INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA



Gestão e Projeto de Estrutura Metálica

BRUNA RAQUEL RODRIGUES SOUSA
novembro de 2021

POLITÉCNICO
DO PORTO

Instituto Superior de Engenharia do Porto

GESTÃO E PROJETO DE ESTRUTURA METÁLICA

Bruna Raquel Rodrigues Sousa
1161100

2020/2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Engenharia Mecânica

POLITÉCNICO
DO PORTO

Instituto Superior de Engenharia do Porto

GESTÃO E PROJETO DE ESTRUTURA METÁLICA

Bruna Raquel Rodrigues Sousa
1161100

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 José Augusto de Sousa Ferreira Brandão.

2021
Instituto Superior de Engenharia do Porto
Engenharia Mecânica

POLITÉCNICO
DO PORTO

JÚRI

Presidente
Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho
Professor Adjunto, ISEP
Orientador
Doutor José Augusto de Sousa Ferreira Brandão
Professor Adjunto Convidado, ISEP
Arguente
Doutor David Emanuel Pimentel Gonçalves
Investigador, INEGI

AGRADECIMENTOS

À empresa João Gomes Brás – Estruturas Metálicas, Lda., deixo o meu sincero agradecimento pela oportunidade de estágio profissional nas instalações, tendo possibilitado a aquisição e aplicação conhecimentos práticos e académicos associados ao exercício da minha profissão.
Agradeço também toda a disponibilidade demonstrada pelos colegas que me acompanharam.

Ao orientador, Doutor José Brandão, agradeço toda a sua dedicação e orientação no decurso da redação da presente dissertação. Agradeço todos os conselhos e conhecimento vasto transmitido em inúmeras ocasiões, bem como o seu acompanhamento sempre preocupado e atento.

Aos meus amigos, de escola e de curso, pela motivação e companheirismo sempre demonstrados.

À minha mãe, pelo exemplo de vida, força e resiliência, criadora do meu espírito lutador.

À minha irmã, um porto seguro e fonte de motivação e apoio em todas as provações, académicas e de vida. Bem como, ao meu cunhado, irmão por afinidade, pela sua presença e apoio incondicionais.

Ao meu namorado e companheiro, pelo apoio, compreensão e amor incondicionais, um pilar e parceiro na vida.

PALAVRAS CHAVE

Dimensionamento de estrutura metálica. Eurocódigos. Análise estrutural. Método de Elementos Finitos. Gestão de Produção. Processos de Fabrico.

RESUMO

As estruturas metálicas inserem-se no setor metalomecânico, responsável pela sua projeção e posterior conceção, sendo parte integrante do setor de construção civil. Uma vez que o ramo das estruturas metálicas tem vindo a dominar o setor construtivo, requer-se constante inovação, visando a sua otimização.

Este facto prende-se com as características associadas à construção metálica, entre elas, a possibilidade de pré-fabricação em grande escala, a obtenção de áreas livres mais vastas e amplas, a aparência mais esbelta e consequente custo associado reduzido comparativamente às restantes alternativas de construção e, finalmente, de um ponto de vista remetente à sustentabilidade ambiental, a possibilidade de reciclagem do material construtivo, neste caso, o aço.

Posto isto, na presente dissertação estudam-se todos os parâmetros de projeto para a análise e dimensionamento de uma estrutura metálica, com base nas normas vigentes, sendo necessário abordar os métodos de estudo, analíticos e computacionais, existentes para o efeito.

Para uma análise completa do setor em estudo, é necessária a detenção de conhecimento de todo o processo associado à conceção da estrutura, desde a sua orçamentação, fabrico, transporte e montagem, em consonância com os métodos de gestão e controlo em vigor.

Deste modo, reúnem-se todas as condições e pressupostos necessários à correta projeção de uma estrutura metálica (presente no desenvolvimento na dissertação), bem como à gestão de todos os procedimentos abrangentes.

KEYWORDS

Metal structure design. Eurocode. Structural Analysis. Finite elements method.

Production management. Manufacturing processes.

ABSTRACT

Metal structures are part of the metal-mechanical sector, which is responsible for their project and subsequent realization, and it is an integral part of the construction sector. Because metal structures have been dominating progressively the construction sector, it requires constant innovation, aiming at its optimization.

This fact is related to the characteristics associated with metallic construction, including the possibility of large-scale prefabrication, wider free areas, slimmer appearance and, therefore, reduced associated cost, in comparison to other alternatives of construction.
Additionally, an advantage associated to this type of construction is related to its environmental sustainability, due to the possibility of recycling the building material, in this case, steel.

For this reason, in this dissertation all design parameters for the analysis and design of a metallic structure are studied, based on current standards, and it is necessary to address the analytical and computational methods that exist for this purpose.

To achieve a complete analysis of the studied sector, it is necessary to have knowledge of the entire process associated with the design of the structure.
For this reason, segments such as, budgeting, manufacturing, transport and assembly, as well as management and control methods, need to be considered in this study.

To conclude, all the conditions and assumptions required for the accurate project of a metallic structure (developed in the course of the current dissertation) are met, as well as the management of all comprehensive procedures.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

CC1	Classe de consequência, nível 1
CC2	Classe de consequência, nível 2
CC3	Classe de consequência, nível 3
DL1	Ação permanente
EC3	Eurocódigo 3
ELS	Estado Limite de Serviço
ELU	Estado Limite Último
EN	Norma Europeia
EXC1	Classe de execução, nível 1
EXC2	Classe de execução, nível 2
EXC3	Classe de execução, nível 3
EXC4	Classe de execução, nível 4
FHE BASE	Força horizontal equivalente aplicada na base do pilar
FHE TOPO	Força horizontal equivalente aplicada no topo do pilar
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
ISO	*International Organization for Standardization*
LL1	Ação de sobrecarga “H”
LL2	Ação de sobrecarga “E1”
MAG	*Metal Active Gas*
MEF	Método de Elementos Finitos
MIG	*Metal Inert Gas*
NE1	Ação da neve
NP	Norma Portuguesa

Lista de Unidades

cm	centímetros
K	Kelvin
kN	Quilonewton
kN.m	Quilonewton metro
kN/m^2	Quilonewton por metro quadrado
mm	Milímetro
mm^2	Milímetro ao quadrado
MPa	Mega Pascal
N	Newton
Pa	Pascal
°C	Graus Celsius

Lista de Símbolos

A	Área
a	Espessura do cordão de ângulo
A_{eff}	Área efetiva de uma secção transversal
A_{net}	Área útil solicitada à tração
A_s	Área de secção resistente do parafuso ou chumbadouro
A_v	Área útil solicitada ao corte
A_w	Valor de cálculo a área efetiva do cordão de ângulo
$B_{p,Rd}$	Valor de cálculo da resistência ao punçoamento da cabeça do parafuso e da porca
c_{dir}	Coeficiente de direção do vento
C_e	Coeficiente de exposição da neve
c_e	Coeficiente de exposição do vento
c_f	Coeficiente de força do vento
c_{pe}	Coeficiente de pressão exterior do vento
c_{pi}	Coeficiente de pressão interior do vento
c_{season}	Coeficiente de sazão
C_t	Coeficiente térmico
C_z	Coeficiente dependente da zona
C_1	Coeficiente que traduz a relação entre o valor crítico do máximo momento fletor num elemento e o valor crítico do momento fletor uniforme nesse mesmo elemento considerado com extremidades articuladas
d_0	Diâmetro do furo para um parafuso, para um rebite ou para uma cavilha
d_m	Menor diâmetro médio da cabeça do parafuso ou da porca
E	Módulo de Elasticidade
e_1	Distância, para qualquer das peças da ligação, entre o centro do furo (de um parafuso ou rebite) e a extremidade adjacente, medida na direção da transmissão do esforço
e_2	Distância, para qualquer das peças da ligação, entre o centro do furo (de um parafuso ou rebite) e o bordo adjacente, medida na direção perpendicular à transmissão do esforço
e_3	Distância, para qualquer das peças da ligação, entre o centro do círculo extremo de um furo ovalizado e a extremidade/bordo adjacente.
e_4	Distância, para qualquer das peças da ligação, entre o centro do círculo extremo de um furo ovalizado e a extremidade/bordo adjacente.
$F_{b,Rd}$	Valor de cálculo da resistência ao esmagamento por parafuso
F_E	Força estática equivalente do vento
$F_{p,Cd}$	Valor de cálculo da força de pré-esforço

$F_{s,Rd}$	Valor de cálculo da resistência ao escorregamento por parafuso no estado limite último
$F_{t,Ed}$	Valor de cálculo do esforço de tração por parafuso no estado limite último
$F_{t,Rd}$	Valor de cálculo da resistência à tração por parafuso
f_u	Tensão de rotura
$f_{u,b}$	Tensão de rotura do aço do parafuso
$F_{V,Ed}$	Valor de cálculo do esforço transverso por parafuso no estado limite último
$F_{V,Rd}$	Valor de cálculo da resistência ao esforço transverso por parafuso
f_y	Tensão de cedência do aço
$f_{y,b}$	Tensão de cedência do aço do parafuso
G	Módulo de Corte
G_{kj}	Valor característico da ação permanente "j"
H	Altitude acima da cota do mar
h_{rd}	Distância do centro da fiada de parafusos "r" ao centro de compressão da peça ligada
I_t	Constante de torção
I_w	Constante de empenamento
I_z	Momento de inércia em relação ao eixo z-z
k_s	Constante cálculo de pré-esforço
k_1	Constante de cálculo de resistência ao esmagamento
k_2	Constante de cálculo de resistência à tração
L_e	Comprimento de encurvadura
L_{eff}	Comprimento efetivo de um cordão de ângulo
M	Momento fletor
$M_{b,Rd}$	Valor de cálculo do momento fletor resistente à encurvadura lateral
M_{CR}	Momento crítico elástico de encurvadura lateral
$M_{c,Rd}$	Valor de cálculo do momento fletor resistente em relação a um eixo principal de uma secção transversal
M_{Ed}	Valor de cálculo do momento fletor atuante
$M_{j,Rd}$	Valor de cálculo do momento resistente de uma junta
M_p	Valor de cálculo do momento de pré-esforço
M_y	Valor de cálculo do momento fletor atuante, em "y"
M_z	Valor de cálculo do momento fletor atuante, em "z"
N	Esforço normal
$N_{b,Rd}$	Valor de cálculo do esforço normal resistente à encurvadura de um elemento comprimido
N_{CR}	Esforço normal crítico
$N_{c,Rd}$	Valor de cálculo do esforço normal resistente à compressão de uma secção transversal

N_{Ed}	Valor de cálculo para esforço normal com efeito das ações
$N_{Ed,imp}$	Força horizontal equivalente de imperfeição global
$N_{t,Rd}$	Valor de cálculo do esforço normal resistente de tração
$N_{u,Rd}$	Valor de cálculo do esforço normal resistente último da secção útil na zona com furos de ligação
N_x	Esforço normal aplicado
P	Ação variável de base
p_1	Distância entre os eixos dos parafusos ou rebites de uma fiada, medida na direção da transmissão de esforço
p_2	Distância, medida perpendicularmente à direção da transmissão do esforço, entre fiadas adjacentes de parafusos ou rebites.
Q	Ação da sobrecarga
q_b	Pressão dinâmica de referência do vento
Q_{ki}	Valor característico de ação variável "i"
q_p	Pressão dinâmica de pico do vento
S	Ação da neve
s	Carga da ação da neve
Si	Ação sísmica
s_k	Valor característico da ação da neve por metro quadrado
t	Espessura
T	Ação térmica
t_p	Espessura da placa de ligação
u_y	Deflexão no eixo y-y
u_z	Deflexão no eixo z-z
V	Esforço transverso
v_b	Valor de referência de velocidade do vento
$v_{b,0}$	Valor básico da velocidade de referência do vento
$V_{c,Rd}$	Valor de cálculo do esforço transverso resistente
V_{Ed}	Valor de cálculo do esforço transverso atuante
$V_{pl,Rd}$	Valor de cálculo do esforço transverso resistente plástico
v_x	Deslocamento no eixo x-x
v_y	Deslocamento no eixo y-y
W	Ação do vento
$W_{(i\ ou\ e)}$	Pressão exercida pelo vento (interior ou exterior)
W_{pl}	Módulo de flexão plástico de uma secção transversal
$W_{pl,y}$	Módulo de flexão plástico de uma secção transversal no eixo y-y
z	Altura acima do solo
z_0	Rugosidade do terreno
α	Coeficiente de dilatação térmica
α	Fator de imperfeição para encurvadura à compressão
α_b	Constante de cálculo de resistência ao esmagamento

α_h	Coeficiente de redução para tomar em consideração a altura h do pórtico
α_{LT}	Fator de imperfeição para encurvadura à flexão
α_m	Coeficiente de redução para tomar em consideração o número de colunas num alinhamento
α_v	Coeficiente de classe de parafuso ou rebite
β	Fator de correção das curvas de dimensionamento à encurvadura lateral de vigas constituídas por perfis laminados e soldados equivalentes
β_w	Fator de correlação para soldaduras de ângulo
γ_G	Coeficiente parcial de segurança relativo às ações permanentes
γ_{Gj}	Coeficiente parcial de segurança relativo à ação permanente "j"
γ_{M0}	Coeficiente parcial de segurança para a resistência de secções transversais de qualquer classe
γ_{M1}	Coeficiente parcial de segurança para a resistência dos elementos em relação a fenómenos de encurvadura, avaliada através de verificações individuais de cada elemento
γ_{M2}	Coeficiente parcial de segurança para a resistência à rotura de secções transversais tracionadas em zonas com furos de ligação
γ_{M7}	Coeficiente parcial de segurança para pré-esforço de parafusos de alta resistência
γ_Q	Coeficiente parcial de segurança relativo às ações variáveis
γ_{Qi}	Coeficiente parcial de segurança relativo à ação variável "i"
γ_{Q1}	Coeficiente parcial de segurança relativo à ação variável de base
Δ	Valor de deflexão
δ	Valor de deslocamento
Φ	Valor para determinar o coeficiente de redução χ
Φ_{LT}	Valor para determinar o coeficiente de redução χ_{LT}
$\bar{\lambda}$	Esbelteza normalizada para encurvadura por compressão
$\overline{\lambda_{LT}}$	Esbelteza normalizada para encurvadura por flexão
$\overline{\lambda_{LT,0}}$	Comprimento de patamar das curvas de dimensionamento à encurvadura lateral de vigas constituídas por perfis laminados e soldados equivalentes
μ	Coeficiente de atrito
μ_i	Coeficiente de forma para a carga da neve
υ	Coeficiente de *Poisson*
ρ	Massa volúmica do ar
$\sigma_\perp$	Tensão normal perpendicular à espessura
$\sigma_\parallel$	Tensão normal paralela ao eixo de soldadura
$\tau_\perp$	Tensão tangencial (no plano de espessura) perpendicular ao eixo de soldadura
$\tau_\parallel$	Tensão tangencial (no plano de espessura) paralela ao eixo de

	soldadura
ϕ	Imperfeição inicial global associada à falta de verticalidade
ϕ_0	Valor de base da imperfeição inicial global associada à falta de verticalidade
χ	Coeficiente de redução para encurvadura à compressão
χ_{LT}	Coeficiente de redução para encurvadura à flexão
Ψ_0	Coeficiente de ação "0"
Ψ_1	Coeficiente de ação "1"
Ψ_2	Coeficiente de ação "2"

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: MUSEU LOUVRE [5] 40
FIGURA 2: ESTÁDIO [3] 40
FIGURA 3: ELEMENTOS CONSTRUTIVOS [7] 43
FIGURA 4: MODOS DE ROTURA [9] 44
FIGURA 5: EXEMPLOS DE TIPOS DE SOLDADURA [11] 45
FIGURA 6: LIGAÇÃO DE BASE ARTICULADA [8] 45
FIGURA 7: LIGAÇÃO DE BASE ENCASTRADA [8] 45
FIGURA 8: EXEMPLO DE PÓRTICO [6] 47
FIGURA 9: SOLUÇÕES DE VIGA [1] 47
FIGURA 10: ESTRUTURA EM ARCO [4] 48
FIGURA 11: ESTRUTURA FIXA POR CABOS [2] 48
FIGURA 12: PÓRTICO DE VIGAS INCLINADAS [10] 49
FIGURA 13: PÓRTICO TRELIÇADO [10] 49
FIGURA 14: GRÁFICO FORÇA-DEFORMAÇÃO [6] 59
FIGURA 15: ESTRUTURA PROJETADA 78
FIGURA 16: VISTA FRONTAL 78
FIGURA 17: VISTA LATERAL 79
FIGURA 18: VENTO NA DIREÇÃO X, PARTE 1 85
FIGURA 19: VENTO NA DIREÇÃO X, PARTE 2 85
FIGURA 20: VENTO NA DIREÇÃO Y, PARTE 1 86
FIGURA 21: VENTO NA DIREÇÃO Y, PARTE 2 86
FIGURA 22: REFORÇO VIGA-PILAR 94
FIGURA 23: SISTEMA DE FORÇAS HORIZONTAIS EQUIVALENTES [2] 105
FIGURA 24: LIGAÇÃO TIPO 1 118
FIGURA 25: LIGAÇÃO TIPO 2 118
FIGURA 26: LIGAÇÃO TIPO 3 119
FIGURA 27: LIGAÇÃO TIPO 4 119
FIGURA 28: LIGAÇÃO TIPO 5 119
FIGURA 29: LIGAÇÃO TIPO 6.1 119
FIGURA 30: LIGAÇÃO TIPO 6.2 119
FIGURA 31: LIGAÇÃO TIPO 7 119
FIGURA 32: LIGAÇÃO TIPO 8.1 120
FIGURA 33: LIGAÇÃO TIPO 8.2 120
FIGURA 34: LIGAÇÃO TIPO 9 120
FIGURA 35: LIGAÇÃO TIPO 10 120
FIGURA 36: LIGAÇÃO TIPO 11 121
FIGURA 37: LIGAÇÃO TIPO 12 121
FIGURA 38: LIGAÇÃO TIPO 13 121
FIGURA 39: LIGAÇÃO TIPO 14A 121

FIGURA 40: LIGAÇÃO TIPO 14B 121
FIGURA 41: LIGAÇÃO TIPO 15A 121
FIGURA 42: LIGAÇÃO TIPO 15B 122
FIGURA 43: LIGAÇÃO TIPO 16 122
FIGURA 44: TENSÕES NO PLANO QUE DEFINE O CORDÃO DE SOLDADURA 135

