK	0,988	OK	SHS160x5
	567/145/28 (C)	-525,33	2,01	Comb9	Tração	0,628	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	568/145/20 (C)	800,87	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,997	OK	0,997	OK	SHS160x5
	568/149/28 (C)	-535,13	2,01	Comb9	Tração	0,640	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	569/149/20 (C)	818,85	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,861	OK	0,861	OK	SHS160x6
	569/154/28 (C)	-529,59	2,01	Comb9	Tração	0,535	OK	-	-	-	-	SHS160x6
570/154/20 (C)	802,25	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,844	OK	0,844	OK	SHS160x6	
570/289/28 (C)	-515,46	2,01	Comb9	Tração	0,521	OK	-	-	-	-	SHS160x6	
571/326/20 (C)	808,94	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,851	OK	0,851	OK	SHS160x6	
571/289/28 (C)	-517,84	2,01	Comb9	Tração	0,523	OK	-	-	-	-	SHS160x6	
572/324/20 (C)	818,53	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,861	OK	0,861	OK	SHS160x6	
572/326/28 (C)	-524,89	2,01	Comb9	Tração	0,530	OK	-	-	-	-	SHS160x6	
573/322/20 (C)	802,07	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,998	OK	0,998	OK	SHS160x5	
573/324/28 (C)	-515,03	2,01	Comb9	Tração	0,616	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
574/183/20 (C)	757,78	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,943	OK	0,943	OK	SHS160x5	
574/322/28 (C)	-487,99	2,01	Comb9	Tração	0,584	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
575/179/20 (C)	685,29	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,853	OK	0,853	OK	SHS160x5	
575/183/28 (C)	-444,88	2,01	Comb9	Tração	0,532	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
576/175/20 (C)	588,69	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,733	OK	0,733	OK	SHS160x5	
576/179/22 (C)	-388,27	2,01	Comb3	Tração	0,464	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
577/171/20 (C)	445,61	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,803	OK	0,803	OK	SHS140x4	
577/175/22 (C)	-333,32	2,01	Comb3	Tração	0,569	OK	-	-	-	-	SHS140x4	
578/167/20 (C)	251,88	2,01	Comb1	Compressão	-	-	0,454	OK	0,454	OK	SHS140x4	
578/171/22 (C)	-256,04	2,01	Comb3	Tração	0,437	OK	-	-	-	-	SHS140x4	
579/163/24 (C)	172,93	2,01	Comb5	Compressão	-	-	0,375	OK	0,375	OK	SHS120x4	
579/167/23 (C)	-158,64	2,01	Comb4	Tração	0,319	OK	-	-	-	-	SHS120x4	
580/161/24 (C)	414,18	2,01	Comb5	Compressão	-	-	0,898	OK	0,898	OK	SHS120x4	
580/163/20 (C)	-346,57	2,01	Comb1	Tração	0,696	OK	-	-	-	-	SHS120x4	

Cordas inferiores

Treliça	Barra/Nó/Caso	Cordas inferiores					Tração		Compressão		Perfil	
		Ned (kN)	Comprimento (m)	Combinação	Solicitação	Npl,rd/Ned	Verificação	y-y		z-z		
								Nb,rd/Ned	Verificação	Nb,rd/Ned		Verificação
B	1/2/25 (C)	248,31	2,00	Comb6	Compressão	-	-	0,408	OK	0,465	OK	SHS150x4
	1/2/22 (C)	-223,96	2,00	Comb3	Tração	0,356	OK	-	-	-	-	SHS150x4
	2/3/24 (C)	252,45	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,415	OK	0,473	OK	SHS150x4
	2/3/20 (C)	-173,96	2,00	Comb1	Tração	0,276	OK	-	-	-	-	SHS150x4
	3/4/24 (C)	310,34	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,510	OK	0,581	OK	SHS150x4
	3/4/20 (C)	-352,57	2,00	Comb1	Tração	0,560	OK	-	-	-	-	SHS150x4
	4/5/24 (C)	348,11	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,572	OK	0,652	OK	SHS150x4
	4/5/20 (C)	-483,04	2,00	Comb1	Tração	0,767	OK	-	-	-	-	SHS150x4
	5/6/24 (C)	369,32	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,455	OK	0,510	OK	SHS160x5
	5/6/20 (C)	-573,74	2,00	Comb1	Tração	0,686	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	6/7/24 (C)	376,84	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,464	OK	0,521	OK	SHS160x5
	6/7/20 (C)	-631,27	2,00	Comb1	Tração	0,755	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	7/8/24 (C)	373,32	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,460	OK	0,516	OK	SHS160x5
	7/8/20 (C)	-661,62	2,00	Comb1	Tração	0,791	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	8/9/24 (C)	360,11	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,444	OK	0,497	OK	SHS160x5
	8/9/20 (C)	-669	2,00	Comb1	Tração	0,800	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	9/10/24 (C)	338,73	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,418	OK	0,468	OK	SHS160x5
	9/10/20 (C)	-656,62	2,00	Comb1	Tração	0,785	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	10/11/22 (C)	310,67	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,383	OK	0,429	OK	SHS160x5
	10/11/20 (C)	-627,21	2,00	Comb1	Tração	0,750	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	11/11/22 (C)	310,67	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,383	OK	0,429	OK	SHS160x5
	11/11/20 (C)	-627,21	2,00	Comb1	Tração	0,750	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	12/12/22 (C)	338,78	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,418	OK	0,468	OK	SHS160x5
	12/12/20 (C)	-656,64	2,00	Comb1	Tração	0,785	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	13/13/22 (C)	360,15	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,444	OK	0,497	OK	SHS160x5
	13/13/20 (C)	-669,01	2,00	Comb1	Tração	0,800	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	14/14/22 (C)	373,35	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,460	OK	0,516	OK	SHS160x5
	14/14/20 (C)	-661,62	2,00	Comb1	Tração	0,791	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	15/15/22 (C)	376,84	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,464	OK	0,521	OK	SHS160x5
	15/15/20 (C)	-631,25	2,00	Comb1	Tração	0,755	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	16/16/22 (C)	369,33	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,455	OK	0,510	OK	SHS160x5
	16/16/20 (C)	-573,74	2,00	Comb1	Tração	0,686	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	17/17/22 (C)	348,12	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,572	OK	0,652	OK	SHS150x4
	17/17/20 (C)	-483,03	2,00	Comb1	Tração	0,767	OK	-	-	-	-	SHS150x4
	18/18/22 (C)	310,33	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,510	OK	0,581	OK	SHS150x4
	18/18/20 (C)	-352,53	2,00	Comb1	Tração	0,560	OK	-	-	-	-	SHS150x4
	19/19/22 (C)	252,42	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,415	OK	0,473	OK	SHS150x4
	19/19/20 (C)	-173,91	2,00	Comb1	Tração	0,276	OK	-	-	-	-	SHS150x4
	20/20/23 (C)	248,31	2,00	Comb4	Compressão	-	-	0,408	OK	0,465	OK	SHS150x4
	20/20/24 (C)	-223,98	2,00	Comb5	Tração	0,356	OK	-	-	-	-	SHS150x4
101/102/25 (C)	215,95	2,00	Comb6	Compressão	-	-	0,355	OK	0,404	OK	SHS150x4	
101/102/22 (C)	-198,55	2,00	Comb3	Tração	0,315	OK	-	-	-	-	SHS150x4	
102/103/24 (C)	217,41	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,358	OK	0,407	OK	SHS150x4	
102/103/20 (C)	-157,95	2,00	Comb1	Tração	0,251	OK	-	-	-	-	SHS150x4	
103/104/24 (C)	276,37	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,454	OK	0,518	OK	SHS150x4	
103/104/20 (C)	-326,11	2,00	Comb1	Tração	0,518	OK	-	-	-	-	SHS150x4	
104/105/24 (C)	315,99	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,520	OK	0,592	OK	SHS150x4	
104/105/20 (C)	-449,85	2,00	Comb1	Tração	0,714	OK	-	-	-	-	SHS150x4	
105/106/24 (C)	339,77	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,419	OK	0,469	OK	SHS160x5	
105/106/20 (C)	-537,18	2,00	Comb1	Tração	0,643	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
106/107/24 (C)	350,54	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,432	OK	0,484	OK	SHS160x5	
106/107/20 (C)	-594,05	2,00	Comb1	Tração	0,711	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
107/108/24 (C)	350,28	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,432	OK	0,484	OK	SHS160x5	
107/108/20 (C)	-625,56	2,00	Comb1	Tração	0,748	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
108/109/24 (C)	340,62	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,420	OK	0,470	OK	SHS160x5	
108/109/20 (C)	-635,65	2,00	Comb1	Tração	0,760	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
109/110/24 (C)	323,01	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,398	OK	0,446	OK	SHS160x5	
109/110/20 (C)	-627,32	2,00	Comb1	Tração	0,750	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
110/111/24 (C)	298,63	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,368	OK	0,412	OK	SHS160x5	
110/111/20 (C)	-603,07	2,00	Comb1	Tração	0,721	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
111/111/24 (C)	298,63	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,368	OK	0,412	OK	SHS160x5	
111/111/20 (C)	-603,07	2,00	Comb1	Tração	0,721	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
112/112/22 (C)	322,98	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,398	OK	0,446	OK	SHS160x5	
112/112/20 (C)	-627,34	2,00	Comb1	Tração	0,750	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
113/113/22 (C)	340,54	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,420	OK	0,470	OK	SHS160x5	
113/113/20 (C)	-635,67	2,00	Comb1	Tração	0,760	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
114/114/22 (C)	350,15	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,432	OK	0,484	OK	SHS160x5	
114/114/20 (C)	-625,56	2,00	Comb1	Tração	0,748	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
115/115/22 (C)	350,33	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,432	OK	0,484	OK	SHS160x5	
115/115/20 (C)	-594,04	2,00	Comb1	Tração	0,711	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
116/116/22 (C)	339,48	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,418	OK	0,469	OK	SHS160x5	
116/116/20 (C)	-537,15	2,00	Comb1	Tração	0,643	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
117/117/22 (C)	315,61	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,519	OK	0,591	OK	SHS150x4	
117/117/20 (C)	-449,82	2,00	Comb1	Tração	0,714	OK	-	-	-	-	SHS150x4	
118/118/22 (C)	275,91	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,454	OK	0,517	OK	SHS150x4	
118/118/20 (C)	-326,07	2,00	Comb1	Tração	0,518	OK	-	-	-	-	SHS150x4	
119/119/22 (C)	216,84	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,357	OK	0,406	OK	SHS150x4	
119/119/20 (C)	-157,91	2,00	Comb1	Tração	0,251	OK	-	-	-	-	SHS150x4	
120/120/23 (C)	215,7	2,00	Comb4	Compressão	-	-	0,355	OK	0,404	OK	SHS150x4	
120/120/24 (C)	-199,24	2,00	Comb5	Tração	0,316	OK	-	-	-	-	SHS150x4	

D	201/202/25 (C)	214,36	2,00	Comb6	Compressão	-	-	0,353	OK	0,401	OK	SHS150x4
	201/202/22 (C)	-202,5	2,00	Comb3	Tração	0,322	OK	-	-	-	-	SHS150x4
	202/203/24 (C)	232,41	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,382	OK	0,435	OK	SHS150x4
	202/203/20 (C)	-185,57	2,00	Comb1	Tração	0,295	OK	-	-	-	-	SHS150x4
	203/204/24 (C)	306,97	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,505	OK	0,575	OK	SHS150x4
	203/204/20 (C)	-379,61	2,00	Comb1	Tração	0,603	OK	-	-	-	-	SHS150x4
	204/205/24 (C)	357,55	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,588	OK	0,670	OK	SHS150x4
	204/205/20 (C)	-521,55	2,00	Comb1	Tração	0,828	OK	-	-	-	-	SHS150x4
	205/206/24 (C)	388,67	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,479	OK	0,537	OK	SHS160x5
	205/206/20 (C)	-621,11	2,00	Comb1	Tração	0,743	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	206/207/24 (C)	404,03	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,498	OK	0,558	OK	SHS160x5
	206/207/20 (C)	-685,57	2,00	Comb1	Tração	0,820	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	207/208/24 (C)	406,1	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,501	OK	0,561	OK	SHS160x5
	207/208/20 (C)	-720,96	2,00	Comb1	Tração	0,862	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	208/209/24 (C)	396,93	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,489	OK	0,548	OK	SHS160x5
	208/209/20 (C)	-731,9	2,00	Comb1	Tração	0,875	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	209/210/24 (C)	378,29	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,466	OK	0,523	OK	SHS160x5
	209/210/20 (C)	-721,87	2,00	Comb1	Tração	0,863	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	210/211/24 (C)	351,55	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,433	OK	0,486	OK	SHS160x5
	210/211/20 (C)	-693,74	2,00	Comb1	Tração	0,830	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	211/211/24 (C)	351,55	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,433	OK	0,486	OK	SHS160x5
	211/211/20 (C)	-693,74	2,00	Comb1	Tração	0,830	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	212/212/22 (C)	378,21	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,466	OK	0,522	OK	SHS160x5
	212/212/20 (C)	-721,73	2,00	Comb1	Tração	0,863	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	213/213/22 (C)	396,87	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,489	OK	0,548	OK	SHS160x5
	213/213/20 (C)	-731,72	2,00	Comb1	Tração	0,875	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	214/214/22 (C)	406,14	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,501	OK	0,561	OK	SHS160x5
	214/214/20 (C)	-720,83	2,00	Comb1	Tração	0,862	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	215/215/22 (C)	404,22	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,498	OK	0,558	OK	SHS160x5
	215/215/20 (C)	-685,53	2,00	Comb1	Tração	0,820	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	216/216/22 (C)	388,98	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,479	OK	0,537	OK	SHS160x5
	216/216/20 (C)	-621,12	2,00	Comb1	Tração	0,743	OK	-	-	-	-	SHS160x5
217/217/22 (C)	357,95	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,589	OK	0,670	OK	SHS150x4	
217/217/20 (C)	-521,57	2,00	Comb1	Tração	0,828	OK	-	-	-	-	SHS150x4	
218/218/22 (C)	307,49	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,506	OK	0,576	OK	SHS150x4	
218/218/20 (C)	-379,64	2,00	Comb1	Tração	0,603	OK	-	-	-	-	SHS150x4	
219/219/22 (C)	233,05	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,383	OK	0,436	OK	SHS150x4	
219/219/20 (C)	-185,63	2,00	Comb1	Tração	0,295	OK	-	-	-	-	SHS150x4	
220/220/23 (C)	214,65	2,00	Comb4	Compressão	-	-	0,353	OK	0,402	OK	SHS150x4	
220/220/24 (C)	-201,71	2,00	Comb5	Tração	0,320	OK	-	-	-	-	SHS150x4	
301/302/25 (C)	214,24	2,00	Comb6	Compressão	-	-	0,352	OK	0,401	OK	SHS150x4	
301/302/22 (C)	-201,68	2,00	Comb3	Tração	0,320	OK	-	-	-	-	SHS150x4	
302/303/24 (C)	224,1	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,369	OK	0,420	OK	SHS150x4	
302/303/20 (C)	-172,18	2,00	Comb1	Tração	0,273	OK	-	-	-	-	SHS150x4	
303/304/24 (C)	292,3	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,481	OK	0,547	OK	SHS150x4	
303/304/20 (C)	-356,13	2,00	Comb1	Tração	0,566	OK	-	-	-	-	SHS150x4	
304/305/24 (C)	338,85	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,557	OK	0,634	OK	SHS150x4	
304/305/20 (C)	-491,68	2,00	Comb1	Tração	0,781	OK	-	-	-	-	SHS150x4	
305/306/24 (C)	367,67	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,453	OK	0,508	OK	SHS160x5	
305/306/20 (C)	-587,52	2,00	Comb1	Tração	0,703	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
306/307/24 (C)	381,69	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,470	OK	0,527	OK	SHS160x5	
306/307/20 (C)	-649,94	2,00	Comb1	Tração	0,777	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
307/308/24 (C)	383,23	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,472	OK	0,529	OK	SHS160x5	
307/308/20 (C)	-684,47	2,00	Comb1	Tração	0,819	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
308/309/24 (C)	374,25	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,461	OK	0,517	OK	SHS160x5	
308/309/20 (C)	-695,57	2,00	Comb1	Tração	0,832	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
309/310/24 (C)	356,47	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,439	OK	0,492	OK	SHS160x5	
309/310/20 (C)	-686,61	2,00	Comb1	Tração	0,821	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
310/311/22 (C)	331,23	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,408	OK	0,458	OK	SHS160x5	
310/311/20 (C)	-660,37	2,00	Comb1	Tração	0,790	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