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1: REGULAMENTAÇÃO EM VIGOR 39
TABELA 2: ELEMENTOS CONSTRUTIVOS 42
TABELA 3: CARACTERÍSTICAS DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS 47
TABELA 4: COMPARAÇÃO DE ANÁLISES. 60
TABELA 5: CUSTOS DIRETOS [39]. 63
TABELA 6: MEDIDAS DE RASTREABILIDADE. 66
TABELA 7: REGULAMENTAÇÃO DE TRATAMENTOS SUPERFICIAIS [42] 68
TABELA 8: FASES DA PREPARAÇÃO DE PRODUÇÃO 69
TABELA 9: CASOS DE CARGA, DESCRIÇÃO 79
TABELA 10: AÇÕES PERMANENTES (G). 80
TABELA 11: SOBRECARGAS EM COBERTURAS DA CATEGORIA H. 81
TABELA 12: PARÂMETROS AÇÃO DA NEVE. 82
TABELA 13: PARÂMETROS PARA CARGA DO VENTO. 84
TABELA 14: COEFICIENTES Ψ. 88
TABELA 15: VALORES DE CÁLCULO DE AÇÕES - ELS 88
TABELA 16: VALORES DE CÁLCULO DE AÇÕES - ELU 88
TABELA 17: CASOS DE CARGA - ROBOT 89
TABELA 18: PARÂMETROS DE VERIFICAÇÃO ELU 91
TABELA 19: GRUPOS DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS 92
TABELA 20: ESQUEMA DE ITERAÇÃO – ANÁLISE DE RESISTÊNCIA 95
TABELA 21: FÓRMULAS DE COMBINAÇÃO 96
TABELA 22: COMBINAÇÕES DE AÇÕES 96
TABELA 23: ESFORÇOS OBTIDOS NAS COMBINAÇÕES MAIS ONEROSAS EM CADA ELEMENTO 97
TABELA 24: ESFORÇOS ADMISSÍVEIS 98
TABELA 25: CARACTERÍSTICAS DAS SECÇÕES 98
TABELA 26: PERFIS DE BASE - ANÁLISE LINEAR 1ª ORDEM 99
TABELA 27: PARÂMETROS DE ENCURVADURA 104
TABELA 28: PARÂMETROS E VALORES DE CÁLCULO DE IMPERFEIÇÃO 106
TABELA 29: PARÂMETROS DE VERIFICAÇÃO ELS 106
TABELA 30: PARÂMETROS PARA CRITÉRIO ELS 107
TABELA 31: ESQUEMA DE ITERAÇÃO - ANÁLISE LINEAR 1ª ORDEM 108
TABELA 32: FÓRMULAS DE COMBINAÇÃO ELU/ELS 110
TABELA 33: COMBINAÇÕES DE AÇÕES ELU/ELS 111
TABELA 34: ESFORÇOS OBTIDOS ELU 111
TABELA 35: CARACTERÍSTICAS DAS SECÇÕES 112
TABELA 36: ESFORÇOS ADMISSÍVEIS ELU 113
TABELA 37: VALORES DE CÁLCULO ENCURVADURA À COMPRESSÃO 114
TABELA 38: ESFORÇOS OBTIDOS/ADMISSÍVEIS - ENCURVADURA À COMPRESSÃO 114
TABELA 39: VALORES DE CÁLCULO DE ENCURVADURA À FLEXÃO 115

TABELA 40: ESFORÇOS OBTIDOS/ADMISSÍVEIS - ENCURVADURA À FLEXÃO 115
TABELA 41: DESLOCAMENTO E DEFLEXÕES OBTIDOS 116
TABELA 42: DESLOCAMENTOS E DEFLEXÕES ADMISSÍVEIS 117
TABELA 43: PROPRIEDADES DOS PARAFUSOS E CHUMBADOUROS 122
TABELA 44: LIGAÇÕES APARAFUSADAS - TIPOS 123
TABELA 45: POSICIONAMENTO DE FUROS 128
TABELA 46: POSICIONAMENTO ADMISSÍVEL DE FUROS PARA LIGAÇÕES ENTRE ELEMENTOS 128
TABELA 47: POSICIONAMENTO ADMISSÍVEL DE FUROS PARA LIGAÇÕES DE BASE 129
TABELA 48: RESISTÊNCIA AO CORTE POR PLANO DE CORTE 130
TABELA 49: PARÂMETROS PRÉ-ESFORÇO 130
TABELA 50: RESISTÊNCIA AO ESMAGAMENTO 131
TABELA 51: RESISTÊNCIA À TRAÇÃO 132
TABELA 52: RESISTÊNCIA AO CORTE + TRAÇÃO 132
TABELA 53: RESISTÊNCIA DA PLACA À TRAÇÃO 133
TABELA 54: RESISTÊNCIA DA PLACA À COMPRESSÃO 134
TABELA 55: DESCRIÇÃO LIGAÇÃO TIPO 1 E 2 137
TABELA 56: DESCRIÇÃO LIGAÇÃO TIPO 3 137
TABELA 57: DESCRIÇÃO LIGAÇÃO TIPO 4 137
TABELA 58: DESCRIÇÃO LIGAÇÃO TIPO 5 137
TABELA 59: DESCRIÇÃO LIGAÇÃO TIPO 6 137
TABELA 60: DESCRIÇÃO LIGAÇÃO TIPO 7 E 8 138
TABELA 61: DESCRIÇÃO LIGAÇÃO TIPO 9 138
TABELA 62: DESCRIÇÃO LIGAÇÃO TIPO 10 138
TABELA 63: DESCRIÇÃO LIGAÇÃO TIPO 12 138
TABELA 64: DESCRIÇÃO LIGAÇÃO TIPO 13/14A/15A 138
TABELA 65: DESCRIÇÃO LIGAÇÃO TIPO 14B/15B 139
TABELA 66: DESCRIÇÃO LIGAÇÃO TIPO 16 139
TABELA 67: VALORES DE RESISTÊNCIA ADMISSÍVEIS 139
TABELA 68: LIGAÇÃO TIPO 1 139
TABELA 69: LIGAÇÃO TIPO 2 140
TABELA 70: LIGAÇÃO TIPO 3 140
TABELA 71: LIGAÇÃO TIPO 4 141
TABELA 72: LIGAÇÃO TIPO 5 141
TABELA 73: LIGAÇÃO TIPO 6 142
TABELA 74: LIGAÇÃO TIPO 7 E 8 142
TABELA 75: LIGAÇÃO TIPO 9 143
TABELA 76: LIGAÇÃO TIPO 10 143
TABELA 77: LIGAÇÃO TIPO 12 143
TABELA 78: LIGAÇÃO TIPO 13 144
TABELA 79: LIGAÇÃO TIPO 14A 144
TABELA 80: LIGAÇÃO TIPO 15A 144
TABELA 81: LIGAÇÃO TIPO 14B 145
TABELA 82: LIGAÇÃO TIPO 15B 145

TABELA 83: LIGAÇÃO TIPO 16.1 145
TABELA 84: LIGAÇÃO TIPO 16.2 146
TABELA 85: LIGAÇÃO TIPO 16.3 146

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO 31

1.1 Contextualização 31

1.2 Objetivos 32

1.3 Metodologia 33

1.4 Estrutura do relatório 34

1.5 Empresa de acolhimento 35

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 39

2.1 Bases para projeto de estruturas metálicas 39

2.1.1 Regulamentação em vigor 39

2.1.2 Tipos de estruturas metálicas 40

2.1.3 Materiais aplicáveis 41

2.1.4 Principais elementos construtivos 41

2.1.5 Tipos de ligações 43

2.1.5.1 Ligações entre elementos metálicos 43

2.1.5.1.1 Parafusos e Ligações aparafusadas 43

2.1.5.1.2 Soldadura e Ligações soldadas 44

2.1.5.2 Ligações entre pórticos e fundações 45

2.1.6 Soluções construtivas – Tipos de Pórticos 46

2.1.6.1 Estruturas Viga-Coluna de quadro fixo 46

2.1.6.2 Estruturas em arco 47

2.1.6.3 Estruturas fixas por cabos 48

2.1.6.4 Estruturas rígidas 48

2.2 Parâmetros de análise e dimensionamento da estrutura metálica 49

2.2.1 Propriedades dos materiais aplicáveis 49

2.2.2 Qualificação de ações 50

2.2.2.1 Ações permanentes 50

2.2.2.2 Ações variáveis 51

2.2.2.2.1 Ação do vento 51

2.2.2.2.2 Ação da neve 51

2.2.2.2.3 Ação da sobrecarga 52

2.2.2.2.4 Ação térmica 52

2.2.2.3 Ações acidentais 52

2.2.2.4 Ações sísmicas 53

2.2.3 Combinações de ações 53

2.3 Métodos de análise e dimensionamento da estrutura metálica 54
2.3.1 Método dos Elementos Finitos (MEF) 54
2.3.2 Análise estrutural 55
2.3.2.1 Análise linear 55
2.3.2.1.1 Efeitos de 1ª ordem 55
2.3.2.2 Análise não linear 56
2.3.2.2.1 Efeitos de 2ª ordem 56
2.3.2.2.2 Imperfeições Geométricas 57
2.3.2.3 Tipos de análise estrutural 58
2.3.2.4 Comparação entre análises linear e não linear 59
2.3.3 Critérios ELU e ELS 61
2.3.3.1 Critério ELU 61
2.3.3.2 Critério ELS 62

2.4 Conceitos e técnicas de orçamentação 62

2.5 Produção 64
2.5.1 Contextualização normativa – EN1090-2 64
2.5.1.1 Compra e receção de matéria-prima 65
2.5.1.2 Rastreabilidade 66
2.5.1.3 Soldadura 67
2.5.1.4 Ensaios não destrutivos 67
2.5.1.5 Proteção anticorrosiva 68
2.5.2 Preparação de produção 69
2.5.3 Processos de Fabrico 69
2.5.3.1 Corte 69
2.5.3.2 Furação 70
2.5.3.3 Soldadura 70

2.6 Transporte 70

2.7 Montagem 71
2.7.1 Preparação de montagem 71
2.7.2 Condições de local de obra 72
2.7.3 Montagem da estrutura 73

3 DESENVOLVIMENTO 77

3.1 Estrutura em análise 77

3.2 Bases de cálculo 79
3.2.1 Formulação inicial 79
3.2.2 Quantificação de ações 80
3.2.2.1 Ação permanente 80
3.2.2.2 Ação da sobrecarga 81

3.2.2.3 Ação da neve 81
3.2.2.4 Ação do vento 83
3.2.3 Combinação de ações 86
3.2.3.1 Quantificação de ações 88

3.3 Análise e dimensionamento da estrutura metálica 90
3.3.1 Metodologia 90

3.4 Análise de resistência da secção transversal 91
3.4.1 Parâmetros de cálculo 91
3.4.2 Processo iterativo 92
3.4.3 Verificação analítica de critérios de resistência 95

3.5 Análise linear – Efeitos de 1ª ordem 99
3.5.1 Parâmetros de cálculo 99
3.5.2 Critério ELU 100
3.5.3 Critério ELS 106
3.5.4 Processo iterativo 107
3.5.5 Verificação analítica de critérios ELU e ELS 109
3.5.5.1 Critério ELU e Encurvadura 111
3.5.5.2 Critério ELS 116

3.6 Dimensionamento de ligações metálicas 117
3.6.1 Dimensionamento analítico de ligações aparafusadas 122
3.6.1.1 Verificação de posicionamento de furos 127
3.6.1.2 Verificação de resistência da ligação e parafusos 129
3.6.2 Dimensionamento analítico de ligações soldadas 134

3.7 Gestão de Produção 147
3.7.1 Preparação de produção 147
3.7.2 Produção – Ciclo produtivo 148

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS 153

4.1 CONCLUSÕES 153

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS 155

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO 159

6 ANEXOS 163

6.1 Nota de cálculo – Análise de resistência da secção transversal 163

6.2 Lista de combinações – Análise de resistência de secção transversal 165

6.3 Diagramas de esforços – Análise de resistência da secção transversal 167

6.4 Nota de cálculo ELU – Análise linear de 1ª ordem 169

6.5 Lista de combinações ELU – Análise linear de 1ª ordem 171

6.6 Nota de cálculo ELS – Análise linear de 1ª ordem.....173

6.7 Lista de combinações ELS – Análise linear de 1ª ordem.....175

6.8 Diagramas de esforços – Análise linear de 1ª ordem.....177

6.9 Diagramas de Deslocamentos de Deflexões – Análise linear de 1ª ordem 179

6.10 Desenhos de Projeto de Estrutura Metálica 181

6.11 Desenhos de Produção – Peças e conjuntos.....183

6.12 Lista de corte de material 185

6.13 Tabelas de tolerâncias 186

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

As estruturas assumem diversas formas e são constituídas por vários materiais conforme a sua finalidade, no entanto, em contexto de estruturas de grandes dimensões destinadas a edifícios industriais, pontes, escritórios, entre outros, estas são essencialmente metálicas, isto é, compostas por aço.

Neste contexto, surge a indústria metalomecânica destinada ao planeamento e fabrico de estruturas metálicas que, no caso de complexos industriais, tal como o estudado nesta dissertação, são usualmente constituídas por pórticos.

Ora, este tipo de indústria insere-se no domínio da construção civil, sendo responsável pela crescente otimização do setor, apresentando uma alternativa às estruturas em betão ou madeira, que, comparativamente, requerem um planeamento mais exaustivo e acarretam custos e prazos de execução mais extensos.

Além da otimização do setor de construção civil, a indústria metalomecânica desempenha um papel cada vez mais relevante no mercado externo de Portugal, permitindo a exportação de elementos construtivos que requerem apenas montagem no local de obra, usualmente através de ligações aparafusadas, algo que, dada a facilidade de transporte dos mesmos, acelera e agiliza significativamente todo o processo [12].

Este facto prende-se com a pré-fabricação em grande escala, possibilitada pelas excelentes propriedades do aço, entre elas, o seu peso reduzido quando comparado com materiais mais usuais de construção [13].

Mais ainda, este tipo de estrutura revela-se cada vez mais atrativo devido à possibilidade de áreas livres mais amplas, uma vez que a elevada resistência do aço permite a execução de vãos de elevado comprimento com pilares mais esbeltos, podendo-se dispensar pilares em zonas intermédias dos pórticos, excetuando zonas de fixação de revestimento, tendo em consideração todos os requisitos estruturais e dimensionais [13].

No que concerne à vertente ambiental, este tipo de estrutura também desempenha um papel fulcral neste tema, uma vez que as estruturas de aço, na eventualidade de desmantelamento ou demolição, podem ser recicladas, isto é, o aço pode ser reciclado e, posteriormente, reutilizado, não comprometendo as suas propriedades [13].

Posto isto e a crescente evolução deste setor, inevitavelmente, os clientes têm vindo a tornar-se mais exigentes, as obras mais complexas e, por conseguinte, as ferramentas e metodologias da área mais sofisticadas.

Com vista a dar resposta a todas as exigências, pequenas empresas do setor metalomecânico deparam-se com a necessidade de inovar e otimizar regularmente todo o processo inerente a este tipo de construção.

Os focos da otimização são usualmente o prazo de execução e o custo associado. Neste sentido, efetua-se uma análise de metodologias a implementar, analisando o caso particular da empresa que acolhe o desenvolvimento desta dissertação.

Isto é, estuda-se a implementação de uma série de reformas no âmbito da elaboração do projeto e consequente produção da estrutura e, para tal, propõe-se uma abordagem parcialmente diferente da que se encontra em vigor na entidade em questão.

Posto isto, no que concerne ao prazo de execução, este é diretamente influenciado pelo período de elaboração do projeto, bem como de fabrico. Deste modo, estuda-se a implementação de métodos e *softwares* de dimensionamento e análise estrutural, que otimizam substancialmente todo o procedimento.

Finalmente, no tocante à diminuição dos custos associados, e em consonância com a implementação dos métodos e *softwares* supramencionados, procura-se reduzir o fenómeno de sobredimensionamento por vezes associado à análise dimensional, procedendo-se a uma análise minuciosa no que concerne o tipo de perfis a aplicar e as suas propriedades. Esta redução resulta diretamente numa diminuição do peso da estrutura, e consequentemente, do custo da matéria-prima, elevando o estatuto competitivo da empresa.

1.2 Objetivos

No decurso da elaboração desta dissertação surgem dois objetivos em simultâneo que se encontram diretamente relacionados.

Ora, o principal objetivo consiste no estudo e desenvolvimento de todas as fases associadas ao projeto e execução de uma estrutura solicitada por um determinado cliente.

Como objetivo análogo ao elencado, pretende-se a implementação de ferramentas e métodos na empresa de acolhimento, necessários à capacidade de elaborar projetos de estruturas metálicas, que esta não possui.

Importa mencionar que, para o desenvolvimento da presente dissertação e, consequentemente, aquisição de capacidades de projeto na empresa, esta investiu

numa formação de cálculo estrutural computacional (através do *software Robot Structural Analysis*) frequentada pela autora desta dissertação.

De modo resumido, procura-se apresentar os aspetos práticos associados à execução de uma estrutura metálica, bem como as diferentes abordagens no projeto da mesma.

No que concerne os métodos de análise estrutural, é de conhecimento geral que o método vigente e mais usual no dimensionamento de uma estrutura metálica remete para uma análise elástica linear (contemplando efeitos de 1ª ordem[1]), complementada pela análise de estabilidade da estrutura (verificação de resistência à encurvadura), pelo que, no âmbito desta dissertação, é a que se desenvolve para obtenção do projeto final.

Embora o projeto desenvolvido se reja pela análise supramencionada, estudam-se, teoricamente, outras análises possíveis.

Para concluir, elabora-se o desenho técnico associado ao projeto da estrutura metálica e consequente produção, sendo que no tocante à fase produtiva, a lista de corte de peças a produzir se encontra presente nesta dissertação.

1.3 Metodologia

A elaboração da presente dissertação seguiu uma metodologia em consonância com o conhecimento adquirido no exercício de funções na empresa de acolhimento, responsável pela fundamentação do conteúdo apresentado.

A referida metodologia remete para:

- Estudo do estado da arte referente às normas vigentes em estruturas metálicas;
- Estudo do estado da arte das diferentes soluções construtivas, incluindo especificação de tipos de elementos e ligações;
- Análises de projetos de estabilidade e arquitetura acolhidos pela empresa em que se enquadra o estágio profissional;
- Discussão de soluções construtivas e estruturais com operadores e responsáveis de produção;
- Estudo do estado da arte referente a diferentes técnicas de análise e dimensionamento de estruturas metálicas;
- Formação em cálculo estrutural computacional;

[1] Caso se verifique que os efeitos da configuração deformada são desprezáveis, de acordo com o disposto no subcapítulo 5.2.1, ponto 3, da norma NP EN 1993-1-1:2010.

- Análise e elaboração de orçamentos no âmbito da empresa de acolhimento;
- Estudo do estado da arte referente a técnicas de orçamentação existentes;
- Desenvolvimento de processo de certificação da empresa, ao abrigo da norma EN 1090-2;
- Investigação e pesquisa de requisitos e métodos impostos pela norma supramencionada, em consonância com aquisição de conhecimento junto do coordenador de soldadura da empresa de acolhimento;
- Acompanhamento da produção de estruturas metálicas em fábrica;
- Análise e investigação de métodos de fabrico e inspeção[2] em vigor;
- Análise e investigação de meios de transporte de estruturas ou elementos estruturais, vigentes no mercado, bem como em utilização na empresa de acolhimento;
- Acompanhamento, no terreno, de soluções construtivas e métodos de montagem de estruturas fabricadas pela empresa de acolhimento;
- Aplicação de ferramentas computacionais de cálculo estrutural e detalhamento;
- Determinação de soluções construtivas adaptadas às necessidades do cliente;
- Redação da presente dissertação.