311/311/22 (C)	331,23	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,408	OK	0,458	OK	SHS160x5	
311/311/20 (C)	-660,37	2,00	Comb1	Tração	0,790	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
312/312/22 (C)	357,11	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,440	OK	0,493	OK	SHS160x5	
312/312/20 (C)	-687,25	2,00	Comb1	Tração	0,822	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
313/313/22 (C)	375,17	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,462	OK	0,518	OK	SHS160x5	
313/313/20 (C)	-696,45	2,00	Comb1	Tração	0,833	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
314/314/22 (C)	384,1	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,473	OK	0,531	OK	SHS160x5	
314/314/20 (C)	-685,23	2,00	Comb1	Tração	0,820	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
315/315/22 (C)	382,35	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,471	OK	0,528	OK	SHS160x5	
315/315/20 (C)	-650,4	2,00	Comb1	Tração	0,778	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
316/316/22 (C)	368,25	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,454	OK	0,509	OK	SHS160x5	
316/316/20 (C)	-587,81	2,00	Comb1	Tração	0,703	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
317/317/22 (C)	339,56	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,558	OK	0,636	OK	SHS150x4	
317/317/20 (C)	-492,04	2,00	Comb1	Tração	0,781	OK	-	-	-	-	SHS150x4	
318/318/22 (C)	293,11	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,482	OK	0,549	OK	SHS150x4	
318/318/20 (C)	-356,52	2,00	Comb1	Tração	0,566	OK	-	-	-	-	SHS150x4	
319/319/22 (C)	224,93	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,370	OK	0,421	OK	SHS150x4	
319/319/20 (C)	-172,51	2,00	Comb1	Tração	0,274	OK	-	-	-	-	SHS150x4	
320/320/23 (C)	214,64	2,00	Comb4	Compressão	-	-	0,353	OK	0,402	OK	SHS150x4	
320/320/24 (C)	-200,74	2,00	Comb5	Tração	0,319	OK	-	-	-	-	SHS150x4	

F	401/402/25 (C)	218,13	2,00	Comb6	Compressão	-	-	0,359	OK	0,408	OK	SHS150x4
	401/402/22 (C)	-208,86	2,00	Comb3	Tração	0,332	OK	-	-	-	-	SHS150x4
	402/403/24 (C)	233,09	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,383	OK	0,436	OK	SHS150x4
	402/403/20 (C)	-179,25	2,00	Comb1	Tração	0,285	OK	-	-	-	-	SHS150x4
	403/404/24 (C)	307,99	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,506	OK	0,577	OK	SHS150x4
	403/404/20 (C)	-374,33	2,00	Comb1	Tração	0,594	OK	-	-	-	-	SHS150x4
	404/405/24 (C)	359,5	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,591	OK	0,673	OK	SHS150x4
	404/405/20 (C)	-518,37	2,00	Comb1	Tração	0,823	OK	-	-	-	-	SHS150x4
	405/406/24 (C)	391,59	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,483	OK	0,541	OK	SHS160x5
	405/406/20 (C)	-620,27	2,00	Comb1	Tração	0,742	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	406/407/24 (C)	408,43	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,503	OK	0,564	OK	SHS160x5
	406/407/20 (C)	-687,57	2,00	Comb1	Tração	0,822	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	407/408/24 (C)	411,92	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,508	OK	0,569	OK	SHS160x5
	407/408/20 (C)	-725,79	2,00	Comb1	Tração	0,868	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	408/409/24 (C)	403,44	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,497	OK	0,557	OK	SHS160x5
	408/409/20 (C)	-738,73	2,00	Comb1	Tração	0,884	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	409/410/24 (C)	384,37	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,474	OK	0,531	OK	SHS160x5
	409/410/20 (C)	-729,36	2,00	Comb1	Tração	0,872	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	410/411/22 (C)	356,15	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,439	OK	0,492	OK	SHS160x5
	410/411/20 (C)	-700,43	2,00	Comb1	Tração	0,838	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	411/411/22 (C)	356,15	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,439	OK	0,492	OK	SHS160x5
	411/411/20 (C)	-700,43	2,00	Comb1	Tração	0,838	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	412/412/22 (C)	382,69	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,472	OK	0,529	OK	SHS160x5
	412/412/20 (C)	-727,55	2,00	Comb1	Tração	0,870	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	413/413/22 (C)	401,41	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,495	OK	0,554	OK	SHS160x5
	413/413/20 (C)	-736,68	2,00	Comb1	Tração	0,881	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	414/414/22 (C)	410,9	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,506	OK	0,568	OK	SHS160x5
	414/414/20 (C)	-725,01	2,00	Comb1	Tração	0,867	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	415/415/22 (C)	408,95	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,504	OK	0,565	OK	SHS160x5
	415/415/20 (C)	-688,67	2,00	Comb1	Tração	0,824	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	416/416/22 (C)	392,96	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,484	OK	0,543	OK	SHS160x5
	416/416/20 (C)	-622,46	2,00	Comb1	Tração	0,745	OK	-	-	-	-	SHS160x5
	417/417/22 (C)	360,58	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,593	OK	0,675	OK	SHS150x4
	417/417/20 (C)	-520,39	2,00	Comb1	Tração	0,826	OK	-	-	-	-	SHS150x4
	418/418/22 (C)	308,54	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,507	OK	0,578	OK	SHS150x4
	418/418/20 (C)	-375,88	2,00	Comb1	Tração	0,597	OK	-	-	-	-	SHS150x4
	419/419/22 (C)	233,01	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,383	OK	0,436	OK	SHS150x4
	419/419/20 (C)	-180,24	2,00	Comb1	Tração	0,286	OK	-	-	-	-	SHS150x4
	420/420/23 (C)	217,63	2,00	Comb4	Compressão	-	-	0,358	OK	0,408	OK	SHS150x4
	420/420/24 (C)	-210,27	2,00	Comb5	Tração	0,334	OK	-	-	-	-	SHS150x4
	501/502/25 (C)	247,92	2,00	Comb6	Compressão	-	-	0,408	OK	0,464	OK	SHS150x4
	501/502/22 (C)	-212	2,00	Comb3	Tração	0,337	OK	-	-	-	-	SHS150x4
	502/503/24 (C)	289,99	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,477	OK	0,543	OK	SHS150x4
	502/503/20 (C)	-214,8	2,00	Comb1	Tração	0,341	OK	-	-	-	-	SHS150x4
	503/504/24 (C)	369,79	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,608	OK	0,692	OK	SHS150x4
	503/504/20 (C)	-414,63	2,00	Comb1	Tração	0,658	OK	-	-	-	-	SHS150x4
	504/505/24 (C)	425,33	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,699	OK	0,796	OK	SHS150x4
	504/505/20 (C)	-562,02	2,00	Comb1	Tração	0,892	OK	-	-	-	-	SHS150x4
505/506/24 (C)	459,5	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,566	OK	0,635	OK	SHS160x5	
505/506/20 (C)	-664,7	2,00	Comb1	Tração	0,795	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
506/507/24 (C)	469,83	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,579	OK	0,649	OK	SHS160x5	
506/507/20 (C)	-723,49	2,00	Comb1	Tração	0,865	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
507/508/24 (C)	462,5	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,570	OK	0,639	OK	SHS160x5	
507/508/20 (C)	-747,98	2,00	Comb1	Tração	0,895	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
508/509/24 (C)	443,8	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,547	OK	0,613	OK	SHS160x5	
508/509/20 (C)	-747,99	2,00	Comb1	Tração	0,895	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
509/510/24 (C)	418,83	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,516	OK	0,579	OK	SHS160x5	
509/510/20 (C)	-730,82	2,00	Comb1	Tração	0,874	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
510/511/24 (C)	389,64	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,480	OK	0,538	OK	SHS160x5	
510/511/20 (C)	-700,13	2,00	Comb1	Tração	0,837	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
511/511/24 (C)	389,64	2,00	Comb5	Compressão	-	-	0,480	OK	0,538	OK	SHS160x5	
511/511/20 (C)	-700,13	2,00	Comb1	Tração	0,837	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
512/512/22 (C)	421,33	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,519	OK	0,582	OK	SHS160x5	
512/512/20 (C)	-734,25	2,00	Comb1	Tração	0,878	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
513/513/22 (C)	439,84	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,542	OK	0,608	OK	SHS160x5	
513/513/20 (C)	-744,73	2,00	Comb1	Tração	0,891	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
514/514/22 (C)	443,48	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,547	OK	0,613	OK	SHS160x5	
514/514/20 (C)	-728,44	2,00	Comb1	Tração	0,871	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
515/515/22 (C)	433,36	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,534	OK	0,599	OK	SHS160x5	
515/515/20 (C)	-685,11	2,00	Comb1	Tração	0,820	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
516/516/22 (C)	411,5	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,507	OK	0,568	OK	SHS160x5	
516/516/20 (C)	-614,25	2,00	Comb1	Tração	0,735	OK	-	-	-	-	SHS160x5	
517/517/22 (C)	375,84	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,618	OK	0,704	OK	SHS150x4	
517/517/20 (C)	-510,91	2,00	Comb1	Tração	0,811	OK	-	-	-	-	SHS150x4	
518/518/22 (C)	322,82	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,531	OK	0,604	OK	SHS150x4	
518/518/20 (C)	-367,51	2,00	Comb1	Tração	0,584	OK	-	-	-	-	SHS150x4	
519/519/22 (C)	247,49	2,00	Comb3	Compressão	-	-	0,407	OK	0,463	OK	SHS150x4	
519/519/20 (C)	-174,02	2,00	Comb1	Tração	0,276	OK	-	-	-	-	SHS150x4	
520/520/23 (C)	238,62	2,00	Comb4	Compressão	-	-	0,392	OK	0,447	OK	SHS150x4	
520/520/24 (C)	-243,8	2,00	Comb5	Tração	0,387	OK	-	-	-	-	SHS150x4	

Montantes

Treliça	Barra/Nó/Caso	Montantes				Tração		Compressão				Perfil
		Ned (kN)	Comprimento (m)	Combinação	Solicitação	Npl,rd/Ned	Verificação	Y-Y		z-z		
								Nb,rd/Ned	Verificação	Nb,rd/Ned	Verificação	
B	42/2/22 (C)	179,77	2,18	Comb3	Compressão	-	-	0,272	OK	0,272	OK	SHS120x6
	42/70/20 (C)	-281,24	2,18	Comb1	Tração	0,387	OK	-	-	-	-	SHS120x6
	43/3/22 (C)	147,95	2,35	Comb3	Compressão	-	-	0,331	OK	0,331	OK	SHS120x4
	43/72/20 (C)	-226,72	2,35	Comb1	Tração	0,455	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	44/4/22 (C)	120,6	2,53	Comb3	Compressão	-	-	0,357	OK	0,357	OK	SHS100x4
	44/74/20 (C)	-177,28	2,53	Comb1	Tração	0,433	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	45/5/22 (C)	96,02	2,70	Comb3	Compressão	-	-	0,626	OK	0,626	OK	SHS70x4
	45/76/20 (C)	-131,51	2,70	Comb1	Tração	0,473	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	46/6/22 (C)	72,92	2,88	Comb3	Compressão	-	-	0,387	OK	0,387	OK	SHS70x6
	46/78/20 (C)	-89,09	2,88	Comb1	Tração	0,225	OK	-	-	-	-	SHS70x6
	47/7/22 (C)	52,01	3,05	Comb3	Compressão	-	-	0,632	OK	0,632	OK	SHS60x4
	47/80/20 (C)	-50	3,05	Comb1	Tração	0,213	OK	-	-	-	-	SHS60x4
	48/8/22 (C)	32,13	3,23	Comb3	Compressão	-	-	0,537	OK	0,537	OK	SHS60x3
	48/82/25 (C)	-29,31	3,23	Comb6	Tração	0,161	OK	-	-	-	-	SHS60x3
	49/9/23 (C)	24,69	3,40	Comb4	Compressão	-	-	0,230	OK	0,230	OK	SHS70x4
	49/84/24 (C)	-39,11	3,40	Comb5	Tração	0,141	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	50/10/20 (C)	54,27	3,58	Comb1	Compressão	-	-	0,378	OK	0,378	OK	SHS80x4
	50/86/24 (C)	-53,66	3,58	Comb5	Tração	0,167	OK	-	-	-	-	SHS80x4
	51/11/22 (C)	-0,48	3,75	Comb3	Tração	0,002	OK	-	-	-	-	SHS60x5
	51/69/20 (C)	-1,07	3,75	Comb1	Tração	0,004	OK	-	-	-	-	SHS60x5
	52/12/20 (C)	54,3	3,58	Comb1	Compressão	-	-	0,378	OK	0,378	OK	SHS80x4
	52/56/22 (C)	-53,67	3,58	Comb3	Tração	0,167	OK	-	-	-	-	SHS80x4
	53/13/25 (C)	24,69	3,40	Comb6	Compressão	-	-	0,230	OK	0,230	OK	SHS70x4
	53/54/22 (C)	-39,1	3,40	Comb3	Tração	0,141	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	54/14/24 (C)	32,15	3,23	Comb5	Compressão	-	-	0,537	OK	0,537	OK	SHS60x3
	54/53/23 (C)	-29,3	3,23	Comb4	Tração	0,161	OK	-	-	-	-	SHS60x3
	55/15/24 (C)	52,02	3,05	Comb5	Compressão	-	-	0,632	OK	0,632	OK	SHS60x4
	55/100/20 (C)	-50,02	3,05	Comb1	Tração	0,213	OK	-	-	-	-	SHS60x4
	56/16/24 (C)	72,91	2,88	Comb5	Compressão	-	-	0,387	OK	0,387	OK	SHS70x6
	56/98/20 (C)	-89,07	2,88	Comb1	Tração	0,225	OK	-	-	-	-	SHS70x6
	57/17/24 (C)	96,03	2,70	Comb5	Compressão	-	-	0,626	OK	0,626	OK	SHS70x4
	57/96/20 (C)	-131,52	2,70	Comb1	Tração	0,474	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	58/18/24 (C)	120,61	2,53	Comb5	Compressão	-	-	0,357	OK	0,357	OK	SHS100x4
	58/94/20 (C)	-177,31	2,53	Comb1	Tração	0,433	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	59/19/24 (C)	147,94	2,35	Comb5	Compressão	-	-	0,330	OK	0,330	OK	SHS120x4
	59/92/20 (C)	-226,72	2,35	Comb1	Tração	0,455	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	60/20/24 (C)	179,75	2,18	Comb5	Compressão	-	-	0,272	OK	0,272	OK	SHS120x6
	60/90/20 (C)	-281,2	2,18	Comb1	Tração	0,387	OK	-	-	-	-	SHS120x6
	142/102/22 (C)	166,18	2,18	Comb3	Compressão	-	-	0,252	OK	0,252	OK	SHS120x6
	142/71/20 (C)	-263,61	2,18	Comb1	Tração	0,363	OK	-	-	-	-	SHS120x6
143/103/22 (C)	138,1	2,35	Comb3	Compressão	-	-	0,309	OK	0,309	OK	SHS120x4	
143/73/20 (C)	-213,52	2,35	Comb1	Tração	0,429	OK	-	-	-	-	SHS120x4	
144/104/22 (C)	112,72	2,53	Comb3	Compressão	-	-	0,334	OK	0,334	OK	SHS100x4	
144/75/20 (C)	-168,2	2,53	Comb1	Tração	0,410	OK	-	-	-	-	SHS100x4	
145/105/22 (C)	89,47	2,70	Comb3	Compressão	-	-	0,583	OK	0,583	OK	SHS70x4	
145/77/20 (C)	-126,66	2,70	Comb1	Tração	0,456	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
146/106/22 (C)	68,25	2,88	Comb3	Compressão	-	-	0,363	OK	0,363	OK	SHS70x6	
146/122/20 (C)	-88,09	2,88	Comb1	Tração	0,222	OK	-	-	-	-	SHS70x6	
147/107/22 (C)	48,44	3,05	Comb3	Compressão	-	-	0,588	OK	0,588	OK	SHS60x4	
147/124/20 (C)	-51,86	3,05	Comb1	Tração	0,221	OK	-	-	-	-	SHS60x4	
148/108/22 (C)	29,73	3,23	Comb3	Compressão	-	-	0,497	OK	0,497	OK	SHS60x3	
148/126/25 (C)	-24,69	3,23	Comb6	Tração	0,136	OK	-	-	-	-	SHS60x3	
149/109/23 (C)	20,79	3,40	Comb4	Compressão	-	-	0,194	OK	0,194	OK	SHS70x4	
149/128/24 (C)	-32,38	3,40	Comb5	Tração	0,117	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
150/110/20 (C)	44,61	3,58	Comb1	Compressão	-	-	0,310	OK	0,310	OK	SHS80x4	
150/130/24 (C)	-46,67	3,58	Comb5	Tração	0,145	OK	-	-	-	-	SHS80x4	
151/111/22 (C)	-0,48	3,75	Comb3	Tração	0,002	OK	-	-	-	-	SHS60x5	
151/67/20 (C)	-1,07	3,75	Comb1	Tração	0,004	OK	-	-	-	-	SHS60x5	
152/112/20 (C)	44,64	3,58	Comb1	Compressão	-	-	0,311	OK	0,311	OK	SHS80x4	
152/150/22 (C)	-46,63	3,58	Comb3	Tração	0,145	OK	-	-	-	-	SHS80x4	
153/113/25 (C)	20,82	3,40	Comb6	Compressão	-	-	0,194	OK	0,194	OK	SHS70x4	
153/148/22 (C)	-32,29	3,40	Comb3	Tração	0,116	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
154/114/24 (C)	29,84	3,23	Comb5	Compressão	-	-	0,498	OK	0,498	OK	SHS60x3	
154/146/23 (C)	-24,65	3,23	Comb4	Tração	0,136	OK	-	-	-	-	SHS60x3	
155/115/24 (C)	48,57	3,05	Comb5	Compressão	-	-	0,590	OK	0,590	OK	SHS60x4	
155/144/20 (C)	-51,89	3,05	Comb1	Tração	0,221	OK	-	-	-	-	SHS60x4	
156/116/24 (C)	68,36	2,88	Comb5	Compressão	-	-	0,363	OK	0,363	OK	SHS70x6	
156/142/20 (C)	-88,11	2,88	Comb1	Tração	0,223	OK	-	-	-	-	SHS70x6	
157/117/24 (C)	89,6	2,70	Comb5	Compressão	-	-	0,584	OK	0,584	OK	SHS70x4	
157/140/20 (C)	-126,67	2,70	Comb1	Tração	0,456	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
158/118/24 (C)	112,83	2,53	Comb5	Compressão	-	-	0,334	OK	0,334	OK	SHS100x4	
158/138/20 (C)	-168,2	2,53	Comb1	Tração	0,410	OK	-	-	-	-	SHS100x4	
159/119/24 (C)	138,23	2,35	Comb5	Compressão	-	-	0,309	OK	0,309	OK	SHS120x4	
159/136/20 (C)	-213,53	2,35	Comb1	Tração	0,429	OK	-	-	-	-	SHS120x4	
160/120/24 (C)	166,31	2,18	Comb5	Compressão	-	-	0,252	OK	0,252	OK	SHS120x6	
160/134/20 (C)	-263,62	2,18	Comb1	Tração	0,363	OK	-	-	-	-	SHS120x6	

D	242/202/22 (C)	191,11	2,18	Comb3	Compressão	-	-	0,289	OK	0,289	OK	SHS120x6
	242/158/20 (C)	-305,73	2,18	Comb1	Tração	0,421	OK	-	-	-	-	SHS120x6
	243/203/22 (C)	157,26	2,35	Comb3	Compressão	-	-	0,351	OK	0,351	OK	SHS120x4
	243/160/20 (C)	-246,2	2,35	Comb1	Tração	0,495	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	244/204/22 (C)	126,98	2,53	Comb3	Compressão	-	-	0,376	OK	0,376	OK	SHS100x4