1.4 Estrutura do relatório

Esta dissertação visa o estudo de todas as fases associadas ao projeto, execução e montagem de uma estrutura metálica, dedicando especial atenção à vertente de projeto, estudando as diferentes abordagens de análise estrutural (análise linear e não linear geométrica) e respetivo método de modelação da estrutura.
Neste sentido, no Capítulo 1 procede-se à contextualização da dissertação, explicitando o tipo de indústria em que o desenvolvimento em questão se insere e o tipo de construção que o sustenta, analisando também os desafios do setor e os respetivos métodos de otimização em todas as fases constituintes.
De seguida, ainda no mesmo capítulo, delineiam-se os objetivos da dissertação, destacando as etapas necessárias para o cumprimento dos mesmos.
No Capítulo 2, inicia-se a revisão bibliográfica que sustenta e fundamenta todo o desenvolvimento da tese elaborada, fornecendo os “alicerces” de toda a estrutura documental apresentada.
Para o efeito, é necessário proceder-se à compartimentação do capítulo mencionado do seguinte modo:

- Bases para projeto de estruturas metálicas;
- Parâmetros de análise e dimensionamento da estrutura metálica;

[2] Investigação acompanhada pelo coordenador de soldadura contratado pela empresa de acolhimento.

- Métodos de análise e dimensionamento da estrutura metálica
- Conceitos e técnicas de orçamentação;
- Execução de estruturas metálicas – EN1090-2;
- Produção;
- Transporte;
- Montagem.

Finda toda a fundamentação teórica da dissertação, procede-se ao "Desenvolvimento", designado de Capítulo 3.
O capítulo mencionado remete para a elaboração do projeto da estrutura metálica, apresentando todas as fases de execução do mesmo.
Inicia-se com a explicitação das bases e parâmetros de cálculo, para correta fundamentação de todos os cálculos e etapas de análise[3] efetuadas, seguindo-se a explicação da metodologia adotada.
Para melhor compreensão dos cálculos e conclusões resultantes dos mesmos, evidenciam-se todas as considerações envolvidas no processo de dimensionamento computacional para as análises lineares, seguidas de verificação analítica.
Ora, o presente capítulo visa o dimensionamento e análise computacional e analítica da estrutura metálica, bem como das respetivas ligações (aparafusadas e soldadas), também acompanhadas de verificação analítica para perfeita compreensão dos métodos e fórmulas de cálculo constantes nas normas vigentes.

Uma vez concluído o Capítulo 3, procede-se às ilações finais, isto é, à "Conclusão".

Concluindo a presente dissertação, apresentam-se todos os anexos (Capítulo 6) que contêm informação complementar do 2º e 3º capítulos, bem como os desenhos técnicos associados ao projeto elaborado e respetiva produção.

1.5 Empresa de acolhimento

A empresa de acolhimento da presente dissertação e, por conseguinte, do estágio profissional frequentado, designa-se de "João Gomes Brás – Estruturas Metálicas, Lda", sita em Vila do Conde, e insere-se no setor metalomecânico, destinado ao fabrico e montagem de estruturas metálicas.

Embora a presente tese englobe a fundamentação e posterior desenvolvimento do projeto de uma estrutura metálica, a empresa de acolhimento não desenvolve projetos estruturais oficialmente, isto é, a empresa é responsável pelo fabrico e

[3] Por etapas de análise entende-se a análise de resistência de secções, seguida da análise linear com efeitos de 1ª ordem, que toma em consideração a verificação de resistência à encurvadura.

montagem de determinada estrutura metálica, sendo fornecido, previamente, o respetivo projeto.

Ora, dado que usualmente se solicitam cotações para construção de estruturas metálicas que não possuem projeto associado, sendo apenas disponibilizada a informação referente às pretensões do cliente, a empresa desempenha funções de anteprojeto.

Por anteprojeto entende-se uma estimativa de tipologia e perfis a aplicar na estrutura pretendida, estando sempre dependentes da elaboração de um projeto oficial por parte de entidades competentes para o efeito.

Deste modo, é possível estimar o custo associado à construção de determinada estrutura, no entanto, aquando da receção do respetivo projeto, é necessário efetuar uma revisão do orçamento apresentado.

O exposto reforça a relevância da elaboração da presente dissertação, visando o incremento de capacidades e competências da empresa e, por conseguinte, da sua competitividade na indústria.

Finalmente, é de salientar que a empresa de acolhimento, no decurso da elaboração desta dissertação, desenvolve o processo de certificação ao abrigo da norma EN1090-2.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo visa a fundamentação de todo o desenvolvimento levado a cabo no decurso da elaboração desta dissertação.
Para tal, inicia-se a revisão bibliográfica com a explicitação das bases a tomar em consideração para o projeto de uma estrutura metálica e posterior orçamentação, fabrico e montagem.

2.1 Bases para projeto de estruturas metálicas

2.1.1 Regulamentação em vigor

No âmbito da análise e projeto de estruturas metálicas, surgem diversos regulamentos que estabelecem as normas aplicáveis em todo o processo inerente, de modo a respeitar os requisitos de dimensionamento e execução das estruturas.
Posto isto, é de salientar que as normas consideradas no âmbito da realização desta tese não remetem apenas para os eurocódigos em vigência, considerando-se outras normas que procuram estabelecer "condições de execução compatíveis com as regras de dimensionamento constantes no EC3" [14].
A tabela apresentada (tabela 1) menciona a principal regulamentação a considerar.

Tabela 1: Regulamentação em vigor

NP EN 1990:2009	Eurocódigo 0 – Bases para o projeto
NP EN 1991-1-1:2009	Eurocódigo 1 – Ações em estruturas Parte 1-1: Ações gerais Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios
NP EN 1991-1-3:2009	Eurocódigo 1 - Ações em estruturas Parte 1-3: Ações gerais Ações da neve
NP EN 1991-1-4:2010	Eurocódigo 1 – Ações em estruturas Parte 1-4: Ações gerais Ações do vento
NP EN 1991-1-5:2008	Eurocódigo 1 – Ações em estruturas Parte 1-5: Ações gerais Ações térmicas
NP EN 1993-1-1:2010	Eurocódigo 3 – Projeto de estruturas de aço Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios

NP EN 1993-1-8:2010	Eurocódigo 3 – Projeto de Estruturas de aço Parte 1-8: Projeto de ligações
NP EN 1998-1:2010	Eurocódigo 8 – Projeto de estruturas para resistência aos sismos Parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios
NP EN 1090-2:2018	Execução de estruturas de aço e de estruturas de alumínio Parte 2: Requisitos técnicos para a execução de estruturas de aço

2.1.2 Tipos de estruturas metálicas

As estruturas metálicas, tal como mencionado previamente, inserem-se em diversos contextos, assumindo as mais variadas formas e finalidades.
Dadas as suas características, entre elas a sua versatilidade e fácil implementação comparativamente a outros tipos de estrutura, este tipo de construção não é apenas funcional, podendo inserir-se no domínio estético e qualificar-se como artística.
Esta qualificação deve-se essencialmente à elevada compatibilidade do aço, que leva à sua conjugação com outros materiais, sendo o vidro um exemplo pertinente.
Neste contexto, exemplos de estruturas como o Museu do Louvre (figura 1) são demonstrativas do seu caráter artístico.
A título de curiosidade, encontra-se em curso a primeira revisão dos eurocódigos, com vista a dar resposta a vários parâmetros, entre eles, o "desenvolvimento de novo eurocódigo para projeto de estruturas em vidro" [14].
Ainda assim, este tipo de estrutura tem sido cada vez menos meramente utilitário, pelo que a sua funcionalidade e vertente estética estão constantemente em consonância.
Tal facto pode ser verificado em estruturas tais como, estádios, pontes, edifícios industriais, entre outros (figura 2).



Figura 1: Museu Louvre [5]



Figura 2: Estádio [3]

2.1.3 Materiais aplicáveis

Na indústria metalomecânica direcionada ao fabrico de estruturas metálicas prevalece a utilização do aço, usualmente designado de aço estrutural.
Como já foi referido, o aço é facilmente conjugável com materiais distintos, tais como, vidro, compósitos, betão (inserindo-se no domínio das estruturas mistas), entre outros [15].

A utilização deste material prende-se com as suas excelentes propriedades mecânicas, entre elas, boa resistência à tração e compressão, boa soldabilidade e elevada ductilidade[4].

Além do mencionado, este tipo de material possui características bastante benéficas a nível ambiental, dado o seu caráter reciclável.

Os aços utilizados em construções metálicas podem variar de classe consoante as suas propriedades, no entanto, prevalece a utilização de aços respeitantes da norma EN10025-2:2007 [17] ,existindo quatro classes distintas, entre elas, S235, S275, S355 e S450, sendo que o valor que sucede a letra "S", remete para o valor de tensão de cedência do material (f_Y), em MPa, nos casos em que a espessura nominal do componente da secção não excede os 40 mm [17].

2.1.4 Principais elementos construtivos

As estruturas metálicas assumem inúmeras tipologias consoante a sua finalidade. No entanto, determinados elementos construtivos, independentemente do formato da estrutura, serão sempre indispensáveis.

Entre eles destacam-se[5] (tabela 2):

[4] A sua elevada ductilidade, derivada do teor em carbono verificado, resulta na excelente maquinabilidade do material, facilitando os processos de corte, furação, quinagem e outros processos de fabrico semelhantes [16] Chiaverini, Vicente, *Aços e ferros fundidos*. ABM, 1977.
[5] Note-se que, neste subcapítulo abordam-se os elementos principais, não considerando as respetivas ligações. A menção a ligações entre elementos e entre pórticos e fundações é efetuada num subcapítulo posterior.

Tabela 2: Elementos construtivos

Elemento construtivo	Descrição
Pilares	Destinados ao suporte das asnas e restantes vigas da estrutura, sendo que, em conjunto, estes elementos adquirem a forma de pórticos bidimensionais, responsáveis pela sustentação de todas as cargas aplicadas na estrutura, de forma direta ou indireta
Vigas[6]	Suportam as madres, as placas de revestimento, cobertura ou pavimento, que por sua vez estão expostas a ações, sejam elas provocadas pela movimentação de pessoas (no caso da estrutura possuir pisos intermédios), condições meteorológicas, entre outras
Madres	Desempenham funções de suporte e fixação de placas de revestimento e cobertura (também podendo suportar e fixar elementos de contraplacado, no caso de pavimentação de pisos intermédios)
Revestimento e cobertura	Assumem a função de "escudo" face a condições externas à estrutura, isolando-a
Contraventamento	Exercem a função de estabilização da estrutura, prevenindo deformações significativas, muitas vezes resultantes da ação do vento, tal como o nome indica

A menção à forma de transmissão de cargas (direta ou indireta) remete para a intervenção de outros elementos construtivos que são solicitados diretamente e, por sua vez, constituem um conjunto de cargas (junção da carga que em si está aplicada com seu peso) que irá atuar sobre o pórtico, por exemplo, o conjunto de madres, cobertura e carga associada às ações externas a atuar nas vigas.

Na figura 3, encontram-se apresentados os elementos construtivos elencados previamente.

[6] É de salientar que pode surgir a necessidade de reforçar a estrutura, mais comumente, as asnas dos pórticos existentes, através da implementação de treliças, que permitem auxiliar o suporte de cargas ou ações aplicadas elevadas, conferindo maior estabilidade à estrutura.

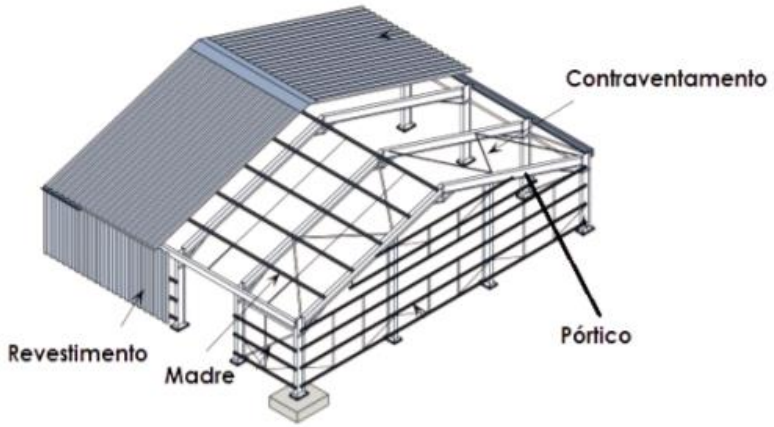


Figura 3: Elementos Construtivos [7]

2.1.5 Tipos de ligações

Sendo conhecidos os elementos de construção primários, é essencial proceder-se ao estudo das ligações entre si, bem como das ligações entre a estrutura e fundações onde a estrutura será fixada.
Deste modo, analisam-se os dois conceitos separadamente.

2.1.5.1 Ligações entre elementos metálicos

As ligações têm como objetivo unir diferentes constituintes da estrutura metálica.
Posto isto, devem ser acopladas aos respetivos elementos através do método mais rentável, seguro e que garanta o mínimo de interferência com a estabilidade e propriedades de cada peça envolvente.
Deste modo, apresentam-se os diferentes tipos de ligações entre elementos[7].

2.1.5.1.1 Parafusos e Ligações aparafusadas

As ligações aparafusadas são usualmente precedidas por processos de soldadura, sendo que estas são soldadas a um elemento metálico em oficina para, posteriormente, ser possível efetuar a união do conjunto obtido com outro elemento através de aparafusamento em obra.
Noutras situações não surge obrigatoriamente a necessidade de soldadura prévia, destacando-se as ligações aparafusadas entre vigas ou pilares (emendas de vigas ou pilares).

[7] Note-se que, a apresentação dos tipos de ligações separadamente, não obriga a uma aplicação individualista, isto é, o caso mais usual é a conjugação de mais do que um tipo de ligação na mesma estrutura, sendo que o mais comum remete para ligações soldadas em oficina e posterior aparafusamento em obra.

Um exemplo demonstrativo desta situação remete para valores de comprimento de viga ou pilar que excedem o limite máximo estabelecido, seja por restrições para processos de tratamento superficial[8] ou de transporte[9].
Embora este tipo de ligação se qualifique como sendo mais fácil e requeira menor qualificação da mão-de-obra, também acarreta algumas desvantagens[10].
Entre elas destaca-se o maior custo associado, devido ao processo de furação e utilização de parafusos, bem como, o enfraquecimento da peça resultante da furação efetuada [9].

É de notar que, para o dimensionamento da ligação é necessário, primeiramente, compreender os tipos de solicitações a que esta se encontra sujeita, pelo que as ligações aparafusadas se dividem por categorias diretamente relacionadas com os esforços aplicados [18].
Aquando da submissão da ligação e respetivos parafusos aos esforços elencados, podem surgir diversos modos de rotura, presentes na figura 4:

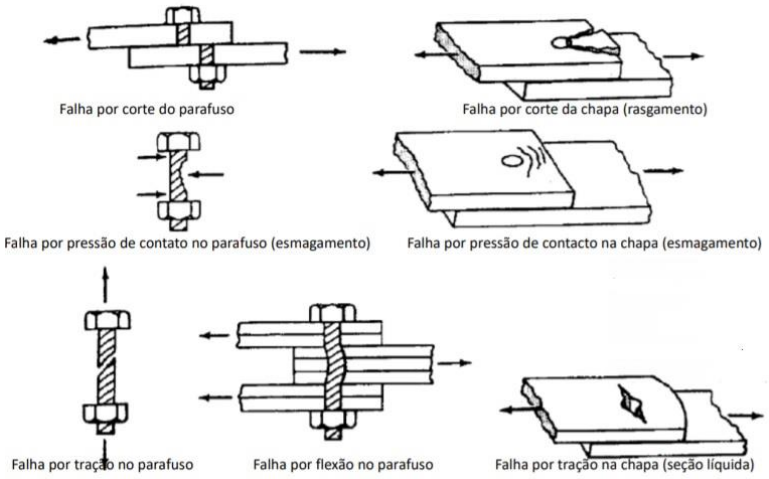


Figura 4: Modos de rotura [9]

2.1.5.1.2 Soldadura e Ligações soldadas

No âmbito da execução de uma estrutura metálica, é possível afirmar que a soldadura se trata de um processo de ligação entre elementos metálicos bastante usual, dado que este processo constitui a melhor opção para a junção de peças de geometria complexa e para casos de obtenção de maior rigidez na ligação [11].

[8] Usualmente, no caso da galvanização dada a dimensão dos tanques de zinco.
[9] Especifica-se o caso de transporte marítimo em contentores, que obriga à divisão do perfil em elementos de comprimento menor.
[10] Estas desvantagens revertem para uma utilização de ligações aparafusadas mais predominante em contexto de montagem, sendo que na vertente de fabrico prevalece o recurso a ligações soldadas, sempre que possível e justificável.

Este qualifica-se como um processo dispendioso que envolve práticas de inspeção e certificação regulares.
É também essencial compreender os tipos de cordão soldadura previstos no EC3 Parte 1-8, sendo estes:

- Cordão de soldadura em contornos arredondados (iv);
- Cordão de soldadura de ângulo em contorno de orifícios (i);
- Cordão de soldadura de topo (ii);
- Cordão de soldadura de bujão;
- Cordão de soldadura de ângulo (ângulo descontínuo[11]).

Alguns exemplos de tipos de cordão de soldadura apresentam-se na figura 5.

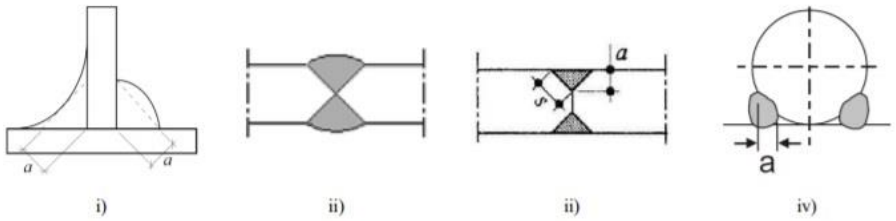


Figura 5: Exemplos de tipos de soldadura [11]

2.1.5.2 *Ligações entre pórticos e fundações*

As ligações entre pórticos e fundações podem assumir duas tipologias, encastrada ou articulada. Nas figuras 6 e 7 ilustra-se os dois tipos distintos.

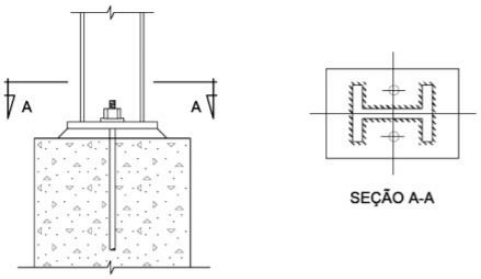


Figura 6: Ligação de base articulada [8]

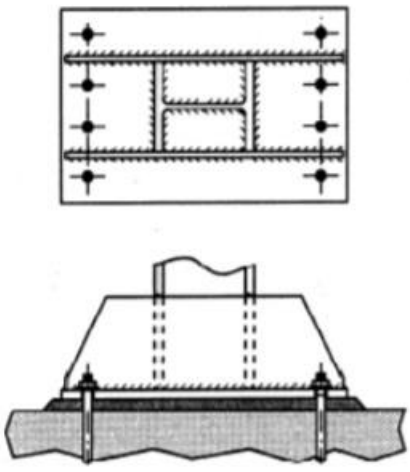


Figura 7: Ligação de base encastrada [8]

No caso da ligação encastrada verifica-se, através das devidas técnicas de dimensionamento, que a estabilidade associada a este tipo de ligação é bastante

[11] O processo associado a este tipo de soldadura não é adequado para ambientes corrosivos.

elevada e resulta na diminuição de perfis comparativamente à utilização de ligações articuladas, conferindo-lhe um caráter menos dispendioso.
No entanto, numa perspetiva menos local e focada no setor metalomecânico, é necessário ter em consideração os custos assumidos pela globalidade da construção.
Isto é, na situação das ligações encastradas, embora revertam para perfis mais esbeltos pelo aumento da sua rigidez e, consequentemente, menos dispendiosos, estas requerem maior investimento e reforço das fundações em betão. Deste modo, agravam-se os custos do setor de construção civil, tornando a globalidade do projeto mais dispendiosa.

Posto isto, a ligação articulada predomina em detrimento da ligação encastrada, visto que reduz mais eficazmente os custos a nível de fundações em betão, e não agrava severamente os custos associados à construção metálica [19].

2.1.6 Soluções construtivas – Tipos de Pórticos

Uma vez apresentados os principais elementos construtivos e respetivas ligações, resta apenas apresentar os tipos de estruturas existentes, elencando-se quatro tipos distintos, entre eles [1]:

- Estrutura viga-coluna de quadro fixo (vigas simplesmente apoiadas);
- Estruturas em arco;
- Estruturas fixas por cabos;
- Estruturas rígidas.

2.1.6.1 Estruturas Viga-Coluna de quadro fixo

Estruturas viga-Coluna de quadro fixo remetem para a implementação de vigas sem inclinação, apoiadas nos respetivos pilares nas suas extremidades [20].
Este tipo de construção é mais vulnerável à ação do vento dada a sua tipologia, pelo que sistemas de contraventamento são imperativos nestas situações[12].
Quanto ao sistema de vigas, existem várias opções pelas quais é possível optar, entre elas [1]:

- Perfis “I” laminados a quente[13];
- Vigas de placa;
- Vigas com aberturas/orifícios localizados;
- Treliças planas.

[12] Estes sistemas são usualmente compostos por perfis tubulares.
[13] Aplicação mais comum, seguida da solução de treliças planas, que se qualifica como mais dispendiosa.

As características associadas a cada solução apresentam-se na tabela 3 [1].

Tabela 3: Características de soluções construtivas

Solução	Características
Perfis "I" laminados a quente	Vão até 20 metros
Vigas de placa	Vão até 100 metros
Vigas com aberturas/orifícios localizados	Vão limitado a 50 metros Redução de peso até 30%
Treliças planas	Vão até 50 metros

As figuras 8 e 9 explicitam exemplos de estruturas deste tipo, bem como as respetivas soluções de viga.

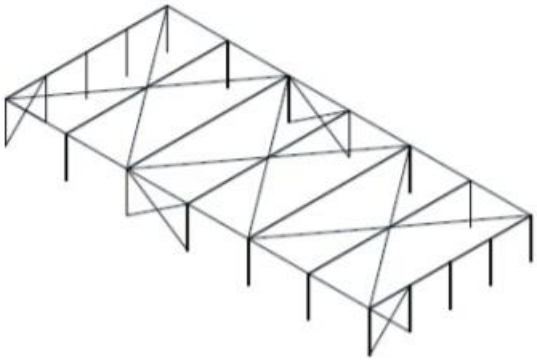


Figura 8: Exemplo de pórtico [6]

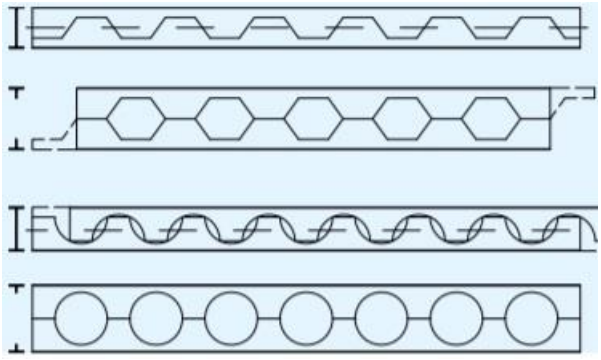


Figura 9: Soluções de Viga [1]

2.1.6.2 Estruturas em arco

As estruturas em arco (figura 10) consistem, essencialmente, na aplicação de vigas sujeitas ao processo de calandragem, que permite a obtenção de perfis "I" deformados, atingindo o formato pretendido (arco), para diferentes raios estabelecidos.

Os vãos associados a este tipo de construção podem atingir 50 metros, no entanto, é fulcral garantir ligações e pilares que garantam a resistência da estrutura aos esforços de compressão impostos pela viga [1] [20].

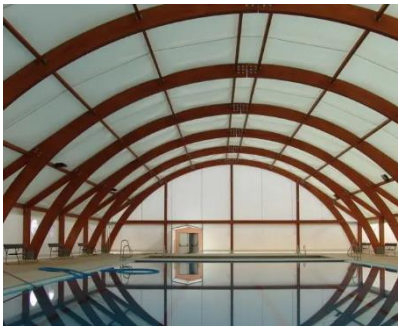


Figura 10: Estrutura em arco [4]

2.1.6.3 *Estruturas fixas por cabos*

A solução de fixação da estrutura por cabos (figura 11) surge, maioritariamente, com o intuito de reforçar e/ou estabilizar uma estrutura[14].
É bastante usual a conjugação de cabos com estruturas tubulares, isto é, os pilares da estrutura suportados por cabos são, comumente, tubos redondos.
Um facto também relevante neste contexto, a nível económico, remete para a utilização preferencial de comprimentos de cabo compreendidos entre 30 e 90 metros, com vista a assegurar a rentabilidade do método construtivo [1].



Figura 11: Estrutura fixa por cabos [2]

2.1.6.4 *Estruturas rígidas*

As estruturas rígidas remetem para estruturas que possuem elementos de ligação rígidos (ligações aparafusadas ou soldadas, por exemplo) entre os seus constituintes principais, nomeadamente, vigas e pilares.
A parte superior deste tipo de estrutura consiste em vigas inclinadas que se suportam mutuamente ou treliças, aliviando significativamente a distribuição de carga para a mesma e para os restantes elementos, entre eles, os pilares [1].
Posto isto, apresentam-se os dois tipos distintos de pórticos (figuras 12 e 13), sendo estes:

- Pórticos de vigas inclinadas (*Portal Frame*);
- Pórticos treliçados.

[14] Note-se que, este tipo de suporte deve ser cuidadosamente planificado, dado que os cabos devem estar fixos em pontos estratégicos.

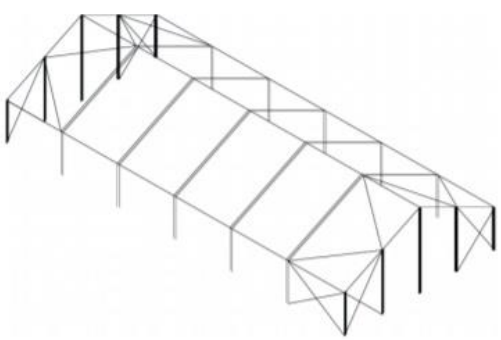


Figura 12: Pórtico de vigas inclinadas [10]

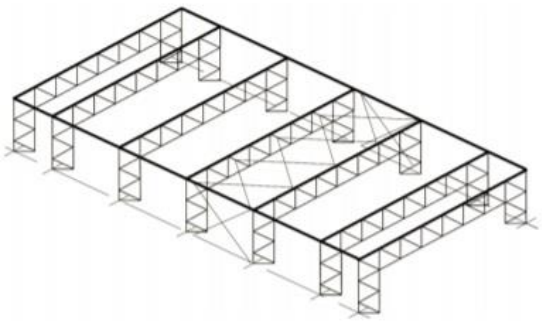


Figura 13: Pórtico treliçado [10]

Os pórticos elencados permitem, essencialmente, vencer vãos de elevado comprimento, tratando-se de um fator que se qualifica como uma mais-valia no mercado de construção, dado que não surge a necessidade de existência avultada de pilares para suporte da estrutura.

2.2 Parâmetros de análise e dimensionamento da estrutura metálica

Com vista a proceder a uma correta análise e dimensionamento da estrutura metálica em estudo no âmbito desta dissertação, estabelecem-se os parâmetros base para o cumprimento da sua finalidade, durante um período de vida útil pré-estabelecido[15].

2.2.1 Propriedades dos materiais aplicáveis

As propriedades do material exercem influência direta em fatores tais como, a seleção de perfis estruturais e ligações metálicas, bem como o respetivo comportamento aquando da sua sujeição a diferentes solicitações.
No caso do aço, os valores nominais a tomar em consideração remetem, essencialmente, para a tensão de cedência, f_y, e tensão última, f_u.
Estes valores variam consoante a classe do material e espessura nominal (t) do componente da secção em análise [17].
As restantes propriedades assumem valores nominais pré-estabelecidos, entre eles:

- Módulo de elasticidade (E): 210 000 N/mm^2 [17];
- Módulo de corte[16] (G): 81 000 N/mm^2 [17];
- Coeficiente de *Poisson* em regime elástico (v): 0,3 [17];

[15] Note-se que, "o valor característico das ações climáticas baseia-se na probabilidade de 0,02 de ser excedida a sua parte variável no tempo durante um período de referência de um ano. Tal é equivalente, para a parte variável no tempo, a um período médio de retorno de 50 anos. Porém, em certos casos, a natureza da ação e/ou situação de projeto pode implicar outro quantilho e/ou período de retorno, mais apropriados" [21] (2009). *NP EN 1990 Eurocódigo - Bases para o projecto de estruturas*.
[16] Valor aproximado.

- Coeficiente de dilatação térmica linear (α): $12\times 10^{-6}\ \mathrm{K}^{-1}$, para Temperatura $\leq$ 100 ℃ [17].

2.2.2 Qualificação de ações

No presente subcapítulo procura-se apresentar as diferentes ações a que uma estrutura metálica se encontra submetida e, para tal, analisa-se os pressupostos constantes no Eurocódigo 1, que se encontra estruturado em partes distintas consoante cada tipo de ação a considerar[17].
Ora, primeiramente é essencial destacar quais os tipos de ações a considerar, de acordo com a sua origem, classificando-as do seguinte modo [22]:

- Ações permanentes;
- Ações variáveis;
- Ações acidentais.

2.2.2.1 Ações permanentes

As ações permanentes consistem na aplicação de cargas associadas à própria estrutura que se mantêm aproximadamente constantes ao longo do tempo, partindo-se do princípio de que esta se manterá inalterada ao longo do seu tempo de vida útil estipulado (50 anos) [21] [23].
Posto isto, no que lhes concerne, estas remetem para o peso próprio da estrutura e englobam os seguintes casos de carga:

- Peso de elementos estruturais;
- Peso de elementos não estruturais.

Para uma análise correta, é importante deter o conhecimento prévio de todos os elementos que se pretende implementar na estrutura e respetivas propriedades, nomeadamente, do aço que os constitui.
Posto isto, esclarece-se que o peso de elementos estruturais remete para as vigas e pilares que constituem a estrutura principal, sendo que o peso de elementos não estruturais, engloba todos os restantes constituintes acrescidos à mesma, entre eles, revestimento, madres, corrimãos de escadas, contraplacado, equipamentos de pontes, entre outros [24].

[17] As partes mencionadas encontram-se dispostas no subcapítulo “Regulamentação em vigor”.

2.2.2.2 Ações variáveis

Contrariamente ao caso das ações permanentes, as ações variáveis, tal como o nome indica, variam consoante as condições a que a estrutura está submetida e o comportamento dos seus elementos não estruturais face às mesmas [23].
Ora, exemplos de ações variáveis são [22]:

- Ação do vento (W);
- Ação da neve (S);
- Ação da sobrecarga (Q);
- Ação térmica (T);
- Ação sísmica (Si).

Designam-se de ações variáveis dado o seu caráter transitório que não apresenta sempre a mesma intensidade, frequência ou até mesmo, existência (no caso do vento e da neve) pelo que, é necessário estabelecer as condições mais críticas que estas assumem, dado que a estrutura deve ser dimensionada consoante o cenário mais desfavorável.

2.2.2.2.1 Ação do vento

A ação do vento é de elevado relevo, dado que grande parte dos colapsos associados a estruturas metálicas se devem à atuação deste fenómeno meteorológico, logo, é essencial efetuar a previsão da sua atuação e respetiva intensidade de modo a garantir um dimensionamento resistente à mesma.
É também importante compreender que a quantificação desta ação depende diretamente da zona geográfica em que se localiza a construção planificada bem como a rugosidade associada ao terreno de construção, sendo possível determinar fatores tais como, a velocidade estimada do vento e a pressão dinâmica que este exerce sobre a estrutura [25].

2.2.2.2.2 Ação da neve

A ação da neve consiste numa ação mais localizada aquando da sua comparação com a ação do vento, isto é, este fenómeno meteorológico é mais predominante em zonas propícias à sua existência.
No caso de Portugal Continental, a sua atuação será mais crítica em distritos sitos no interior do país, em que se verificam temperaturas mais baixas, não sendo comum em zonas costeiras. Ainda assim, a consideração da sua existência deve ser efetuada, embora não se qualifique como predominante comparativamente às restantes[18].

[18] Esta consideração vigora na combinação de ações (a abordar posteriormente) que avalia a predominância de cada ação.

Posto isto, tal como no caso da ação do vento, distinguem-se zonas geográficas para a contemplação desta ação, tendo por base fatores tais como a altitude a que se encontra o local de obra[19] [26].

2.2.2.2.3 Ação da sobrecarga

Quanto à ação associada à sobrecarga, considera-se as cargas associadas à utilização da estrutura, sendo que, logicamente, é necessário primeiramente estabelecer a finalidade da estrutura de modo a determinar quais as solicitações previstas.
Conforme as solicitações resultantes da utilização da estrutura, esta é inserida em categorias pré-estabelecidas e previstas nas normas vigentes.
Estas englobam estruturas destinadas a habitação, escritórios, reunião de pessoas, comércio, armazenamento e tráfego de veículos. Numa situação mais simples, considera-se apenas uma estrutura sujeita à sobrecarga da cobertura, que não engloba qualquer movimentação, excetuando casos de reparo ou manutenção[20] [24].

2.2.2.2.4 Ação térmica

Esta vertente das ações variáveis, a ação térmica, remete para a avaliação das variações de temperatura verificadas nos elementos estruturais[21].
Para a sua quantificação é necessário considerar as variações climáticas e sazonais (Origem climática), bem como, as condições de exploração da estrutura (Origem operacional) [27].
Ora, tal como a designação indica, as variações climáticas e sazonais remetem para alterações de temperatura que ocorrem ao longo do ano em várias zonas demográficas.
Deste modo, mais uma vez, distinguem-se zonas geográficas consoante os picos de temperatura mais acentuados, considerando duas épocas distintas que constituem as condições de Inverno e condições de Verão [27].
Relativamente às ações resultantes das condições de exploração da estrutura, consideram-se os efeitos térmicos provenientes do funcionamento de chaminés, silos, equipamentos de aquecimento e ventilação, entre outros.

2.2.2.3 Ações acidentais

Ações acidentais consistem em ações não mensuráveis e imprevisíveis, sendo apenas possível aplicar medidas preventivas para a eventualidade de ocorrência de ações deste teor.
Como situações exemplificativas deste tipo de ação, destacam-se:

[19] Altura acima do nível médio do mar.
[20] Edifícios de um piso.
[21] Note-se que este tipo de variação de temperatura não engloba situações de exposição ao fogo.

- Impacto de veículos;
- Explosões de gás;
- Deslizamento de terras;
- Atos terroristas.

Como consequência deste tipo de atuação inesperada, surgem conceitos tais como, o colapso progressivo que consiste na perda de resistência local da estrutura, que leva, consequentemente, ao colapso parcial ou total da mesma [28].
Mais ainda, é de cariz fulcral garantir a ductilidade da estrutura, de modo a garantir a capacidade de suporte de grandes deformações, sem implicar imediatamente o colapso da mesma [28].

2.2.2.4 Ações sísmicas

A análise de ações de caráter sísmico vigora no Eurocódigo 8 e permite efetuar a avaliação e quantificação de ações deste teor para a correta projeção da estrutura.
Para tal, a estrutura deve ser projetada de modo a respeitar dois requisitos distintos e previstos na norma supramencionada, entre eles o requisito de não ocorrência de colapso e o requisito de limitação de danos [29] [30].
Para tal, é essencial garantir parâmetros tais como, simplicidade estrutural, uniformidade estrutural[22] e simetria estrutural [29].

2.2.3 Combinações de ações

As combinações de ações consistem, tal como o nome indica, na combinação entre as várias ações a considerar como solicitações externas à estrutura projetada.
A sua consideração consiste em vários cenários hipotéticos que estudam quais as ações preponderantes no dimensionamento da estrutura.
Ora, isto remete para o caráter geral da análise a efetuar, isto é, nenhuma ação pode ser considerada de modo individualista ou exclusivo, dado que é o culminar de todas as solicitações que dita qual a resistência a garantir.
Portanto, com vista à verificação dos critérios ELS e ELU previamente mencionados, analisam-se várias hipóteses, definindo para cada hipótese uma ação de base, isto é, a ação que se toma como preponderante neste cenário, sendo as restantes classificadas como ações variáveis e permanentes[23].

[22] Uma das medidas implementadas com vista à obtenção de uniformidade na estrutura remete para a projeção de unidades dinamicamente independentes, em casos de construções com várias unidades interligadas. Esta projeção é possibilitada pela utilização de juntas sísmicas.
[23] Esta distinção efetua-se no subcapítulo "2.2.2" referente à qualificação de ações.

Finda a execução de todas as hipóteses, determina-se qual a combinação que confere um caráter mais crítico à análise em curso, sendo o seu valor aquele que se engloba no dimensionamento a efetuar [9].
As combinações são essencialmente cálculos numéricos em que converge toda a informação apresentada acerca das diferentes ações a considerar, sendo que o seu desenvolvimento se encontra descrito posteriormente na dissertação.

2.3 Métodos de análise e dimensionamento da estrutura metálica

O método mais comum para verificação de estabilidade de estruturas metálicas baseia-se numa análise de esforços e posterior aplicação de fórmulas de verificação.
Posto isto, e finda a apresentação de todos os parâmetros sustentadores da análise e dimensionamento da estrutura metálica, é possível a apresentação dos diferentes métodos para a sua análise e verificação.