	244/162/20 (C)	-192,77	2,53	Comb1	Tração	0,470	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	245/205/22 (C)	99,52	2,70	Comb3	Compressão	-	-	0,649	OK	0,649	OK	SHS70x4
	245/164/20 (C)	-144,23	2,70	Comb1	Tração	0,519	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	246/206/22 (C)	74,77	2,88	Comb3	Compressão	-	-	0,397	OK	0,397	OK	SHS70x6
	246/166/20 (C)	-99,67	2,88	Comb1	Tração	0,252	OK	-	-	-	-	SHS70x6
	247/207/22 (C)	51,8	3,05	Comb3	Compressão	-	-	0,629	OK	0,629	OK	SHS60x4
	247/168/20 (C)	-58,12	3,05	Comb1	Tração	0,247	OK	-	-	-	-	SHS60x4
	248/208/22 (C)	30,22	3,23	Comb3	Compressão	-	-	0,505	OK	0,505	OK	SHS60x3
	248/170/25 (C)	-24,53	3,23	Comb6	Tração	0,135	OK	-	-	-	-	SHS60x3
	249/209/23 (C)	20,33	3,40	Comb4	Compressão	-	-	0,189	OK	0,189	OK	SHS70x4
	249/172/24 (C)	-34,22	3,40	Comb5	Tração	0,123	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	250/210/20 (C)	51,87	3,58	Comb1	Compressão	-	-	0,361	OK	0,361	OK	SHS80x4
	250/174/24 (C)	-51,1	3,58	Comb5	Tração	0,159	OK	-	-	-	-	SHS80x4
	251/211/22 (C)	-0,48	3,75	Comb3	Tração	0,002	OK	-	-	-	-	SHS60x5
	251/157/20 (C)	-1,07	3,75	Comb1	Tração	0,004	OK	-	-	-	-	SHS60x5
	252/212/20 (C)	51,62	3,58	Comb1	Compressão	-	-	0,359	OK	0,359	OK	SHS80x4
	252/194/22 (C)	-50,97	3,58	Comb3	Tração	0,158	OK	-	-	-	-	SHS80x4
	253/213/25 (C)	20,31	3,40	Comb6	Compressão	-	-	0,189	OK	0,189	OK	SHS70x4
	253/192/22 (C)	-34,26	3,40	Comb3	Tração	0,123	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	254/214/24 (C)	30,04	3,23	Comb5	Compressão	-	-	0,502	OK	0,502	OK	SHS60x3
	254/190/23 (C)	-24,58	3,23	Comb4	Tração	0,135	OK	-	-	-	-	SHS60x3
	255/215/24 (C)	51,56	3,05	Comb5	Compressão	-	-	0,626	OK	0,626	OK	SHS60x4
	255/188/20 (C)	-57,98	3,05	Comb1	Tração	0,247	OK	-	-	-	-	SHS60x4
	256/216/24 (C)	74,59	2,88	Comb5	Compressão	-	-	0,396	OK	0,396	OK	SHS70x6
	256/186/20 (C)	-99,58	2,88	Comb1	Tração	0,251	OK	-	-	-	-	SHS70x6
	257/217/24 (C)	99,39	2,70	Comb5	Compressão	-	-	0,648	OK	0,648	OK	SHS70x4
	257/184/20 (C)	-144,23	2,70	Comb1	Tração	0,519	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	258/218/24 (C)	126,84	2,53	Comb5	Compressão	-	-	0,376	OK	0,376	OK	SHS100x4
	258/182/20 (C)	-192,75	2,53	Comb1	Tração	0,470	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	259/219/24 (C)	157,09	2,35	Comb5	Compressão	-	-	0,351	OK	0,351	OK	SHS120x4
	259/180/20 (C)	-246,16	2,35	Comb1	Tração	0,495	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	260/220/24 (C)	190,95	2,18	Comb5	Compressão	-	-	0,289	OK	0,289	OK	SHS120x6
	260/178/20 (C)	-305,71	2,18	Comb1	Tração	0,421	OK	-	-	-	-	SHS120x6
	342/302/22 (C)	180,16	2,18	Comb3	Compressão	-	-	0,273	OK	0,273	OK	SHS120x6
	342/81/20 (C)	-288,13	2,18	Comb1	Tração	0,397	OK	-	-	-	-	SHS120x6
	343/303/22 (C)	149,4	2,35	Comb3	Compressão	-	-	0,334	OK	0,334	OK	SHS120x4
	343/85/20 (C)	-233,46	2,35	Comb1	Tração	0,469	OK	-	-	-	-	SHS120x4
344/304/22 (C)	121,82	2,53	Comb3	Compressão	-	-	0,361	OK	0,361	OK	SHS100x4	
344/88/20 (C)	-184,14	2,53	Comb1	Tração	0,449	OK	-	-	-	-	SHS100x4	
345/305/22 (C)	96,48	2,70	Comb3	Compressão	-	-	0,629	OK	0,629	OK	SHS70x4	
345/93/20 (C)	-138,9	2,70	Comb1	Tração	0,500	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
346/306/22 (C)	72,88	2,88	Comb3	Compressão	-	-	0,387	OK	0,387	OK	SHS70x6	
346/97/20 (C)	-96,54	2,88	Comb1	Tração	0,244	OK	-	-	-	-	SHS70x6	
347/307/22 (C)	50,92	3,05	Comb3	Compressão	-	-	0,618	OK	0,618	OK	SHS60x4	
347/123/20 (C)	-56,74	3,05	Comb1	Tração	0,241	OK	-	-	-	-	SHS60x4	
348/308/22 (C)	30,38	3,23	Comb3	Compressão	-	-	0,508	OK	0,508	OK	SHS60x3	
348/127/25 (C)	-24,37	3,23	Comb6	Tração	0,134	OK	-	-	-	-	SHS60x3	
349/309/23 (C)	20,48	3,40	Comb4	Compressão	-	-	0,191	OK	0,191	OK	SHS70x4	
349/131/24 (C)	-32,68	3,40	Comb5	Tração	0,118	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
350/310/20 (C)	48,33	3,58	Comb1	Compressão	-	-	0,336	OK	0,336	OK	SHS80x4	
350/135/24 (C)	-48,32	3,58	Comb5	Tração	0,150	OK	-	-	-	-	SHS80x4	
351/311/22 (C)	-0,48	3,75	Comb3	Tração	0,002	OK	-	-	-	-	SHS60x5	
351/79/20 (C)	-1,07	3,75	Comb1	Tração	0,004	OK	-	-	-	-	SHS60x5	
352/312/20 (C)	49,53	3,58	Comb1	Compressão	-	-	0,345	OK	0,345	OK	SHS80x4	
352/238/22 (C)	-49,49	3,58	Comb3	Tração	0,154	OK	-	-	-	-	SHS80x4	
353/313/25 (C)	20,32	3,40	Comb6	Compressão	-	-	0,189	OK	0,189	OK	SHS70x4	
353/236/22 (C)	-33,18	3,40	Comb3	Tração	0,119	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
354/314/24 (C)	30,46	3,23	Comb5	Compressão	-	-	0,509	OK	0,509	OK	SHS60x3	
354/234/23 (C)	-24,37	3,23	Comb4	Tração	0,134	OK	-	-	-	-	SHS60x3	
355/315/24 (C)	51,24	3,05	Comb5	Compressão	-	-	0,622	OK	0,622	OK	SHS60x4	
355/232/20 (C)	-57,23	3,05	Comb1	Tração	0,243	OK	-	-	-	-	SHS60x4	
356/316/24 (C)	73,01	2,88	Comb5	Compressão	-	-	0,388	OK	0,388	OK	SHS70x6	
356/230/20 (C)	-96,8	2,88	Comb1	Tração	0,244	OK	-	-	-	-	SHS70x6	
357/317/24 (C)	96,29	2,70	Comb5	Compressão	-	-	0,627	OK	0,627	OK	SHS70x4	
357/228/20 (C)	-138,8	2,70	Comb1	Tração	0,500	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
358/318/24 (C)	121,67	2,53	Comb5	Compressão	-	-	0,361	OK	0,361	OK	SHS100x4	
358/226/20 (C)	-184,1	2,53	Comb1	Tração	0,449	OK	-	-	-	-	SHS100x4	
359/319/24 (C)	149,36	2,35	Comb5	Compressão	-	-	0,334	OK	0,334	OK	SHS120x4	
359/224/20 (C)	-233,53	2,35	Comb1	Tração	0,469	OK	-	-	-	-	SHS120x4	
360/320/24 (C)	180,03	2,18	Comb5	Compressão	-	-	0,273	OK	0,273	OK	SHS120x6	
360/222/20 (C)	-288,12	2,18	Comb1	Tração	0,397	OK	-	-	-	-	SHS120x6	

F	442/402/22 (C)	190,2	2,18	Comb3	Compressão	-	-	0,288	OK	0,288	OK	SHS120x6
	442/246/20 (C)	-303,45	2,18	Comb1	Tração	0,418	OK	-	-	-	-	SHS120x6
	443/403/22 (C)	158,55	2,35	Comb3	Compressão	-	-	0,354	OK	0,354	OK	SHS120x4
	443/248/20 (C)	-247,51	2,35	Comb1	Tração	0,497	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	444/404/22 (C)	128,83	2,53	Comb3	Compressão	-	-	0,382	OK	0,382	OK	SHS100x4
	444/250/20 (C)	-195,6	2,53	Comb1	Tração	0,477	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	445/405/22 (C)	101,61	2,70	Comb3	Compressão	-	-	0,662	OK	0,662	OK	SHS70x4
	445/252/20 (C)	-147,59	2,70	Comb1	Tração	0,531	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	446/406/22 (C)	78,21	2,88	Comb3	Compressão	-	-	0,415	OK	0,415	OK	SHS70x6
	446/254/20 (C)	-104	2,88	Comb1	Tração	0,263	OK	-	-	-	-	SHS70x6
	447/407/22 (C)	55,9	3,05	Comb3	Compressão	-	-	0,679	OK	0,679	OK	SHS60x4
	447/256/20 (C)	-62,68	3,05	Comb1	Tração	0,267	OK	-	-	-	-	SHS60x4
	448/408/22 (C)	33,73	3,23	Comb3	Compressão	-	-	0,563	OK	0,563	OK	SHS60x3
	448/258/25 (C)	-25,22	3,23	Comb6	Tração	0,139	OK	-	-	-	-	SHS60x3
	449/409/23 (C)	21,67	3,40	Comb4	Compressão	-	-	0,202	OK	0,202	OK	SHS70x4
	449/260/24 (C)	-34,98	3,40	Comb5	Tração	0,126	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	450/410/20 (C)	53,38	3,58	Comb1	Compressão	-	-	0,371	OK	0,371	OK	SHS80x4
	450/262/24 (C)	-53,97	3,58	Comb5	Tração	0,168	OK	-	-	-	-	SHS80x4
	451/411/22 (C)	-0,48	3,75	Comb3	Tração	0,002	OK	-	-	-	-	SHS60x5
	451/245/20 (C)	-1,07	3,75	Comb1	Tração	0,004	OK	-	-	-	-	SHS60x5
	452/412/20 (C)	49,98	3,58	Comb1	Compressão	-	-	0,348	OK	0,348	OK	SHS80x4
	452/282/22 (C)	-50,72	3,58	Comb3	Tração	0,158	OK	-	-	-	-	SHS80x4
	453/413/25 (C)	21,85	3,40	Comb6	Compressão	-	-	0,203	OK	0,203	OK	SHS70x4
	453/280/22 (C)	-34,38	3,40	Comb3	Tração	0,124	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	454/414/24 (C)	32,03	3,23	Comb5	Compressão	-	-	0,535	OK	0,535	OK	SHS60x3
	454/278/23 (C)	-25,64	3,23	Comb4	Tração	0,141	OK	-	-	-	-	SHS60x3
	455/415/24 (C)	53,42	3,05	Comb5	Compressão	-	-	0,649	OK	0,649	OK	SHS60x4
	455/276/20 (C)	-59,66	3,05	Comb1	Tração	0,254	OK	-	-	-	-	SHS60x4
	456/416/24 (C)	76,9	2,88	Comb5	Compressão	-	-	0,408	OK	0,408	OK	SHS70x6
	456/274/20 (C)	-102,33	2,88	Comb1	Tração	0,258	OK	-	-	-	-	SHS70x6
	457/417/24 (C)	102	2,70	Comb5	Compressão	-	-	0,665	OK	0,665	OK	SHS70x4
	457/272/20 (C)	-147,85	2,70	Comb1	Tração	0,532	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	458/418/24 (C)	129,54	2,53	Comb5	Compressão	-	-	0,384	OK	0,384	OK	SHS100x4