2.3.1 Método dos Elementos Finitos (MEF)

A verificação da estabilidade de uma estrutura metálica baseia-se na consideração dos métodos de análise e verificação apresentados nos subcapítulos posteriores.
No entanto, existem ferramentas computacionais que permitem a sua aplicação de um modo significativamente mais simples e rápido.
Estas ferramentas recorrem ao método dos elementos finitos, aplicável a estruturas com elevado grau de complexidade [31].

O método dos elementos finitos consiste na "obtenção de soluções numéricas de problemas de engenharia como análise de tensões, temperaturas, escoamento de fluidos e aerodinâmica, eletromagnética e eletrónica, entre outros" [32].
O seu princípio de funcionamento consiste na divisão da estrutura em elementos, conduzindo à formação de uma malha[24] de elementos finitos, delimitados e constituídos por nós[25].

Para tal, existem diversos fatores contributivos para a qualidade dos resultados, bem como o tempo de cálculo e de esforço computacional, entre eles [31]:

- Discretização da malha;
- Forma da malha e transição entre malhas distintas;
- Tipo e grau de interpolação do elemento finito;
- Escolha do critério de convergência[26].

[24] Quanto mais refinada for a malha (resultante da subdivisão do elemento), maior é a aproximação à realidade.
[25] Um nó remete para um ponto do elemento em que as variáveis de campo são calculadas pelo MEF, através do sistema de equações global.

Finalmente, para aplicação do MEF, com o avanço das tecnologias, destacam-se ferramentas destinadas à aplicação deste método, entre elas, *Ansys*, *Autodesk*[27], *Algor* e *Abaqus*.

2.3.2 Análise estrutural

2.3.2.1 Análise linear

A análise linear de uma estrutura não assume a linearidade das suas grandezas, mas sim a linearidade das equações que as englobam [33].
Posto isto, este tipo de análise aplica-se a teorias distintas, entre elas, a teoria da elasticidade e as teorias estruturais (Teoria das peças lineares[28] e Teoria de peças laminares[29]) [33].
No que concerne a teoria da elasticidade, admitem-se condições de fronteira de modo a garantir o impedimento de movimentos de corpo rígido, dado que esta análise não assume deformações consideráveis, tratando-se de uma teoria usualmente aplicável a diversas situações de estudo [34].
No tocante às teorias estruturais, inclui-se o método das forças para análise da estrutura, que engloba todos os esforços a que a estrutura se encontra sujeita (transverso, axial e momento fletor), aplicando-se o princípio da sobreposição, que consiste na combinação das respostas lineares da estrutura a todas as ações exteriores a que se encontra sujeita.
O balanço final da aplicação de uma das teorias elencadas resulta numa solução única e final[30].
Mais ainda, em conformidade com o conteúdo já descrito, a presente análise é frequentemente efetuada recorrendo ao método de elementos finitos, que agiliza significativamente todo o procedimento de cálculo.

2.3.2.1.1 Efeitos de 1ª ordem

No que concerne os efeitos de 1ª ordem, é importante saber que estes apontam para uma análise que toma em consideração a posição indeformada de uma estrutura, isto é, a sua geometria inicial [17].

[26] Consoante a não linearidade do problema.
[27] Destaca-se o *software Robot Structural Analysis*, da plataforma *Autodesk*, sendo a ferramenta de análise dimensional aplicada nesta dissertação.
[28] Vigas e estruturas reticuladas.
[29] Placas, lajes ou cascas.
[30] Por outro lado, na análise não linear existe uma infinidade de soluções.

Esta consideração assume que as deformações afetas à estrutura são de cariz menosprezável, não afetando a estabilidade da estrutura, algo que não corresponde totalmente à realidade, podendo, nalguns casos, verificar-se.
Embora qualquer estrutura assuma deformações, por exemplo, a flecha a si associada, este tipo de efeito e consequente análise não se revela inadequado, uma vez que é usualmente aplicado como método de projeto [33].

2.3.2.2 Análise não linear

A análise não linear, dada a abordagem mais abrangente que esta assume, é significativamente mais complexa que a análise linear.
Esta consiste na consideração de dois tipos principais de não linearidade, entre eles, a não linearidade física (do material) e a não linearidade geométrica [17].
A não linearidade física remete para situações em que as tensões ou esforços aplicados não dependem linearmente das deformações (por exemplo, defeitos induzidos na peça aquando do seu fabrico), remetendo para o domínio da análise elasto-plástica [17] [35].
Por outro lado, a não linearidade geométrica assume geometrias não lineares, resultando numa relação não linear entre deslocamentos e deformações [17].

2.3.2.2.1 Efeitos de 2ª ordem

No contexto da não linearidade geométrica, surgem os efeitos de 2ª ordem, que visam a análise da estrutura com base na sua posição deformada, sendo que, as deformações possuem um caráter de relevo para a estabilidade da estrutura [17].

- **Efeitos Globais (P-Δ)**

Os efeitos globais resultam diretamente dos deslocamentos relativos das extremidades dos elementos solicitados, isto é, do topo dos membros.
Ora, aplicada uma força P, induz-se um deslocamento das extremidades da estrutura.

- **Efeitos Globais (P-δ)**

Os efeitos locais resultam das deformações ao longo do comprimento do elemento solicitado.
Contrariamente aos efeitos globais, a força P resulta diretamente na deformação do elemento ao longo do seu comprimento, tratando-se do domínio da deformação.

Tal como se poderá verificar no caso das imperfeições locais, os efeitos locais podem ser suprimidos na análise através da verificação de estabilidade, prevista no subcapítulo 6.3 da norma NP EN 1993-1-1:2010.

2.3.2.2.2 Imperfeições Geométricas

No decurso da análise estrutural a efetuar, deve-se ter em consideração a possibilidade de imperfeições geométricas da estrutura ou elementos, que resulte em alterações nos esforços da estrutura e posterior resposta aos mesmos.
Estas imperfeições dividem-se em dois tipos:

- Imperfeições Globais[31];
- Imperfeições Locais.

As imperfeições globais remetem para a forma de inclinação lateral inicial das colunas de um pórtico, sendo que as imperfeições locais remetem para as deformadas iniciais dos seus elementos.

- **Imperfeições Globais**

De acordo com o estipulado no Eurocódigo 3, as imperfeições globais geométricas podem ser contabilizadas através de dois métodos, sendo estes:

- Desvio de verticalidade dos pilares do pórtico;
- Sistema de forças horizontais equivalentes.

No caso do desvio de verticalidade, simula-se a inclinação dos pórticos, procurando representar a imperfeição equivalente inicial, para posterior consideração na análise estrutural.

No que concerne o sistema de forças horizontais equivalentes, no caso de não se pretender optar pela opção já apresentada, considera-se a aplicação de forças equivalentes horizontais, proporcionais às cargas verticais já existentes, de modo a simular o comportamento a nível de deslocamentos da estrutura.

[31] Note-se que, as imperfeições globais podem ser consideradas nos pórticos e nos sistemas de contraventamento, de acordo com o disposto no subcapítulo 5.3 da norma NP EN 1993-1-1:2010.

- **Imperfeições Locais**

No tocante às imperfeições locais, estas são referentes às deformações locais verificadas em determinado elemento.
Tal como no caso das imperfeições globais, as imperfeições locais podem ser consideradas através de dois métodos distintos:

- Deformada inicial dos elementos;
- Sistema de forças horizontais equivalentes.

De modo análogo ao tipo de imperfeição global, no caso do método de deformada inicial dos elementos, simula-se uma curvatura inicial no elemento, sendo este considerado para análise com uma posição já deformada.
Relativamente ao sistema de forças horizontais equivalentes, tal como no caso das imperfeições globais, procede-se à aplicação de forças representativas da deformação expectável no elemento.

Note-se que, no caso de exclusão das imperfeições locais na análise estrutural, estas são consideradas através da verificação de estabilidade, prevista no subcapítulo 6.3 da norma NP EN 1993-1-1:2010.

2.3.2.3 Tipos de análise estrutural

Apresentados os tipos de efeito e análise vigentes no âmbito das estruturas, conclui-se a existência de quatro tipos de análise possíveis.
Estes tipos segregam-se de acordo com o efeito vigente, a linearidade ou não linearidade e o regime em que se enquadram (plástico ou elástico), dividindo-se do seguinte modo [36]:

- Análise elástica de 1ª ordem (linearidade geométrica e física);
- Análise elástica de 2ª ordem (não linearidade geométrica e linearidade física);
- Análise elasto-plástica de 1ª ordem (linearidade geométrica e não linearidade física);
- Análise elasto-plástica de 2ª ordem (não linearidade geométrica e física).

O comportamento verificado na curva carga-deslocamento associado a cada tipo de análise encontra-se previsto na figura 14, verificando-se que desde a primeira análise elencada até à última, existe uma convergência direcionada ao comportamento real de uma estrutura [37].

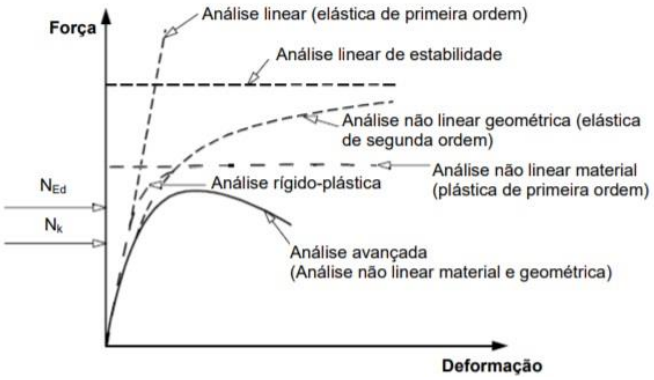


Figura 14: Gráfico Força-Deformação [6]

No que concerne as análises estruturais existentes, estas devem estar sempre em consonância com a verificação de critérios de resistência previstos no critério ELU, em simultâneo com os critérios de utilização presentes no critério ELS.

O critério ELS, embora muitas vezes negligenciado nas análises estruturais correntes, deve ser sempre verificado, visando a garantia de conforto dos seus utilizadores, de durabilidade da estrutura e respetiva aparência.
No tocante ao critério ELU, na maioria das análises estruturais existentes, verifica-se a estabilidade da estrutura (resistência à encurvadura), bem como a resistência das secções transversais.
No entanto, a análise de estabilidade pode ser incorporada à priori na análise estrutural efetuada, conforme a respetiva complexidade.
Por complexidade, entende-se uma análise geométrica e fisicamente não linear, considerando efeitos de 2ª ordem[32]. Este tipo de análise, caso englobe a consideração de imperfeições globais e locais, bem como, efeitos de 2ª ordem globais e locais, dispensa a verificação de estabilidade, dado que a possibilidade de encurvadura já se encontra em análise na consideração de efeitos e imperfeições locais [33].

2.3.2.4 Comparação entre análises linear e não linear

As análises que se encontram descritas no subcapítulo 2.3.2.3, remetem para as abordagens mais comuns entre análises estruturais, sendo estas segregadas conforme parâmetros em consideração, na Tabela 4.

[32] Análise plástica de 2ª ordem.
[33] Informação constante no subcapítulo 5.2.2, ponto 5, alínea b, da norma NP EN 1993-1-1:2010.

Tabela 4: Comparação de análises

Tipo de estrutura	Estruturas sem deslocamento lateral	Estruturas com deslocamento lateral
Tipo de Análise	Análise Linear (1ª ordem)	Análise Geometricamente Não Linear (2ª ordem)
Consideração de imperfeições globais	Sim	Sim
Consideração de imperfeições locais	Não	Não
Consideração de efeitos globais (P-Δ)	Não	Sim
Consideração de efeitos locais (P-δ)	Não	Não
Verificação de Critério ELU	• Verificação de resistência dos elementos à encurvadura (estabilidade) • Verificação de resistência das secções transversais	
Verificação de Critério ELS	• Verificação de conforto dos utilizadores, da aparência e durabilidade da estrutura.	

De acordo com o descrito no subcapítulo prévio, apenas no caso de análise geométrica e fisicamente não linear, considerando efeitos de 2ª ordem globais e locais, bem como, as imperfeições globais e locais, é que se dispensa a verificação dos parâmetros de resistência à encurvadura, previstos no subcapítulo 6.3 da norma NP EN 1993-1-1:2010, dado que a análise efetuada se considera suficiente para a verificação de estabilidade da estrutura[34].

Ora, as análises presentes na tabela 4, não dispõem do mesmo nível de complexidade, pelo que, em ambas as análises deve-se efetuar a verificação de resistência dos elementos à encurvadura (estabilidade), de resistência das secções transversais, e dos requisitos impostos pelo critério ELS.

No seguimento do exposto, a análise de 1º ordem não engloba a consideração de imperfeições locais, nem efeitos locais e globais de 2ª ordem, sendo apenas efetuada a verificação de resistência à encurvadura, prevista no subcapítulo 6.3 da norma NP EN

[34] Note-se que, embora a análise mencionada seja a mais completa, não se dispensa a verificação da resistência das secções transversais (ELU) ou do imposto pelo critério ELS.

1993-1-1:2010, e consideradas as imperfeições globais, se possível, através da substituição de imperfeições iniciais por forças horizontais equivalentes[35].

Mais ainda, no tocante à análise geometricamente não linear apresentada, com efeitos de 2ª ordem em consideração, não se abordam as imperfeições e efeitos de 2ª ordem locais, dado que se encontram previstos na verificação constante no subcapítulo 6.3 da norma NP EN 1993-1-1:2010, sendo consideradas as imperfeições globais[36] e efeitos de 2ª ordem globais, através do método de elementos finitos, explicado no subcapítulo 2.3.3.

2.3.3 Critérios ELU e ELS

Os critérios ELU e ELS correspondem, respetivamente, aos estados limite últimos e estados limite de serviço ou utilização da estrutura metálica, sendo que remetem para condições base a respeitar pelo projetista aquando do dimensionamento de uma estrutura metálica e respetivos componentes.
Ora, a verificação dos estados limite da estrutura constitui também um método de garantia de tempo de vida útil de projeto, que no caso em estudo, deve ser correspondente a 50 anos[37] [21].

2.3.3.1 Critério ELU

O presente critério, tal como enunciado previamente, designa-se de Estado Limite Último e, tal como o nome indica, estabelece o limite a partir do qual se verifica perda de resistência ou estabilidade[38] da estrutura, pelo que, é essencial o cumprimento escrupuloso dos seus requisitos [21] [38].
Este critério estuda a atuação do esforço normal (N), esforço transverso (V) e momento fletor (M).

Dado o exposto, todos os esforços enunciados são determinados de acordo com os parâmetros de dimensionamento pré-determinados, sendo comparados aos valores admissíveis que a estrutura assume para cada esforço.
Esta comparação designa-se de verificação de critério, sendo que, caso não se verifique uma ou mais das parcelas impostas pelo mesmo, o projeto deverá ser reformulado, visando os limites admissíveis.

[35] Subcapítulo 5.3.2, ponto 6, da norma NP EN 1993-1-1:2010.
[36] Também determinadas através de forças horizontais equivalentes, previstas no subcapítulo 5.3.2, ponto 6, da norma NP EN 1993-1-1:2010.
[37] O período de vida útil mencionado consta no Quadro 2.1 da norma NP EN 1990:2009, inserindo-se na categoria 4, referente a estruturas de edifícios e outras estruturas correntes.
[38] Por estabilidade entende-se resistência à encurvadura.

2.3.3.2 Critério ELS

O presente critério, designado de estado limite de serviço ou utilização remete para a verificação de eventual perda de rigidez da estrutura, dependendo da análise dos deslocamentos associados à mesma, inserindo-se no domínio da análise de deformação [21] [38].
Por deslocamentos entende-se a deformação em "x" e em "y", que remetem, respetivamente, para o deslocamento lateral verificado na estrutura, associado à sua oscilação e para o deslocamento vertical da estrutura, mais comumente designado de flecha, resultante da carga suportada pelas vigas estruturais

Mais uma vez, a verificação dos parâmetros impostos pelo critério remete para a comparação entre os valores verificados aquando da solicitação da estrutura com os valores admissíveis estipulados, sendo que, na eventualidade de um dos parâmetros não cumprir os requisitos impostos, é necessário proceder a alterações na estrutura projetada, recalculando os respetivos critérios.

2.4 Conceitos e técnicas de orçamentação

No seguimento da orçamentação solicitada pela empresa que acolhe a presente dissertação, para a estrutura projetada, é necessário compreender o conteúdo que sustenta a sua elaboração.
A orçamentação consiste, essencialmente, na quantificação de todos os materiais e recursos necessários à execução e montagem de uma estrutura metálica, incluindo a margem de lucro estabelecida pela entidade.

Todos os parâmetros considerados coexistem com a determinação de prazos de execução, que uma vez estabelecidos, devem ser cumpridos rigorosamente, dado que o seu incumprimento pode acarretar custos indemnizatórios.
Usualmente, estrutura-se a orçamentação em duas fases distintas [39]:

- Fase de medição (quantificação de matéria-prima, através de mapa de quantidades do projeto[39]);
- Fase de orçamentação (atribuição de preços e estimativa de prazos).

Ora, neste contexto é necessário considerar todos os custos associados à construção planificada, dividindo os mesmos em três categorias distintas:

[39] Note-se que, quando o projeto é fornecido por uma entidade externa à empresa responsável pelo fabrico e posterior montagem, requer-se uma elaboração meticulosa do mapa de quantidades por parte do projetista responsável, para uma quantificação e posterior orçamentação correta e adequada ao pretendido.

- Custos diretos (tabela 5);
- Custos indiretos;
- Prémios ou multas de incumprimento[40].

Tabela 5: Custos diretos [39]

Custos diretos	Notas
Aquisição de matéria-prima	Elementos estruturais principais (perfis estruturais)
Ligações entre elementos	Usualmente considera-se uma percentagem da massa total da estrutura
Consumíveis	Parafusos, conetores e chumbadouros
Preparação da obra	Usualmente quantificada através dos dias despendidos para o efeito
Projeto	Se aplicável, quantifica-se pelo mesmo método supramencionado
Mão-de-obra	Referente ao número de horas despendidas no fabrico da estrutura
Subcontratação	A maioria das pequenas empresas do setor metalomecânico não possuem capacidade para execução de todos os requisitos do projeto, podendo surgir a necessidade de subcontratação
Tratamentos superficiais	Pintura, galvanização, entre outros
Montagem	Quantifica-se pelo número de horas despendidas na montagem
Aluguer de equipamentos	Na eventualidade de a empresa responsável pela execução e montagem da estrutura não possuir todo o equipamento necessário, ao invés de o adquirir permanentemente, procede ao seu aluguer. O aluguer de andaimes qualifica-se como um exemplo bastante usual
Transporte	O transporte pode ser efetuado em camiões, contentores marítimos, entre outros, consoante a dimensão da estrutura e distância do local de obra em relação à empresa de fabrico

No que concerne os custos indiretos, estes remetem para o que não se qualifica como recurso diretamente produtivo, sendo estes, juros de empréstimo, garantias bancárias, gastos gerais da sede, limpeza e conservação das instalações e pessoal administrativo [40].

[40] Este tipo de custo não é considerado na orçamentação, dado que surge durante ou após a execução da obra, correspondendo a um valor totalmente suportado pela entidade imputada.

Finalmente, deve-se considerar a existência de prémios (compensação) ou multas (por incumprimento), diretamente envolvidos com o prazo de execução.
Usualmente, numa fase de orçamentação, estabelecem-se prazos de conclusão de obra, muitas vezes desrespeitados, dada a avaliação incorreta dos trabalhos a efetuar, levando a atrasos, que por sua vez acarretam custos todos os envolvidos e potencia a aplicação de multas de incumprimento, imputáveis à entidade em falha.
Por outro lado, na eventualidade de uma execução de obra que se revele merecedora de alguma compensação adicional, o contratante pode optar por efetuar uma contribuição extra, designada de prémio [41].

Finda a avaliação de custos e receitas por parte da empresa que executa o orçamento, procede-se à fase da sua redação, sendo necessário estruturá-la consoante os diferentes trabalhos a executar, bem como as diferentes parcelas constituintes da estrutura projetada.

2.5 Produção

Para se proceder ao estudo da vertente da produção de uma estrutura metálica, é necessário conhecer todo o ciclo a si associado.
Para tal, é necessário abordar a fase referente à preparação de produção, bem como os processos de fabrico intervenientes.

2.5.1 Contextualização normativa – EN1090-2

Para qualquer projeto e consequente produção de determinada estrutura metálica, é necessário respeitar os requisitos impostos pelas normas vigentes, sendo uma delas, a norma EN 1090-2, que estabelece todos os requisitos técnicos na execução de uma estrutura de aço ou alumínio.
A importância da presente norma prende-se com o facto de a fase do fabrico se qualificar como fundamental na estabilidade e resistência da estrutura, sendo de elevada importância visar medidas de controlo de produção e qualidade no decurso da mesma.
Posto isto, a comunidade de projetistas e responsáveis de produção, deve possuir conhecimento da norma vigente, pelo que, no presente subcapítulo se aborda, resumidamente, o seu conteúdo.

É importante saber que a presente norma contém os requisitos técnicos para a execução das estruturas e constitui a base para a marcação CE das estruturas metálicas.

Mais ainda, no que concerne a parte da norma que se enquadra no setor da empresa de acolhimento[41], ou seja, a parte 2 da norma EN 1090, importa saber quais os pontos de maior foco e que englobam os seus requisitos, entre eles:

- Classificação dos aços;
- Compra;
- Receção;
- Rastreabilidade;
- Corte;
- Furação;
- Desempeno;
- Montagem em fábrica[42];
- Soldadura;
- Controlo de Produção;
- Tolerâncias;
- Ensaios não destrutivos;
- Proteção anticorrosiva.

Dado o exposto, procede-se ao desenvolvimento de alguns pontos, para melhor compreensão das exigências da norma.

2.5.1.1 Compra e receção de matéria-prima

O cumprimento dos requisitos impostos pela norma inicia-se, precisamente, nas ações de compra e receção de matéria-prima, visando dar início ao processo de rastreabilidade e garantia de qualidade de toda a estrutura metálica.
No que concerne a compra de matéria-prima, é essencial especificar o tipo de aço pretendido, bem como o tipo de certificado de marcação CE associado material encomendado.
Usualmente, opta-se pela redação de uma lista de requisitos da norma EN 1090-2, em que se especifica qual o tipo de certificado que deve acompanhar a matéria-prima, consoante a sua natureza, sendo este enviado em anexo ao fabricante/fornecedor, aquando da elaboração das encomendas de matéria-prima.
No tocante à receção de matéria-prima adquirida, as principais ações previstas na norma EN 1090-2, remetem para a identificação dos lotes rececionados no respetivo certificado, verificando se o certificado de marcação CE acoplado corresponde aos lotes rececionados em fábrica.

[41] Fabrico e montagem de estruturas de aço laminado a quente.
[42] Também designada de assemblagem.

Finda a verificação, segue-se a marcação dos perfis consoante o respetivo lote e obra que se destinam, para posterior segregação da restante matéria-prima e respetiva rastreabilidade.

2.5.1.2 Rastreabilidade

Primeiramente, é de salientar que existem várias classes de execução previstas na norma, desde o nível EXC1, que não impõe requisitos específicos, até ao nível EXC4 que, tal como no caso da classe EXC3, exige rastreabilidade total da estrutura metálica fabricada e respetivos componentes e intervenientes, desde a receção até à entrega da mesma [42].

A classe de execução 2 (EXC2)[43] visa o conceito de rastreabilidade parcial, não demonstrando o mesmo grau de exigência das previamente enunciadas (EXC3 e EXC4). Por rastreabilidade parcial entende-se o registo contínuo de certificados de matéria-prima e consumíveis constituintes do fabrico da estrutura metálica, bem como os processos de fabrico e operadores intervenientes nos mesmo.
Para tal, é necessária a implementação das medidas expostas na tabela 6.

Tabela 6: Medidas de rastreabilidade.

Responsabilidade	**Responsável**
Identificação de peças e respetiva obra nos lotes rececionados.	Colaborador que receciona a matéria-prima.
Segregação de matéria-prima consoante obra a que pertence.	Colaborador que receciona a matéria-prima.
Registo de associação de peças de obra a respetivo lote de perfil completo.	Preparador de obra.
Arquivo de certificados de marcação CE de matéria-prima da estrutura metálica (perfis, barras e chapas), conforme obra a que se destina.	Preparador de obra.
Registo de lote de consumível aplicado ao fabrico de componentes metálicos (no caso da soldadura, considera-se como consumíveis o fio de soldadura e gás de proteção).	Soldador que executa o processo.
Registo de operador que executa o processo de fabrico de determinada peça pertencente à obra em curso.	Operador que executa o processo.

[43] Classe de execução associada à certificação da empresa de acolhimento.

2.5.1.3 Soldadura

A vertente da soldadura constitui uma das áreas mais importantes no processo de certificação pela norma EN 1090-2, sendo essencial garantir a sua execução de acordo com os parâmetros impostos pela mesma.

Deste modo, é necessário garantir os seguintes procedimentos:

- Certificação de procedimento de soldadura para determinado intervalo de espessuras e gama de qualidade de aço;
- Qualificação de soldadores para os métodos de soldadura aplicáveis ao vigente na entidade a certificar;
- Cumprimento de condições de armazenamento de consumíveis, caso se verifique que estas estão estipuladas pela entidade fabricante.

2.5.1.4 Ensaios não destrutivos

Dado que a soldadura se trata de um processo de elevada perícia, é necessário recorrer a métodos de inspeção[44] das soldaduras efetuadas, de modo a respeitar os requisitos impostos pela norma EN1090-2.
Deste modo, destacam-se os ensaios não destrutivos, sendo estes [43]:

- Inspeção Visual;
- Ensaio com partículas magnéticas;
- Ensaio com líquidos penetrantes;
- Radiografias;
- Ultrassom.

Note-se que, os ensaios elencados devem ser efetuados por profissionais habilitados para o efeito, sendo necessária a execução da inspeção por parte de um inspetor de soldadura certificado.

Mais ainda, aquando da execução de uma obra ao abrigo da classe de execução 2, é necessária a elaboração de um plano de inspeção e ensaio que resume todas as ações de inspeção a efetuar, sendo esta dependente da aprovação do dono de obra.

[44] Note-se que, para efeitos de inspeção de soldadura, a empresa responsável pela execução dos processos de soldadura deve solicitar a realização dos ensaios e respetivos relatórios a entidades externas e certificadas para o efeito.

2.5.1.5 Proteção anticorrosiva

Os tratamentos superficiais no ramo de estruturas metálicas remetem, essencialmente, para tratamentos anticorrosivos, dado que uma das maiores preocupações do setor é, efetivamente, a corrosão.
No ramo metalomecânico, tratamentos tais como a galvanização por imersão a quente e metalização a quente prevalecem, dadas as normas disponíveis que garantem e sustentam o seu desempenho e durabilidade, no entanto também vigora a aplicação e tintas e vernizes (revestimentos orgânicos) [44].
Usualmente, a maioria das pequenas e médias empresas dedicadas ao fabrico e montagem de estruturas metálicas não executam o processo análogo à proteção anticorrosiva, sendo o caso da empresa de acolhimento do presente estágio.
Posto isto, é necessário recorrer a subcontratação para tratamentos superficiais, entre eles, galvanização a quente ou pintura.

Deste modo, para apresentação das normas vigentes no contexto em estudo, de acordo com o anexo F, ponto F.6, presente na norma EN 1090-2, estabelece-se o exposto na tabela 7.

Tabela 7: Regulamentação de tratamentos superficiais [42]

Tratamento superficial	**Regulamentação em vigor**
Pintura	EN ISO 12944-7 (pintura) EN ISO 12944-4 (preparação/limpeza de superfícies)
Metalização a quente	EN ISO 2063
Galvanização por imersão a quente	EN ISO 1461

Note-se que, ainda que seja necessário subcontratar, a empresa responsável pela obra em execução deve garantir o cumprimento dos requisitos das normas vigentes por parte dos seus subcontratados.

2.5.2 Preparação de produção

No setor metalomecânico, previamente ao fabrico da estrutura metálica e respetivos elementos, é essencial uma preparação de produção meticulosa e organizada, pelo que se enumeram as fases que esta assume na tabela 8.

Tabela 8: Fases da preparação de produção

Fase	Descrição
1	Elaboração de esboços de estrutura a fabricar, para efeitos de quantificação de matéria-prima e respetivas dimensões.
2	Determinação de perfis completos, de acordo com peças a fabricar, assegurando matéria-prima necessária para fabrico.
3	Após determinação de matéria-prima necessária, conjugação com material em stock, para elaboração de encomenda.
4	Elaboração de lista de medidas de corte com medidas de comprimento de peça e respetiva associação aos perfis completos e lotes que se destinam à sua produção.
5	Elaboração de desenho técnico de peças e conjuntos, contendo campo destinado a registo de processos de fabrico executados, consumíveis, respetivo lote e colaborador responsável pela execução do processo.

2.5.3 Processos de Fabrico

2.5.3.1 Corte

O processo de corte é a primeira fase do fabrico de uma estrutura, sendo que é responsável pela obtenção dos elementos necessários para o efeito com as dimensões estabelecidas no decurso da preparação de produção.
Este processo engloba duas vertentes, sendo estas, o corte de elementos lineares (perfis) e de elementos planos (chapas).
Posto isto, é de cariz essencial apresentar os diferentes métodos de corte existentes, pelo que se elencam as diferentes ferramentas e métodos para o efeito:

- Guilhotina [45];
- Serrote[45] [45];
- Prensa de corte [45];
- Oxicorte [46];
- Plasma[46] [46].

[45] Ferramenta de corte mais usual no setor metalomecânico, principalmente em pequenas empresas.
[46] Adequado para entidades com elevado poder de investimento, dado o seu custo elevado.

2.5.3.2 Furação

O processo de furação consiste no processo posterior à execução do corte, no entanto, este facto não reduz a sua importância, dado que todos os furos a efetuar devem cumprir escrupulosamente as tolerâncias estabelecidas pela norma de execução de estruturas EN 1090-2.
Para tal, recorre-se aos seguintes métodos [47]:

- Punção[47];
- Broca;
- Plasma;
- Laser.

Uma das principais vantagens associadas a este processo, remete para a possibilidade de automatização total, sendo que existem máquinas com várias cabeças de broca para diversas funções.

2.5.3.3 Soldadura

Para melhor compreensão dos processos de soldadura existentes, é importante elencar os principais processos em utilização no setor metalomecânico, entre eles:

- Soldadura por elétrodo revestido: Caracterizada pelo seu manuseamento e operação simples, bem como elevada versatilidade [48];
- Soldadura por arco submerso: Caracterizada pela elevada ductilidade adquirida pelo cordão e adequabilidade para soldadura de peças espessas [48];
- Soldadura MIG-MAG[48]: Caracterizada pela elevada velocidade de execução e excelentes características obtidas, qualificando-se como a alternativa mais económica ao processo de arco submerso [48];

2.6 Transporte

Findo o procedimento referente ao fabrico de todos os componentes da estrutura metálica, é necessário garantir um transporte adequado dos mesmos para o local onde será implementada e montada a estrutura.

[47] Note-se que este método não pode ser aplicado em estruturas de classe de execução 3 e 4, sendo apenas permitida nas classes 1 e 2 (classe considerada no âmbito desta dissertação) [47] Meira, Henrique Soutelo, "Especificidades da fiscalização de obras em construção metálica," Mestrado, Engenharia Civil e do Ambiente, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, 2018..
[48] Na eventualidade de se pretender efetuar soldadura em obra pelo processo MIG-MAG, por exemplo, é necessária e obrigatória a instalação de uma cobertura provisória para resguardar a zona em que se executa a soldadura, pelo que é preferível o processo de elétrodo revestido, uma vez que não se requer tais procedimentos.

Um dos procedimentos mais importantes e prévios ao acondicionamento da carga para transporte consiste na identificação dos componentes a transportar, de modo a facilitar e orientar o processo de montagem.
Uma vez identificados os componentes, procede-se à seleção do meio de transporte mais adequado (marítimo ou rodoviário, usualmente), que depende diretamente dos seguintes fatores:

- Distância entre local de fabrico e local de obra;
- Dimensões máximas admitidas pelo meio de transporte;
- Peso dos componentes;
- Volume necessário no meio de transporte[49].

Como meios de transporte existentes, elencam-se os seguintes:

- Transporte Rodoviário[50];
- Transporte Marítimo;
- Transporte Ferroviário;
- Transporte Aéreo.

2.7 Montagem

A montagem consiste no culminar de todas as etapas envolvidas na produção de uma estrutura metálica, sendo a fase responsável pela assemblagem de todos os componentes estruturais rececionados por meio de um dos transportes supramencionados.
A norma EN 1090-2 especifica todos os requisitos relacionados com a montagem desde as condições do local de obra aos métodos de marcação para implantação de elementos estruturais.

2.7.1 Preparação de montagem

Primeiramente, aquando da receção do material de obra no local de montagem, deve ser verificada a existência da marcação de cada peça de acordo com o desenho de montagem fornecido pelos responsáveis do projeto.
No tocante ao transporte de elementos estruturais, salienta-se a importância da gestão entre o material que se transporta e o material que pode ser rececionado em

[49] Note-se que, é essencial o planeamento de acondicionamento de carga, de modo a rentabilizar ao máximo o recurso de transporte, minimizando custos.
[50] Na eventualidade da dimensão dos elementos ultrapassar os 12 metros e comprimento, continua a ser viável o transporte rodoviário, ainda que acompanhado por carros piloto, tal como previsto no Código da Estrada [49] Castro, Miguel Ângelo Santos, "Gestão de projeto e dimensionamento de um pavilhão industrial," Mestrado, Engenharia Mecânica, ISEP, 2019.

obra, isto é, no local de obra é essencial a existência de zonas apropriadas ao armazenamento dos elementos a montar, pelo que, é necessária constante atenção à capacidade de armazenamento existente [43].
Mais ainda, no que concerne ao armazenamento de materiais em locais apropriados, designados de estaleiros, devem ser respeitadas as medidas que permitem a conservação do bom estado de todos os elementos estruturais.
No caso particular dos elementos perfilados (metálicos), estes devem ser armazenados e posicionados de forma a que não se verifique contacto com o solo, nem retenção de água nas depressões da peça [43].
Ainda relativamente às condições do estaleiro, este deverá possuir dimensões que englobem também as gruas e restantes equipamentos de elevação destinados à montagem da estrutura.
Introduzido o tema relacionado com equipamentos de obra, exalta-se a importância da garantia de resistência do solo aquando do apoio das sapatas dos equipamentos, de modo a garantir a estabilidade e segurança[51] do equipamento [43].

2.7.2 Condições de local de obra

Para se iniciar qualquer fase da montagem da estrutura projetada, é essencial garantir o nivelamento do solo, possibilitando a execução da marcação exata da implantação dos elementos construtivo [42].
No entanto, para tais requisitos serem cumpridos é necessário que as condições meteorológicas permitam quaisquer intervenções, dado que em situações de chuva e vento intensos, todos os trabalhos devem ser suspensos até se verificar condições mais favoráveis.
Este facto prende-se com a instabilidade acrescida nos processos de posicionamento de trabalhadores e peças, dada a interferência do clima.
Reunidas as condições favoráveis ao início da montagem, deve ser tida em consideração a eventual necessidade de implementação de estruturas provisórias para dois fins distintos [42]:

- Estrutura de resguardo aquando da execução de processos de soldadura em obra[52];
- Estrutura destinada a travamento de parcelas inacabadas e instáveis (por exemplo, pórticos não ligados entre si).

[51] Note-se que, no domínio da segurança, todos os trabalhadores afetos à montagem devem estar devidamente equipados com equipamentos de segurança, de acordo com a norma vigente (EN1090-2).
[52] Condição mencionada previamente em “Soldadura”, subcapítulo 2.5.3.3, nota de rodapé 48.

2.7.3 Montagem da estrutura

Após estabelecimento de todos os requisitos necessários ao início do processo de montagem, procede-se à implantação dos chumbadouros e posteriores pilares, tratando-se da base de toda a estrutura [49].

Após implantação, cabe ao responsável pela direção da obra, verificar se esta se efetuou segundo o estabelecido nos desenhos destinados ao esquema de implantação e montagem, bem como se o nivelamento do piso se encontra dentro dos requisitos impostos.

Uma vez aprovados os procedimentos iniciais, a restante estrutura é montada de acordo com o projeto de montagem que assegura uma montagem segura e estável, considerando todas as estruturas provisórias para o efeito.

DESENVOLVIMENTO

3 DESENVOLVIMENTO

O presente capítulo designa-se de "Desenvolvimento", dado que se destina à formulação dos casos de estudo e consequente explicitação dos diferentes métodos de análise e dimensionamento.
Em consonância com os objetivos delineados para a redação da presente dissertação, pretende-se, neste capítulo, a apresentação de uma estrutura metálica sujeita a duas etapas de estudo, sendo a primeiro referente à análise apenas de resistência de secções transversais a efetuar através de ferramentas computacionais, recorrendo a algumas práticas de verificação analíticas.
Uma vez obtidos os resultados da análise prévia pelo método elencado, procede-se à análise linear de 1ª ordem, da mesma estrutura, para posterior análise de eventuais divergências ou convergências entre resultados das diferentes abordagens.
No decurso da apresentação dos cálculos análogos às análises estruturais, estes encontram-se devidamente fundamentados no que concerne as considerações existentes e o conteúdo que as sustenta.
Finda a obtenção dos perfis da estrutura metálica projetada, procede-se à projeção das respetivas ligações metálicas (aparafusadas e soldadas), apresentando os respetivos cálculos.
Deste modo, dado que a presente dissertação aborda o projeto de uma estrutura metálica e posterior gestão da sua produção, o seu projeto é abordado nos subcapítulos 3.1 e 3.6, sendo que a secção referente à gestão de produção remete ao capítulo 3.7.