	458/270/20 (C)	-196,23	2,53	Comb1	Tração	0,479	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	459/419/24 (C)	159,33	2,35	Comb5	Compressão	-	-	0,356	OK	0,356	OK	SHS120x4
	459/268/20 (C)	-248,22	2,35	Comb1	Tração	0,499	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	460/420/24 (C)	191,7	2,18	Comb5	Compressão	-	-	0,290	OK	0,290	OK	SHS120x6
	460/266/20 (C)	-304,97	2,18	Comb1	Tração	0,420	OK	-	-	-	-	SHS120x6
	542/502/22 (C)	216,58	2,18	Comb3	Compressão	-	-	0,328	OK	0,328	OK	SHS120x6
	542/290/20 (C)	-319,08	2,18	Comb1	Tração	0,440	OK	-	-	-	-	SHS120x6
	543/503/22 (C)	175,81	2,35	Comb3	Compressão	-	-	0,393	OK	0,393	OK	SHS120x4
	543/292/20 (C)	-253,51	2,35	Comb1	Tração	0,509	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	544/504/22 (C)	145,23	2,53	Comb3	Compressão	-	-	0,430	OK	0,430	OK	SHS100x4
	544/294/20 (C)	-200,12	2,53	Comb1	Tração	0,488	OK	-	-	-	-	SHS100x4
545/505/22 (C)	114,79	2,70	Comb3	Compressão	-	-	0,748	OK	0,748	OK	SHS70x4	
545/296/20 (C)	-148,74	2,70	Comb1	Tração	0,536	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
546/506/22 (C)	76,62	2,88	Comb3	Compressão	-	-	0,407	OK	0,407	OK	SHS70x6	
546/298/20 (C)	-91,01	2,88	Comb1	Tração	0,230	OK	-	-	-	-	SHS70x6	
547/507/22 (C)	44,13	3,05	Comb3	Compressão	-	-	0,536	OK	0,536	OK	SHS60x4	
547/300/20 (C)	-40,54	3,05	Comb1	Tração	0,172	OK	-	-	-	-	SHS60x4	
548/508/23 (C)	22,06	3,23	Comb4	Compressão	-	-	0,369	OK	0,369	OK	SHS60x3	
548/145/24 (C)	-32,55	3,23	Comb5	Tração	0,179	OK	-	-	-	-	SHS60x3	
549/509/20 (C)	29,83	3,40	Comb1	Compressão	-	-	0,278	OK	0,278	OK	SHS70x4	
549/149/24 (C)	-45,54	3,40	Comb5	Tração	0,164	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
550/510/20 (C)	56,68	3,58	Comb1	Compressão	-	-	0,394	OK	0,394	OK	SHS80x4	
550/154/24 (C)	-55,69	3,58	Comb5	Tração	0,173	OK	-	-	-	-	SHS80x4	
551/511/22 (C)	-0,48	3,75	Comb3	Tração	0,002	OK	-	-	-	-	SHS60x5	
551/289/20 (C)	-1,07	3,75	Comb1	Tração	0,004	OK	-	-	-	-	SHS60x5	
552/512/20 (C)	63,11	3,58	Comb1	Compressão	-	-	0,439	OK	0,439	OK	SHS80x4	
552/326/22 (C)	-60,58	3,58	Comb3	Tração	0,188	OK	-	-	-	-	SHS80x4	
553/513/25 (C)	24,18	3,40	Comb6	Compressão	-	-	0,225	OK	0,225	OK	SHS70x4	
553/324/22 (C)	-33,99	3,40	Comb3	Tração	0,122	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
554/514/24 (C)	45,77	3,23	Comb5	Compressão	-	-	0,765	OK	0,765	OK	SHS60x3	
554/322/20 (C)	-28,72	3,23	Comb1	Tração	0,158	OK	-	-	-	-	SHS60x3	
555/515/24 (C)	72,26	3,05	Comb5	Compressão	-	-	0,877	OK	0,877	OK	SHS60x4	
555/183/20 (C)	-70,93	3,05	Comb1	Tração	0,302	OK	-	-	-	-	SHS60x4	
556/516/24 (C)	94,25	2,88	Comb5	Compressão	-	-	0,501	OK	0,501	OK	SHS70x6	
556/179/20 (C)	-109,43	2,88	Comb1	Tração	0,276	OK	-	-	-	-	SHS70x6	
557/517/24 (C)	116,98	2,70	Comb5	Compressão	-	-	0,762	OK	0,762	OK	SHS70x4	
557/175/20 (C)	-149,67	2,70	Comb1	Tração	0,539	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
558/518/24 (C)	141,85	2,53	Comb5	Compressão	-	-	0,420	OK	0,420	OK	SHS100x4	
558/171/20 (C)	-194,73	2,53	Comb1	Tração	0,475	OK	-	-	-	-	SHS100x4	
559/519/24 (C)	170,22	2,35	Comb5	Compressão	-	-	0,380	OK	0,380	OK	SHS120x4	
559/167/20 (C)	-245,51	2,35	Comb1	Tração	0,493	OK	-	-	-	-	SHS120x4	
560/520/24 (C)	204,1	2,18	Comb5	Compressão	-	-	0,309	OK	0,309	OK	SHS120x6	
560/163/20 (C)	-303,21	2,18	Comb1	Tração	0,418	OK	-	-	-	-	SHS120x6	

Diagonais

Treliça	Barra/Nó/Caso	Diagonais				Tração		Compressão				Perfil
		Ned (kN)	Comprimento (m)	Combinação	Solicitação	Npl,rd/Ned	Verificação	y-y		z-z		
								Nb,rd/Ned	Verificação	Nb,rd/Ned	Verificação	
B	21/1/20 (C)	465,23	2,95	Comb1	Compressão	-	-	0,772	OK	0,772	OK	SHS120x6
	21/70/22 (C)	-310,54	2,95	Comb3	Tração	0,428	OK	-	-	-	-	SHS120x6
	22/2/20 (C)	367,73	3,09	Comb1	Compressão	-	-	0,901	OK	0,901	OK	SHS120x4
	22/72/22 (C)	-236,97	3,09	Comb3	Tração	0,476	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	23/3/20 (C)	287,91	3,22	Comb1	Compressão	-	-	0,721	OK	0,721	OK	SHS120x4
	23/74/22 (C)	-189,65	3,22	Comb3	Tração	0,381	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	24/4/20 (C)	219,41	3,36	Comb1	Compressão	-	-	0,800	OK	0,800	OK	SHS100x4
	24/76/22 (C)	-150,93	3,36	Comb3	Tração	0,368	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	25/5/20 (C)	159,06	3,50	Comb1	Compressão	-	-	0,607	OK	0,607	OK	SHS100x4
	25/78/22 (C)	-117,89	3,50	Comb3	Tração	0,288	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	26/6/20 (C)	105,15	3,65	Comb1	Compressão	-	-	0,421	OK	0,421	OK	SHS100x4
	26/80/22 (C)	-88,21	3,65	Comb3	Tração	0,215	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	27/7/20 (C)	57,76	3,79	Comb1	Compressão	-	-	0,648	OK	0,648	OK	SHS70x4
	27/82/22 (C)	-62,06	3,79	Comb3	Tração	0,223	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	28/8/25 (C)	33,25	3,94	Comb6	Compressão	-	-	0,400	OK	0,400	OK	SHS70x4
	28/84/22 (C)	-38,14	3,94	Comb3	Tração	0,137	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	29/9/24 (C)	43,93	4,10	Comb5	Compressão	-	-	0,567	OK	0,567	OK	SHS70x4
	29/86/23 (C)	-29,16	4,10	Comb4	Tração	0,105	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	30/10/24 (C)	59,87	4,25	Comb5	Compressão	-	-	0,825	OK	0,825	OK	SHS70x4
	30/69/20 (C)	-62,68	4,25	Comb1	Tração	0,226	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	31/12/22 (C)	59,88	4,25	Comb3	Compressão	-	-	0,825	OK	0,825	OK	SHS70x4
	31/69/20 (C)	-62,72	4,25	Comb1	Tração	0,226	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	32/13/22 (C)	43,91	4,10	Comb3	Compressão	-	-	0,567	OK	0,567	OK	SHS70x4
	32/56/25 (C)	-29,16	4,10	Comb6	Tração	0,105	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	33/14/23 (C)	33,23	3,94	Comb4	Compressão	-	-	0,400	OK	0,400	OK	SHS70x4
	33/54/24 (C)	-38,16	3,94	Comb5	Tração	0,137	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	34/15/20 (C)	57,79	3,79	Comb1	Compressão	-	-	0,649	OK	0,649	OK	SHS70x4
	34/53/24 (C)	-62,07	3,79	Comb5	Tração	0,223	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	35/16/20 (C)	105,12	3,65	Comb1	Compressão	-	-	0,421	OK	0,421	OK	SHS100x4
	35/100/24 (C)	-88,2	3,65	Comb5	Tração	0,215	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	36/17/20 (C)	159,08	3,50	Comb1	Compressão	-	-	0,607	OK	0,607	OK	SHS100x4
	36/98/24 (C)	-117,9	3,50	Comb5	Tração	0,288	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	38/18/20 (C)	219,45	3,36	Comb1	Compressão	-	-	0,801	OK	0,801	OK	SHS100x4
	38/96/24 (C)	-150,93	3,36	Comb5	Tração	0,368	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	39/19/20 (C)	287,91	3,22	Comb1	Compressão	-	-	0,721	OK	0,721	OK	SHS120x4
	39/94/24 (C)	-189,64	3,22	Comb5	Tração	0,381	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	40/20/20 (C)	367,68	3,09	Comb1	Compressão	-	-	0,901	OK	0,901	OK	SHS120x4
	40/92/24 (C)	-236,94	3,09	Comb5	Tração	0,476	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	41/21/20 (C)	465,22	2,95	Comb1	Compressão	-	-	0,772	OK	0,772	OK	SHS120x6
	41/90/24 (C)	-310,53	2,95	Comb5	Tração	0,428	OK	-	-	-	-	SHS120x6
C	121/101/20 (C)	432,99	2,95	Comb1	Compressão	-	-	0,719	OK	0,719	OK	SHS120x6
	121/71/22 (C)	-283,07	2,95	Comb3	Tração	0,390	OK	-	-	-	-	SHS120x6
	122/102/20 (C)	344,58	3,09	Comb1	Compressão	-	-	0,844	OK	0,844	OK	SHS120x4
	122/73/22 (C)	-219,12	3,09	Comb3	Tração	0,440	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	123/103/20 (C)	271,06	3,22	Comb1	Compressão	-	-	0,678	OK	0,678	OK	SHS120x4
	123/75/22 (C)	-177,08	3,22	Comb3	Tração	0,356	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	124/104/20 (C)	208,11	3,36	Comb1	Compressão	-	-	0,759	OK	0,759	OK	SHS100x4
	124/77/22 (C)	-141,13	3,36	Comb3	Tração	0,344	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	125/105/20 (C)	153,15	3,50	Comb1	Compressão	-	-	0,584	OK	0,584	OK	SHS100x4
	125/122/22 (C)	-109,91	3,50	Comb3	Tração	0,268	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	126/106/20 (C)	103,95	3,65	Comb1	Compressão	-	-	0,416	OK	0,416	OK	SHS100x4
	126/124/22 (C)	-82,62	3,65	Comb3	Tração	0,202	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	127/107/20 (C)	59,95	3,79	Comb1	Compressão	-	-	0,673	OK	0,673	OK	SHS70x4
	127/126/22 (C)	-57,86	3,79	Comb3	Tração	0,208	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	128/108/25 (C)	27,88	3,94	Comb6	Compressão	-	-	0,335	OK	0,335	OK	SHS70x4
	128/128/22 (C)	-35,36	3,94	Comb3	Tração	0,127	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	129/109/24 (C)	36,21	4,10	Comb5	Compressão	-	-	0,468	OK	0,468	OK	SHS70x4
	129/130/23 (C)	-24,69	4,10	Comb4	Tração	0,089	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	130/110/24 (C)	51,95	4,25	Comb5	Compressão	-	-	0,716	OK	0,716	OK	SHS70x4
	130/67/20 (C)	-51,74	4,25	Comb1	Tração	0,186	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	131/112/22 (C)	51,9	4,25	Comb3	Compressão	-	-	0,715	OK	0,715	OK	SHS70x4
	131/67/20 (C)	-51,77	4,25	Comb1	Tração	0,186	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	132/113/22 (C)	36,11	4,10	Comb3	Compressão	-	-	0,466	OK	0,466	OK	SHS70x4
	132/150/25 (C)	-24,73	4,10	Comb6	Tração	0,089	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	133/114/23 (C)	27,84	3,94	Comb4	Compressão	-	-	0,335	OK	0,335	OK	SHS70x4
	133/148/24 (C)	-35,48	3,94	Comb5	Tração	0,128	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	134/115/20 (C)	59,99	3,79	Comb1	Compressão	-	-	0,673	OK	0,673	OK	SHS70x4
	134/146/24 (C)	-58,01	3,79	Comb5	Tração	0,209	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	135/116/20 (C)	103,98	3,65	Comb1	Compressão	-	-	0,417	OK	0,417	OK	SHS100x4
	135/144/24 (C)	-82,76	3,65	Comb5	Tração	0,202	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	136/117/20 (C)	153,17	3,50	Comb1	Compressão	-	-	0,584	OK	0,584	OK	SHS100x4
	136/142/24 (C)	-110,08	3,50	Comb5	Tração	0,269	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	137/118/20 (C)	208,11	3,36	Comb1	Compressão	-	-	0,759	OK	0,759	OK	SHS100x4
	137/140/24 (C)	-141,26	3,36	Comb5	Tração	0,345	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	138/119/20 (C)	271,08	3,22	Comb1	Compressão	-	-	0,678	OK	0,678	OK	SHS120x4
	138/138/24 (C)	-177,25	3,22	Comb5	Tração	0,356	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	139/120/20 (C)	344,6	3,09	Comb1	Compressão	-	-	0,844	OK	0,844	OK	SHS120x4
	139/136/24 (C)	-219,3	3,09	Comb5	Tração	0,441	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	140/121/20 (C)	433	2,95	Comb1	Compressão	-	-	0,719	OK	0,719	OK	SHS120x6
	140/134/24 (C)	-283,25	2,95	Comb5	Tração	0,390	OK	-	-	-	-	SHS120x6

D	221/201/20 (C)	504,81	2,95	Comb1	Compressão	-	-	0,838	OK	0,838	OK	SHS120x6
	221/158/22 (C)	-328,88	2,95	Comb3	Tração	0,453	OK	-	-	-	-	SHS120x6
	222/202/20 (C)	399,9	3,09	Comb1	Compressão	-	-	0,980	OK	0,980	OK	SHS120x4
	222/160/22 (C)	-251,86	3,09	Comb3	Tração	0,506	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	223/203/20 (C)	312,75	3,22	Comb1	Compressão	-	-	0,783	OK	0,783	OK	SHS120x4
	223/162/22 (C)	-201,53	3,22	Comb3	Tração	0,405	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	224/204/20 (C)	238,69	3,36	Comb1	Compressão	-	-	0,871	OK	0,871	OK	SHS100x4
	224/164/22 (C)	-158,87	3,36	Comb3	Tração	0,388	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	225/205/20 (C)	174,56	3,50	Comb1	Compressão	-	-	0,666	OK	0,666	OK	SHS100x4
	225/166/22 (C)	-122,16	3,50	Comb3	Tração	0,298	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	226/206/20 (C)	117,79	3,65	Comb1	Compressão	-	-	0,472	OK	0,472	OK	SHS100x4
	226/168/22 (C)	-90,42	3,65	Comb3	Tração	0,221	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	227/207/20 (C)	67,32	3,79	Comb1	Compressão	-	-	0,756	OK	0,756	OK	SHS70x4
	227/170/22 (C)	-61,81	3,79	Comb3	Tração	0,223	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	228/208/25 (C)	27,69	3,94	Comb6	Compressão	-	-	0,333	OK	0,333	OK	SHS70x4
	228/172/22 (C)	-35,92	3,94	Comb3	Tração	0,129	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	229/209/24 (C)	38,32	4,10	Comb5	Compressão	-	-	0,495	OK	0,495	OK	SHS70x4
	229/174/23 (C)	-24,17	4,10	Comb4	Tração	0,087	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	230/210/24 (C)	56,97	4,25	Comb5	Compressão	-	-	0,785	OK	0,785	OK	SHS70x4
	230/157/20 (C)	-59,97	4,25	Comb1	Tração	0,216	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	231/212/22 (C)	56,82	4,25	Comb3	Compressão	-	-	0,783	OK	0,783	OK	SHS70x4
	231/157/20 (C)	-59,68	4,25	Comb1	Tração	0,215	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	232/213/22 (C)	38,36	4,10	Comb3	Compressão	-	-	0,495	OK	0,495	OK	SHS70x4
	232/194/25 (C)	-24,14	4,10	Comb6	Tração	0,087	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	233/214/23 (C)	27,76	3,94	Comb4	Compressão	-	-	0,334	OK	0,334	OK	SHS70x4
	233/192/24 (C)	-35,72	3,94	Comb5	Tração	0,129	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	234/215/20 (C)	67,15	3,79	Comb1	Compressão	-	-	0,754	OK	0,754	OK	SHS70x4
	234/190/24 (C)	-61,53	3,79	Comb5	Tração	0,222	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	235/216/20 (C)	117,69	3,65	Comb1	Compressão	-	-	0,472	OK	0,472	OK	SHS100x4
	235/188/24 (C)	-90,2	3,65	Comb5	Tração	0,220	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	236/217/20 (C)	174,56	3,50	Comb1	Compressão	-	-	0,666	OK	0,666	OK	SHS100x4
	236/186/24 (C)	-122	3,50	Comb5	Tração	0,298	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	237/218/20 (C)	238,66	3,36	Comb1	Compressão	-	-	0,871	OK	0,871	OK	SHS100x4
	237/184/24 (C)	-158,69	3,36	Comb5	Tração	0,387	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	238/219/20 (C)	312,7	3,22	Comb1	Compressão	-	-	0,783	OK	0,783	OK	SHS120x4
	238/182/24 (C)	-201,32	3,22	Comb5	Tração	0,404	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	239/220/20 (C)	399,86	3,09	Comb1	Compressão	-	-	0,980	OK	0,980	OK	SHS120x4
	239/180/24 (C)	-251,65	3,09	Comb5	Tração	0,506	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	240/221/20 (C)	504,83	2,95	Comb1	Compressão	-	-	0,838	OK	0,838	OK	SHS120x6
	240/178/24 (C)	-328,69	2,95	Comb5	Tração	0,453	OK	-	-	-	-	SHS120x6
	321/301/20 (C)	473,29	2,95	Comb1	Compressão	-	-	0,786	OK	0,786	OK	SHS120x6
	321/81/22 (C)	-307,41	2,95	Comb3	Tração	0,423	OK	-	-	-	-	SHS120x6
322/302/20 (C)	376,78	3,09	Comb1	Compressão	-	-	0,923	OK	0,923	OK	SHS120x4	
322/85/22 (C)	-237,48	3,09	Comb3	Tração	0,477	OK	-	-	-	-	SHS120x4	
323/303/20 (C)	296,5	3,22	Comb1	Compressão	-	-	0,742	OK	0,742	OK	SHS120x4	
323/88/22 (C)	-191,5	3,22	Comb3	Tração	0,385	OK	-	-	-	-	SHS120x4	
324/304/20 (C)	227,95	3,36	Comb1	Compressão	-	-	0,832	OK	0,832	OK	SHS100x4	
324/93/22 (C)	-152,44	3,36	Comb3	Tração	0,372	OK	-	-	-	-	SHS100x4	
325/305/20 (C)	168,06	3,50	Comb1	Compressão	-	-	0,641	OK	0,641	OK	SHS100x4	
325/97/22 (C)	-118,46	3,50	Comb3	Tração	0,289	OK	-	-	-	-	SHS100x4	
326/306/20 (C)	114,06	3,65	Comb1	Compressão	-	-	0,457	OK	0,457	OK	SHS100x4	
326/123/22 (C)	-88,16	3,65	Comb3	Tração	0,215	OK	-	-	-	-	SHS100x4	
327/307/20 (C)	65,69	3,79	Comb1	Compressão	-	-	0,737	OK	0,737	OK	SHS70x4	
327/127/22 (C)	-60,77	3,79	Comb3	Tração	0,219	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
328/308/25 (C)	27,51	3,94	Comb6	Compressão	-	-	0,331	OK	0,331	OK	SHS70x4	
328/131/22 (C)	-36,11	3,94	Comb3	Tração	0,130	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
329/309/24 (C)	36,56	4,10	Comb5	Compressão	-	-	0,472	OK	0,472	OK	SHS70x4	
329/135/23 (C)	-24,33	4,10	Comb4	Tração	0,088	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
330/310/24 (C)	53,82	4,25	Comb5	Compressão	-	-	0,742	OK	0,742	OK	SHS70x4	
330/79/20 (C)	-55,95	4,25	Comb1	Tração	0,201	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
331/312/22 (C)	55,14	4,25	Comb3	Compressão	-	-	0,760	OK	0,760	OK	SHS70x4	
331/79/20 (C)	-57,31	4,25	Comb1	Tração	0,206	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