3.1 Estrutura em análise

A presente estrutura metálica em análise consiste num pavilhão metálico situado no concelho de Ponte de Lima, freguesia de Fornelos, com uma altitude correspondente a cerca de 140 metros.
O pavilhão projetado remete para um pavilhão metálico com vão correspondente a 20 metros e comprimento total de 30 metros, totalizados por 7 pórticos, espaçados a 5 metros entre si.
A altura dos pilares corresponde a 6 metros, sendo que a inclinação da cobertura corresponde a 6°, totalizando uma altura de cume de 7 metros.
Entre o 3º e 5º pórticos, pretende-se a implantação de um piso intermédio destinado a arrumos, com 6 metros de largura, 3,50 metros de altura e 10 metros de comprimento.

Numa fase inicial, com vista a rentabilizar os custos globais de construção, opta-se por apoios articulados na ligação entre o pilar e o solo, ao invés de encastrados[53].
Finalmente, no que concerne o revestimento de cobertura e fachada opta-se por painel sandwich com isolante em lã de rocha e espessura de 50 mm (conforme anexos 6.1)[54] e contraplacado marítimo de 21 mm de espessura para revestimento do piso intermédio.
A estrutura projetada e respetivos elementos estruturais, encontram-se presentes nas figuras 15, 16 e 17.

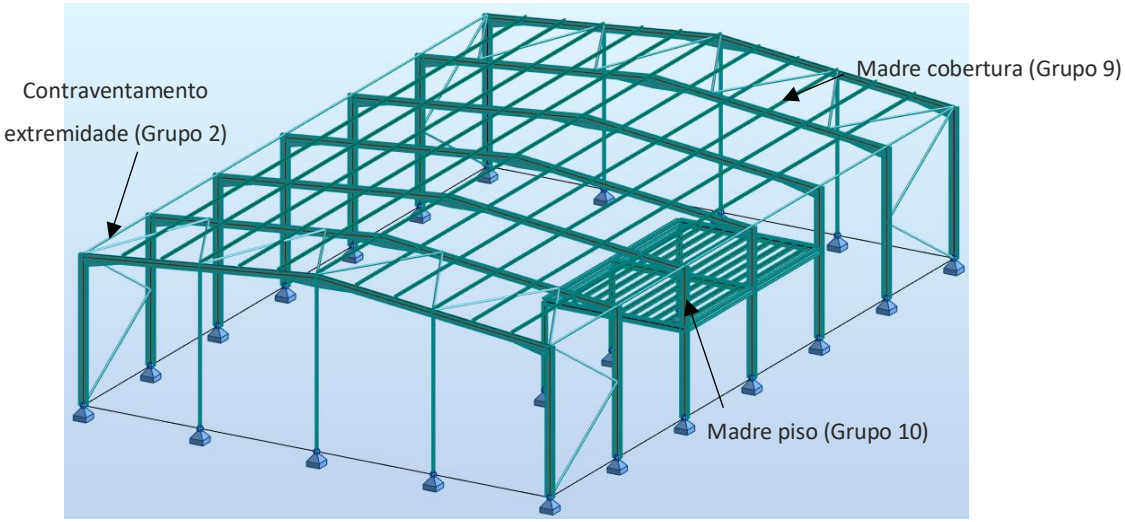


Figura 15: Estrutura projetada

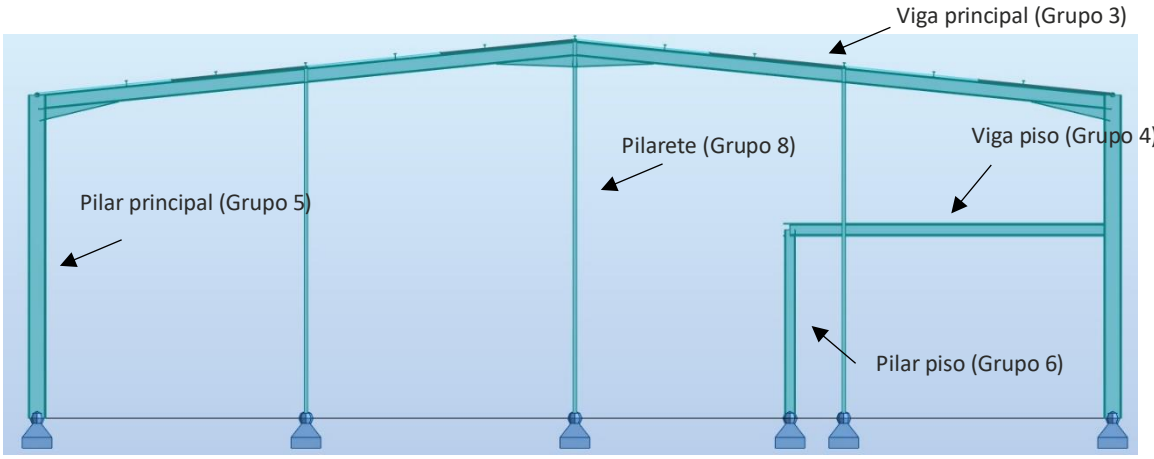


Figura 16: Vista frontal

[53] Este facto prende-se com o previamente enunciado em 2.1.5.2, podendo ser alterado conforme comportamento da estrutura.
[54] Note-se que, o painel de cobertura apresenta mais peso por metro quadrado comparativamente ao de fachada, pelo que o seu valor é considerado em ambas as finalidades, procurando analisar o caso mais crítico.

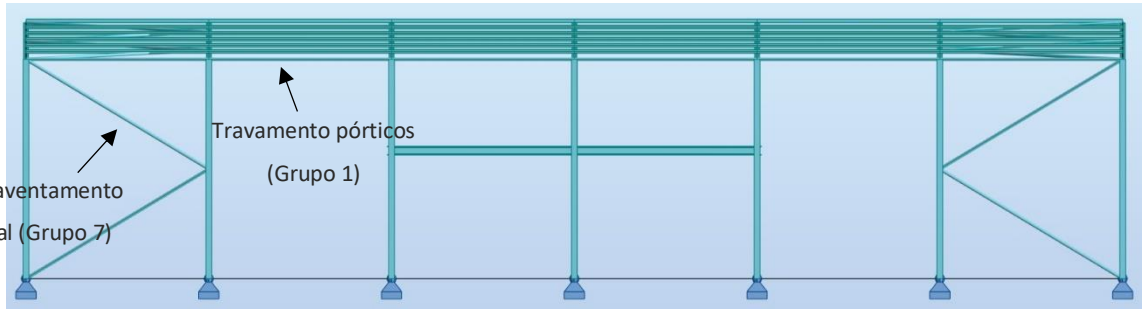


Figura 17: Vista lateral

3.2 Bases de cálculo

No presente subcapítulo, pretende-se a explicitação de todas as bases de cálculo que sustentam as análises estruturais a efetuar.
Deste modo, procede-se à quantificação de ações intervenientes na estrutura e respetivas combinações, sendo necessário estipular alguns parâmetros iniciais.

3.2.1 Formulação inicial

Na presente estrutura consideram-se todos os elementos metálicos compostos pelo aço S275JR, devido às suas características favoráveis à resistência dos elementos metálicos e acessibilidade e custo de matéria-prima no mercado existente.
Com vista ao correto dimensionamento da estrutura metálica, é necessário conhecer as ações intervenientes na mesma.
As ações são representadas através das designações presentes na tabela seguinte (tabela 9), cujo significado se encontra explicado em secções seguintes.

Tabela 9: Casos de Carga, Descrição

Caso de carga	Designação Robot	Descrição
1	DL1	Ação permanente
2	LL1	Ação sobrecarga (H)
3	LL2	Ação sobrecarga (E1)
4	Vento X+	Ação vento (direção X+)
5	Vento Y+	Ação vento (direção Y+)
6	Vento X-	Ação vento (direção X-)
7	Vento Y-	Ação vento (direção Y-)
8	NE1	Ação neve
15	FHE Topo	Imperfeição global aplicada no topo dos pilares
16	FHE Base	Imperfeição global aplicada na base dos pilares

3.2.2 Quantificação de ações

Para a correta fundamentação dos cálculos a efetuar e posteriores resultados, é necessário proceder-se à quantificação das ações intervenientes na estrutura.
Para tal, é essencial explicitar as considerações iniciais necessárias, conforme a ação em que se enquadram para posterior aplicação de cargas e início de simulação computacional e respetiva análise.

Simultaneamente, a título de verificação analítica, alguns cálculos referentes a quantificação de ações e respetivas combinações serão efetuados paralelamente aos resultados obtidos na ferramenta de análise computacional.

Note-se que, a ferramenta de cálculo estrutural "*Robot Structural Analysis*" requer apenas a inserção de cargas no sistema, de modo a considerar as cargas e respetivo comportamento, bem como, efetuar as combinações de ações possíveis.

Mais ainda, importa destacar que não é considerada a ação sísmica, dado que a zona de implantação da estrutura a projetar assume muito baixa sismicidade.
Este facto prende-se com o disposto na norma NP EN 1998-1:2010, no subcapítulo 3.2.1, alínea (5)P, sustentada pelos anexos presentes em NA-3.2.1 (2) e (4).

3.2.2.1 Ação permanente

O conceito das ações permanentes encontra-se descrito no subcapítulo 2.2.2.1.
Deste modo, com base no previamente exposto[55], as ações permanentes a considerar numa primeira fase da análise constam na tabela 10.

Tabela 10: Ações permanentes (G).

Perfil IPE100	0,016 kN/m^2
Painel de cobertura	0,150 kN/m^2
Painel de fachada	0,140 kN/m^2
Contraplacado marítimo	0,144 kN/m^2
Perfil Ø88x2,5 mm	0,009 kN/m^2

Notas relevantes:

- Perfil IPE100: Quociente entre 0,079 kN/m e área de influência (5 metros), que corresponde ao espaçamento entre pórticos.
- Perfil Ø88x2,5 mm: Quociente entre 0,028 kN/m e área de influência (5 metros), que corresponde ao espaçamento entre pórticos.

[55] Incluindo o subcapítulo 3.2.1, que explica a formulação inicial da estrutura a analisar.

Note-se que, à medida que são aplicadas as cargas e se verificam os critérios de resistência, os perfis são alterados no *software* de cálculo, que se encarrega de alterar as informações disponíveis para cálculo, conforme perfis atualizados[56].

Por motivos de uniformização de processo de cálculo, para cobertura e fachada considera-se o mesmo valor de ação (0,15 kN/m^2).

3.2.2.2 Ação da sobrecarga

Tal como descrito no subcapítulo 2.2.2.2.3, no que concerne a ação associada à sobrecarga, consideram-se as cargas associadas à utilização da estrutura, sendo que, logicamente, é necessário primeiramente estabelecer a finalidade da estrutura de modo a determinar quais as solicitações previstas.

Deste modo, consoante consulta dos Quadro 6.9 – "Categorias de coberturas" e 6.3 – "Categorias de armazenamento e de atividades industriais", constantes na norma NP EN 1991-1-1:2009, determina-se que a estrutura em questão se enquadra na categoria "H", considerando-se "coberturas não acessíveis, exceto para operações de manutenção e reparação correntes", bem como na categoria "E1", referente a "Locais suscetíveis de acumulação de mercadorias, incluindo zonas de acesso", cuja consideração se deve à existência de um piso intermédio.

Posto isto, de acordo com os Quadros 6.10 e 6.4 presente no anexo da norma supramencionada, estabelecem-se os seguintes casos de carga (tabela 11):

Tabela 11: Sobrecargas em coberturas da Categoria H.

Categoria	q_k (kN/m^2)	Q_k (kN)
H	0,4	1,0
E1	7,5	7,0

3.2.2.3 Ação da neve

Para determinação da carga associada à neve, é essencial deter conhecimento dos parâmetros de cálculo existentes.

Deste modo, estabelece-se que, para determinação da carga de neve, de acordo com o pressuposto "Para situações de projeto persistentes/transitórias", presente no ponto 3, alínea a), do subcapítulo 5.2 da norma supramencionada, tem-se o exposto na equação 1.

[56] Salienta-se que, cada sugestão de alteração de perfil é acompanhada de uma nota de cálculo que fundamenta devidamente a alteração (anexada conforme indicação nos respetivos subcapítulos).

$$s = \mu_i \times C_e \times C_t \times s_k \quad \text{(Equação 1)}$$

Todos os parâmetros necessários ao cálculo de "s" e integrantes da equação apresentada consistem em valor tabelados, excetuando a incógnita s_k, sendo que a sua determinação se encontra presente na equação 2, de acordo com o previsto no Anexo Nacional da norma NP EN 1991-1-3:2009, mais especificamente no anexo designado de N.A. – 4.1 (1).

$$s_k = C_z \times \left[1 + \left(\frac{H}{500}\right)^2\right] \quad \text{(Equação 2)}$$

Os parâmetros que completam as fórmulas previamente apresentadas encontram-se presentes na tabela 12.

Tabela 12: Parâmetros ação da neve.

Parâmetros	Designação	Valor	Fundamentação
μ_i	Coeficiente de forma para a carga de neve	0,8	Quadro 5.2 NP EN 1991-1-3:2009, para: $0° < \alpha < 30°$
C_e	Coeficiente de exposição	0,8	Quadro 5.1 NP EN 1991-1-3:2009, para: Topografia "Exposta ao vento"
C_t	Coeficiente térmico	1	Ponto (8) do subcapítulo 5.2 NP EN 1991-1-3:2009
C_z	Coeficiente dependente da zona	0,2	NP EN 1991-1-3:2009 NA – 4.1(1) Zona II (Viana do Castelo)
H	Altitude acima da cota do mar	140 m	Valor médio previsto na região de implantação

Note-se que, no caso do coeficiente de forma para a carga da neve, considera-se o caso de carga não deslocada, sendo que não se considera a redistribuição da carga pela intervenção de qualquer outra ação climática.

Mais ainda, no que concerne o coeficiente térmico, salienta-se que não se trata de cobertura envidraçada, pelo que se considera o valor recomendado (unitário), tendo esta uma inclinação compreendida entre 0° e 30° (α).

Tidos em consideração todos os parâmetros presentes na tabela 12, é possível quantificar a carga associada à ação da neve, recorrendo-se ao estabelecido pelo eurocódigo 1, parte 3, referente à ação da neve.

Finalmente, através da conjugação entre os valores descritos na tabela 1 e as equações 1 e 2, determina-se que o valor associado à carga da neve corresponde a 0,138 kN/m^2.

Concluindo a análise da ação da neve, é essencial a consulta do Quadro A1.1 – "Valores recomendados dos coeficientes ψ para edifícios", da norma NP EN 1990:2009, para determinação dos coeficientes necessários à combinação de ações[57], sendo que os valores a retirar do quadro mencionado remetem para a parcela que engloba os restantes Estados-Membros do CEN, para locais situados a uma altitude H≤1000 m acima do nível do mar, correspondente a 140 metros para o caso de estudo que se apresenta.

3.2.2.4 Ação do vento

No que concerne a ação do vento, é importante compreender que a quantificação desta ação depende diretamente da zona geográfica em que se localiza a construção planificada, bem como a rugosidade associada ao terreno de construção, sendo possível determinar a carga que este exerce sobre a estrutura, designada de força estática equivalente, através da seguinte equação.

$$F_E = c_f \times q_p(z) \times A = w_{(i\ ou\ e)} \times A \qquad \text{(Equação 3)}$$

Sendo que $w_{(i\ ou\ e)}$ remete para as pressões internas externas provocadas pelo vento e aplicadas à estrutura.
Deste modo, as pressões são determinadas:

$$w = (c_{pe} + c_{pi}) \times q_p(z) \qquad \text{(Equação 4)}$$

Sendo,

$$q_p(z) = c_e(z) \times q_b \qquad \text{(Equação 5)}$$

Em que,

$$c_e(z) = \left(1 + \frac{7}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}\right) \times \left(0{,}19 \times \left(\frac{z_0}{0{,}05}\right)^{0{,}07} \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right)^2 \qquad \text{(Equação 6)}$$

E,

$$q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times v_b^2 \qquad \text{(Equação 7)}$$

[57] Valores descritos no subcapítulo 3.2.3 "Combinação de ações".

Com,

$$v_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_{b,0} \quad \text{(Equação 8)}$$

Para tal, é necessária a determinação dos seguintes parâmetros tabelados (tabela 13):

Tabela 13: Parâmetros para carga do vento.

Parâmetro	Designação	Valor	Fundamentação
$c_s c_d$	Coeficiente estrutural	1	Subcapítulo 6.2 alínea a), NP EN 1991-1-4:2010
ρ	Massa volúmica do ar	1,25 kg/m^3	Nota 2, Subcapítulo 4.5, NP EN 1991-1-4:2010
v_b	Valor de referência da velocidade do vento	27 m/s	Equação 4.1 NP EN 1991-1-4:2010
c_{dir}	Coeficiente de direção	1	Nota 2, Subcapítulo 4.2, NP EN 1991-1-4:2010
c_{season}	Coeficiente de sazão	1	Nota 3, Subcapítulo 4.2, NP EN 1991-1-4:2010
$v_{b,0}$	Valor básico da velocidade de referência do vento	27 m/s	Quadro NA.I, NP EN 1991-1-4:2010, Zona A
z_0	Comprimento de rugosidade	0,05 m	Quadro NA – 4.1, NP EN 1991-1-4:2010, Categoria de terreno II

Note-se que, o vento atua em diversas direções, pelo que se consideram 4 casos de comportamento ou carga:

- Direção X+;
- Direção X-;
- Direção Y+;
- Direção Y-.

Na estrutura projetada, considera-se uma fachada de quatro faces e uma cobertura de duas vertentes, sendo que o vento atua sobre cada uma delas.
A respetiva carga apresenta uma direção (positiva ou negativa, + ou -), conforme a natureza da sua atuação, isto é, quando se verifica uma pressão exercida contra a superfície da estrutura, está é considerada positiva, ao passo que quando se verifica um valor de pressão negativo, apresenta-se o fenómeno de sucção, com o vento a atuar com um sentido que se afasta da superfície.

Nos esquemas seguintes, apresenta-se o comportamento no vento em cada plano da estrutura (X e Y, dada a simetria da estrutura), distinguindo a natureza da sua atuação (positiva ou negativa), conforme as cores frias (representativas de sucção ou pressão negativa) e cores quentes (representativas de pressão positiva).