332/313/22 (C)	37,13	4,10	Comb3	Compressão	-	-	0,479	OK	0,479	OK	SHS70x4	
332/238/25 (C)	-24,15	4,10	Comb6	Tração	0,087	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
333/314/23 (C)	27,51	3,94	Comb4	Compressão	-	-	0,331	OK	0,331	OK	SHS70x4	
333/236/24 (C)	-36,21	3,94	Comb5	Tração	0,130	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
334/315/20 (C)	66,27	3,79	Comb1	Compressão	-	-	0,744	OK	0,744	OK	SHS70x4	
334/234/24 (C)	-61,15	3,79	Comb5	Tração	0,220	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
335/316/20 (C)	114,37	3,65	Comb1	Compressão	-	-	0,458	OK	0,458	OK	SHS100x4	
335/232/24 (C)	-88,31	3,65	Comb5	Tração	0,216	OK	-	-	-	-	SHS100x4	
336/317/20 (C)	167,94	3,50	Comb1	Compressão	-	-	0,640	OK	0,640	OK	SHS100x4	
336/230/24 (C)	-118,22	3,50	Comb5	Tração	0,289	OK	-	-	-	-	SHS100x4	
337/318/20 (C)	227,9	3,36	Comb1	Compressão	-	-	0,831	OK	0,831	OK	SHS100x4	
337/228/24 (C)	-152,26	3,36	Comb5	Tração	0,372	OK	-	-	-	-	SHS100x4	
338/319/20 (C)	296,59	3,22	Comb1	Compressão	-	-	0,742	OK	0,742	OK	SHS120x4	
338/226/24 (C)	-191,44	3,22	Comb5	Tração	0,385	OK	-	-	-	-	SHS120x4	
339/320/20 (C)	376,77	3,09	Comb1	Compressão	-	-	0,923	OK	0,923	OK	SHS120x4	
339/224/24 (C)	-237,31	3,09	Comb5	Tração	0,477	OK	-	-	-	-	SHS120x4	
340/321/20 (C)	473,01	2,95	Comb1	Compressão	-	-	0,785	OK	0,785	OK	SHS120x6	
340/222/24 (C)	-307,01	2,95	Comb5	Tração	0,423	OK	-	-	-	-	SHS120x6	

F	421/401/20 (C)	494,22	2,95	Comb1	Compressão	-	-	0,821	OK	0,821	OK	SHS120x6
	421/246/22 (C)	-320,36	2,95	Comb3	Tração	0,441	OK	-	-	-	-	SHS120x6
	422/402/20 (C)	396,9	3,09	Comb1	Compressão	-	-	0,972	OK	0,972	OK	SHS120x4
	422/248/22 (C)	-250,67	3,09	Comb3	Tração	0,504	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	423/403/20 (C)	314,42	3,22	Comb1	Compressão	-	-	0,787	OK	0,787	OK	SHS120x4
	423/250/22 (C)	-203,18	3,22	Comb3	Tração	0,408	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	424/404/20 (C)	242,21	3,36	Comb1	Compressão	-	-	0,884	OK	0,884	OK	SHS100x4
	424/252/22 (C)	-161,17	3,36	Comb3	Tração	0,393	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	425/405/20 (C)	178,66	3,50	Comb1	Compressão	-	-	0,681	OK	0,681	OK	SHS100x4
	425/254/22 (C)	-124,7	3,50	Comb3	Tração	0,304	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	426/406/20 (C)	122,98	3,65	Comb1	Compressão	-	-	0,493	OK	0,493	OK	SHS100x4
	426/256/22 (C)	-94,54	3,65	Comb3	Tração	0,231	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	427/407/20 (C)	72,68	3,79	Comb1	Compressão	-	-	0,816	OK	0,816	OK	SHS70x4
	427/258/22 (C)	-66,64	3,79	Comb3	Tração	0,240	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	428/408/25 (C)	28,5	3,94	Comb6	Compressão	-	-	0,343	OK	0,343	OK	SHS70x4
	428/260/22 (C)	-39,99	3,94	Comb3	Tração	0,144	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	429/409/24 (C)	39,19	4,10	Comb5	Compressão	-	-	0,506	OK	0,506	OK	SHS70x4
	429/262/23 (C)	-25,69	4,10	Comb4	Tração	0,092	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	430/410/24 (C)	60,22	4,25	Comb5	Compressão	-	-	0,830	OK	0,830	OK	SHS70x4
	430/245/20 (C)	-61,67	4,25	Comb1	Tração	0,222	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	431/412/22 (C)	56,53	4,25	Comb3	Compressão	-	-	0,779	OK	0,779	OK	SHS70x4
	431/245/20 (C)	-57,82	4,25	Comb1	Tração	0,208	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	432/413/22 (C)	38,5	4,10	Comb3	Compressão	-	-	0,497	OK	0,497	OK	SHS70x4
	432/282/25 (C)	-25,9	4,10	Comb6	Tração	0,093	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	433/414/23 (C)	28,99	3,94	Comb4	Compressão	-	-	0,349	OK	0,349	OK	SHS70x4
	433/280/24 (C)	-38,02	3,94	Comb5	Tração	0,137	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	434/415/20 (C)	69,13	3,79	Comb1	Compressão	-	-	0,776	OK	0,776	OK	SHS70x4
	434/278/24 (C)	-63,71	3,79	Comb5	Tração	0,229	OK	-	-	-	-	SHS70x4
	435/416/20 (C)	120,98	3,65	Comb1	Compressão	-	-	0,485	OK	0,485	OK	SHS100x4
	435/276/24 (C)	-92,96	3,65	Comb5	Tração	0,227	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	436/417/20 (C)	178,97	3,50	Comb1	Compressão	-	-	0,682	OK	0,682	OK	SHS100x4
	436/274/24 (C)	-125,18	3,50	Comb5	Tração	0,306	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	437/418/20 (C)	242,99	3,36	Comb1	Compressão	-	-	0,886	OK	0,886	OK	SHS100x4
	437/272/24 (C)	-162,06	3,36	Comb5	Tração	0,396	OK	-	-	-	-	SHS100x4
	438/419/20 (C)	315,33	3,22	Comb1	Compressão	-	-	0,789	OK	0,789	OK	SHS120x4
	438/270/24 (C)	-204,17	3,22	Comb5	Tração	0,410	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	439/420/20 (C)	398,89	3,09	Comb1	Compressão	-	-	0,977	OK	0,977	OK	SHS120x4
	439/268/24 (C)	-252,63	3,09	Comb5	Tração	0,508	OK	-	-	-	-	SHS120x4
	440/421/20 (C)	498,05	2,95	Comb1	Compressão	-	-	0,827	OK	0,827	OK	SHS120x6
	440/266/24 (C)	-323,94	2,95	Comb5	Tração	0,446	OK	-	-	-	-	SHS120x6
	521/501/20 (C)	538,4	2,95	Comb1	Compressão	-	-	0,894	OK	0,894	OK	SHS120x6
	521/290/22 (C)	-382,3	2,95	Comb3	Tração	0,527	OK	-	-	-	-	SHS120x6
	522/502/20 (C)	403,42	3,09	Comb1	Compressão	-	-	0,988	OK	0,988	OK	SHS120x4
522/292/22 (C)	-285,31	3,09	Comb3	Tração	0,573	OK	-	-	-	-	SHS120x4	
523/503/20 (C)	322,08	3,22	Comb1	Compressão	-	-	0,806	OK	0,806	OK	SHS120x4	
523/294/22 (C)	-225,2	3,22	Comb3	Tração	0,452	OK	-	-	-	-	SHS120x4	
524/504/20 (C)	247,83	3,36	Comb1	Compressão	-	-	0,904	OK	0,904	OK	SHS100x4	
524/296/22 (C)	-181,58	3,36	Comb3	Tração	0,443	OK	-	-	-	-	SHS100x4	
525/505/20 (C)	180,05	3,50	Comb1	Compressão	-	-	0,687	OK	0,687	OK	SHS100x4	
525/298/22 (C)	-140,76	3,50	Comb3	Tração	0,344	OK	-	-	-	-	SHS100x4	
526/506/20 (C)	107,45	3,65	Comb1	Compressão	-	-	0,431	OK	0,431	OK	SHS100x4	
526/300/22 (C)	-92,63	3,65	Comb3	Tração	0,226	OK	-	-	-	-	SHS100x4	
527/507/20 (C)	46,62	3,79	Comb1	Compressão	-	-	0,523	OK	0,523	OK	SHS70x4	
527/145/22 (C)	-52,78	3,79	Comb3	Tração	0,190	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
528/508/24 (C)	37,01	3,94	Comb5	Compressão	-	-	0,445	OK	0,445	OK	SHS70x4	
528/149/23 (C)	-26,46	3,94	Comb4	Tração	0,095	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
529/509/24 (C)	51,29	4,10	Comb5	Compressão	-	-	0,662	OK	0,662	OK	SHS70x4	
529/154/20 (C)	-35,35	4,10	Comb1	Tração	0,127	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
530/510/24 (C)	62,17	4,25	Comb5	Compressão	-	-	0,857	OK	0,857	OK	SHS70x4	
530/289/20 (C)	-65,41	4,25	Comb1	Tração	0,235	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
531/512/22 (C)	67,71	4,25	Comb3	Compressão	-	-	0,933	OK	0,933	OK	SHS70x4	
531/289/20 (C)	-72,7	4,25	Comb1	Tração	0,262	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
532/513/22 (C)	38,05	4,10	Comb3	Compressão	-	-	0,491	OK	0,491	OK	SHS70x4	
532/326/25 (C)	-28,57	4,10	Comb6	Tração	0,103	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
533/514/20 (C)	32,29	3,94	Comb1	Compressão	-	-	0,388	OK	0,388	OK	SHS70x4	
533/324/24 (C)	-53,97	3,94	Comb5	Tração	0,194	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
534/515/20 (C)	82,39	3,79	Comb1	Compressão	-	-	0,925	OK	0,925	OK	SHS70x4	
534/322/24 (C)	-85,89	3,79	Comb5	Tração	0,309	OK	-	-	-	-	SHS70x4	
535/516/20 (C)	129,48	3,65	Comb1	Compressão	-	-	0,519	OK	0,519	OK	SHS100x4	
535/183/24 (C)	-113,72	3,65	Comb5	Tração	0,278	OK	-	-	-	-	SHS100x4	
536/517/20 (C)	181,19	3,50	Comb1	Compressão	-	-	0,691	OK	0,691	OK	SHS100x4	
536/179/24 (C)	-143,42	3,50	Comb5	Tração	0,350	OK	-	-	-	-	SHS100x4	
537/518/20 (C)	241,12	3,36	Comb1	Compressão	-	-	0,880	OK	0,880	OK	SHS100x4	
537/175/24 (C)	-177,37	3,36	Comb5	Tração	0,433	OK	-	-	-	-	SHS100x4	
538/519/20 (C)	311,87	3,22	Comb1	Compressão	-	-	0,781	OK	0,781	OK	SHS120x4	
538/171/24 (C)	-218,06	3,22	Comb5	Tração	0,438	OK	-	-	-	-	SHS120x4	
539/520/20 (C)	396,59	3,09	Comb1	Compressão	-	-	0,972	OK	0,972	OK	SHS120x4	
539/167/24 (C)	-268,91	3,09	Comb5	Tração	0,540	OK	-	-	-	-	SHS120x4	
540/521/20 (C)	502,6	2,95	Comb1	Compressão	-	-	0,835	OK	0,835	OK	SHS120x6	
540/163/24 (C)	-352,79	2,95	Comb5	Tração	0,486	OK	-	-	-	-	SHS120x6	