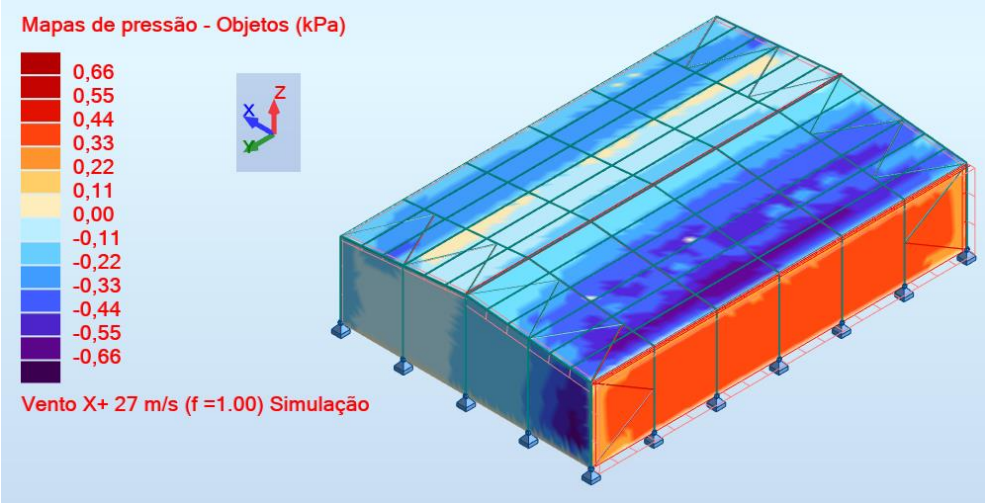


Figura 18: Vento na direção X, parte 1

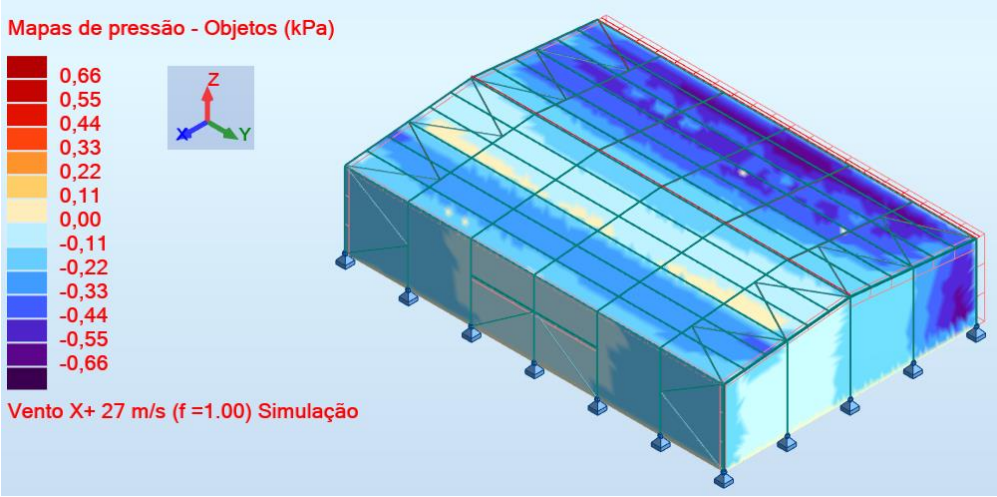


Figura 19: Vento na direção X, parte 2

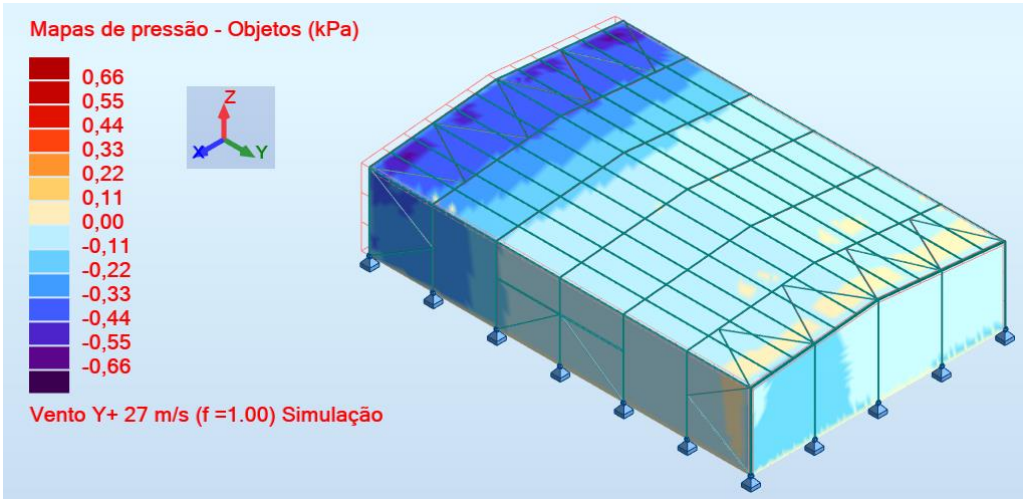


Figura 20: Vento na direção Y, parte 1

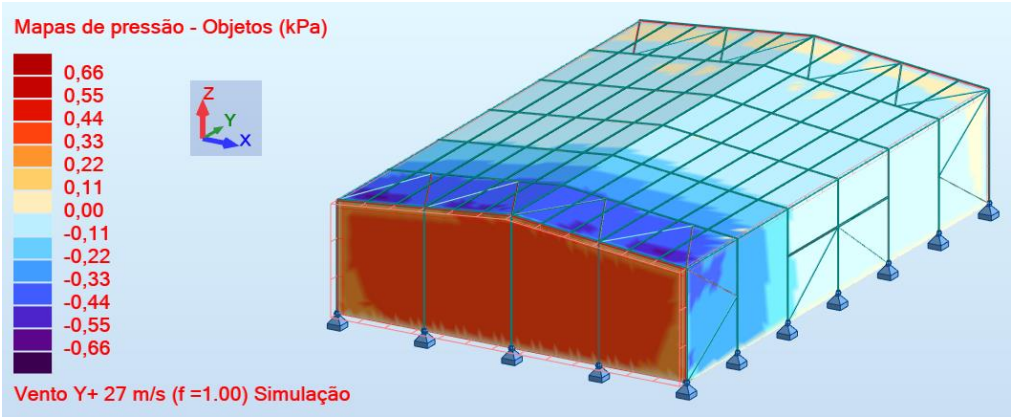


Figura 21: Vento na direção Y, parte 2

3.2.3 Combinação de ações

No subcapítulo que se apresenta, pretende-se explicitar o método de cálculo análogo à determinação da carga crítica a considerar no dimensionamento da estrutura metálica, através da combinação de ações.
Para tal, é necessário elencar os parâmetros e métodos destinados ao cálculo das possíveis combinações de ações.

As fórmulas referentes ao cálculo do valor do efeito das ações são distintas para cada um dos critérios, sendo as seguintes:

- **Fórmulas a aplicar para critério ELU (Estado Limite Último)**

    - Combinação de ações para situações de projeto persistentes ou transitórias (combinação fundamental)

$$E_d = \sum_{j=1}^{m} \left(\gamma_{Gj} \times G_{kj}\right) \text{ " +" } \gamma_{Q,1} \times P \text{ "+" } \sum_{i>1} \left(\Psi_{0i} \times \gamma_{Q,i} \times Q_{k,i}\right) \qquad \text{(Equação 9)}$$

- **Fórmula a aplicar para critério ELS (Estado Limite de Serviço[58])**
    - Combinação característica

$$E_d = \sum_{j=1}^{m} \left(G_{kj}\right) \text{ " +" } P \text{ "+" } Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i>1} \left(\Psi_{0,i} \times Q_{k,i}\right) \qquad \text{(Equação 10)}$$

Para ambos os critérios, a parcela referente à ação permanente é constante, dado que esta se encontra presente com intensidade constante.
No entanto, no que concerne as ações variáveis, existem sete tipos distintos a ter em consideração (sobrecargas, neve, vento nas diferentes direções), com influência variável sobre a estrutura a projetar.
Deste modo, é necessário verificar qual a ação variável predominante e de caráter mais crítico aquando da solicitação da estrutura metálica, designando-se de ação variável de base.
Posto isto, é necessário distinguir sete hipóteses de cálculo distintas:

- Sobrecarga de cobertura como ação de base;
- Sobrecarga de piso intermédio como ação de base;
- Vento (direção X+) como ação de base;
- Vento (direção X-) como ação de base;
- Vento (direção Y+) como ação de base;
- Vento (direção Y-) como ação de base;
- Neve como ação de base.

Para as hipóteses elencadas, surgem valores de carga distintos, sendo que o aplicável ao dimensionamento corresponde ao valor mais elevado e, por conseguinte, que contribui para uma situação de caráter mais crítico.

Para a correta aplicação das fórmulas apresentadas, é essencial a consideração do valor dos coeficientes ψ_0, ψ_1 e ψ_2 , presente na norma correspondente a cada ação, que se apresenta na seguinte tabela (tabela 14), destinados a quantificar o relevo de cada ação, conforme os pressupostos associados.

[58] Também designado de Estado Limite de Utilização.

Tabela 14: Coeficientes ψ.

Ação	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Permanente	-	-	-
Sobrecarga (H e E1)	0	0	0
Neve	0,5	0,2	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0

Mais ainda, no que concerne o impacto de cada ação, apresentam-se os valores de cálculo de ações, consoante a sua direção[59], presentes no quadro A1.2, da norma NP EN 1990:2009, na seguinte tabela (tabelas 15 e 16).

Tabela 15: Valores de cálculo de ações - ELS

ELS
Ação Permanente
γ_G (Desfavorável) = 1,0
γ_G (Favorável) = 1,0
Ação Variável
γ_Q = 1,0

Tabela 16: Valores de cálculo de ações - ELU

ELU
Ação Permanente
γ_G (Desfavorável) = 1,35
γ_G (Favorável) = 1,0
Ação Variável
γ_Q (Desfavorável) = 1,5
γ_Q (Favorável) = 0

3.2.3.1 Quantificação de ações

Tal como descrito previamente, a combinação de ações pode ser efetuada automaticamente através da ferramenta de cálculo estrutural, *Robot Structural Analysis*, pelo que se apresentam os resultados obtidos no decurso da simulação.

[59] Favorável (ascendente) ou desfavorável (descendente).

Ora, para a compreensão mais completa do procedimento de cálculo associado às combinações possíveis, é necessário deter o conhecimento dos parâmetros que as sustentam, aliados aos pressupostos de cálculo apresentado no subcapítulo 3.3.2.

Deste modo, é necessário apresentar, de modo sumarizado, os diferentes casos de carga para cada ação (tabela 17), de modo a facilitar a sua representação numérica aquando das combinações.

Tabela 17: Casos de carga - Robot

Caso de carga	Designação Robot	Descrição	Valor[60]
1	DL1	Ação permanente	0,48 kN/m^2
2	LL1	Ação sobrecarga (H)	0,40 kN/m^2
3	LL2	Ação sobrecarga (E1)	7,50 kN/m^2
4	Vento X+	Ação vento (direção X+)	0,66 kN/m^2
5	Vento Y+	Ação vento (direção Y+)	0,66 kN/m^2
6	Vento X-	Ação vento (direção X-)	0,66 kN/m^2
7	Vento Y-	Ação vento (direção Y-)	0,66 kN/m^2
8	NE1	Ação neve	0,14 kN/m^2

Notas relevantes:

- A ação permanente engloba a consideração do peso próprio da estrutura (IPE100 e tubo 88x2,5mm), bem como a carga de revestimentos (cobertura, fachada e contraplacado) equivalente de 0,15 kN/m^2.
- LL1: Aplicada na cobertura da estrutura (categoria H).
- LL2: Aplicada no revestimento de piso intermédio (categoria E1).

Dado que a análise das ações intervenientes na estrutura e posteriores combinações se efetuam na ferramenta de cálculo computacional, é possível uma análise bastante mais detalhada, comparativamente a uma análise meramente analítica.

A determinação analítica de todas as possíveis combinações de ações revelar-se-ia demasiado extensa e suscetível a erros de cálculo, dada a sua complexidade.

Através da ferramenta de cálculo, em conformidade com os requisitos impostos pelas normas vigentes já elencados, formularam-se 114 combinações possíveis para o critério ELU.

[60] Os valores de carga apresentados são absolutos.

Não se formula, nesta fase, combinações para verificação do critério ELS, dado que se pretende meramente a obtenção de perfis de "arranque" para o estudo completo descrito a partir da secção 3.5.

Uma vez que as combinações são bastante numerosas, estas constam no anexo 6.2, que contém uma lista para cada combinação com os respetivos casos de carga que a constituem (designados pelo número de caso de carga constante na tabela 16) e respetivos coeficientes.

Uma vez que não se considera relevante a apresentação de todos os resultados, aquando da verificação de critérios de cada grupo de elementos estruturais, consta a combinação considerada para o seu dimensionamento.

A funcionalidade elencada consiste numa das vantagens associadas ao cálculo computacional, dada a possibilidade de dimensionamento de determinado elemento estrutural, tendo em consideração a sua disposição e finalidade, de modo a considerar a combinação mais crítica no devido contexto.

3.3 Análise e dimensionamento da estrutura metálica

No presente subcapítulo, procede-se à apresentação das diferentes análises estruturais a executar.
No entanto, visando a correta fundamentação dos métodos aplicados para o efeito, é necessário proceder-se à explicitação da metodologia adotada, mais propriamente, o raciocínio e organização que regem todos os procedimentos inerentes à análise e dimensionamento da estrutura metálica.

3.3.1 Metodologia

Numa fase inicial, efetua-se uma análise de resistência de secções, não considerando efeitos de instabilidade, isto é, considerando a estrutura perfeitamente estável e indeformada, bem como os seus elementos rígidos.
Este método permite a obtenção de perfis "mínimos", que permitem a existência de um ponto de partida em termos de perfis estruturais, sustentando posteriores análises.

Uma vez determinados os perfis mínimos para garantia de resistência da secção transversal, é possível iniciar a análise pretendida, análise linear de 1ª ordem.
Nas análises que se seguem, alteram-se as configurações dos elementos estruturais a dimensionar assumindo a possibilidade de fenómenos de instabilidade, conforme análise a efetuar.

Note-se que, a título de verificação e fundamentação analítica, embora tenham sido realizados automaticamente todos os cálculos de verificação, apresentam-se as

fórmulas necessárias para o efeito e efetuam-se, analiticamente, algumas verificações para comparação de resultados intermédios e finais, em consonância com a apresentação de resultados computacionais.

Finalmente, no que concerne o projeto de ligações, este é efetuado aquando da conclusão da análise estrutural de perfis, para projeção de ligações adequadas à estrutura e respetivos esforços e comportamento.

3.4 Análise de resistência da secção transversal

Tal como descrito previamente, a presente análise visa a verificação de resistência da secção transversal dos perfis estruturais a analisar, procurando estabelecer os perfis "mínimos" ou de base, para posterior análise.
Todos os cálculos e considerações baseiam-se nos valores previamente determinados em "Quantificação de ações" e respetivas combinações.

3.4.1 Parâmetros de cálculo

A designação de "Parâmetros de cálculo" deve-se à apresentação dos pressupostos tidos em consideração para a análise em curso.

Posto isto, com vista a fundamentar os cálculos a apresentar e verificar[61], procede-se à descrição das fórmulas a aplicar para verificação parcial do critério ELU (tabela 18).

Tabela 18: Parâmetros de verificação ELU

Parâmetro em análise	Fórmula de verificação
Normal (N)	$N_{Ed} \leq N_{C,Rd}$, com $N_{C,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$ (Aplicável a secções de classe 1, 2 e 3)
Transverso (V)	$V_{Ed} \leq V_{C,Rd}$, com $V_{C,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v (f_y/\sqrt{3}) / \gamma_{M0}$ (Aplicável a secções de classe 1 e 2)
Flexão (M)	$M_{Ed} \leq M_{C,Rd}$, com $M_{C,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$

[61] No presente subcapítulo, procede-se à verificação analítica do cumprimento dos requisitos impostos pelas normas vigentes, aquando da obtenção dos perfis "mínimos" finais, através do cálculo computacional.

Note-se que, não se verifica o critério ELU na sua totalidade (verificação de estabilidade não incluída), nem o critério ELS, dado que se pretende meramente a análise de resistência de secção transversal.
A totalidade dos critérios verifica-se aquando da elaboração das análises posteriores.

Apresentam-se os grupos de elementos estruturais existentes, cuja identificação se encontra presente nas figuras 15, 16 e 17, e respetivas configurações iniciais para análise.

Tabela 19: Grupos de elementos estruturais

Numeração de Grupo	Elementos de Grupo	Articulações
1	Travamento pórticos	Ambos apoios articulados
2	Contraventamento extremidade	Ambos apoios articulados
3	Vigas principais	ligações viga-pilar e viga-viga fixas
4	Vigas piso	Ligação viga-pilar fixas
5	Pilares principais	Base articulada e ligação viga-pilar fixa
6	Pilares piso	Base articulada e ligação viga-pilar rígida em x e articulada em y
7	Contraventamento lateral	Ambos apoios articulados
8	Pilaretes	Ambos apoios articulados
9	Madres cobertura	Ambos apoios articulados
10	Madres piso	Ambos apoios articulados

No que concerne os parâmetros para análise estrutural, é essencial estabelecer para todos os elementos a inexistência de fenómenos de instabilidade, pelo que se consideram todos os elementos como indeformáveis.

Mais ainda, no que concerne os grupos 1, 2 e 7, é importante estipular o seu caráter não estrutural, atribuindo-lhes a funcionalidade de treliça (no que concerne o tipo de apoio), destinando-se apenas a suporte de carga de vento.

Note-se que, a disposição inicial de elementos assume que se encontram ligados nos seus centroides, sendo estes isentos de qualquer tipo de reforço.

3.4.2 Processo iterativo

Para uma correta determinação dos parâmetros de resistência das secções aplicáveis aos diferentes grupos de elemento estruturais, é necessário compreender o processo iterativo que origina os resultados finais.

Deste modo, apresenta-se um esquema elucidativo das configurações adotadas para o efeito e respetivos resultados.

As verificações encontram-se descritas na nota de cálculo presente no anexo 6.2, constando o caso mais crítico estudado e respetiva combinação de ações[62].
Relembra-se que, embora a totalidade das verificações automáticas conste em anexo, a título de verificação e demonstração de procedimento de cálculo, os requisitos dos critérios encontram-se verificados analiticamente para o último teste efetuado (3º teste), no subcapítulo seguinte.

Como se pode verificar na tabela 20, efetuam-se três testes distintos, com resultados também distintos.
A variação de resultados prende-se com as configurações adotadas no decurso da simulação.
O presente esquema de iterações permite compreender o impacto de determinadas configurações no resultado final obtido.
As configurações encontram-se descritas abaixo, conforme o teste a que correspondem.

1º Teste: Formulação da estrutura de "base"

Os perfis estipulados inicialmente, para obtenção de perfis "mínimos" a analisar e, possivelmente, alterar, remetem para IPE100, em aço S275, com tensão de
cedência correspondente a 275 MPa e tensão de rotura de 430 MPa, sempre que é necessária aplicação de perfis.
Note-se que, a utilização deste aço prende-se com a sua aplicação frequente no setor metalomecânico. O aço S235 revela-se insuficiente em estruturas de grande porte e o aço S355 e seguintes, demasiado dispendioso, sendo aplicado caso se justifique a sua aplicação.

Para perfis tubulares iniciais, arbitram-se os perfis de diâmetro 88 mm e espessura de 2,5 mm, também em aço S275.

No tocante a revestimentos de fachada, cobertura e pavimentos, consideram-se à partida os pretendidos na estrutura final e já elencados no subcapítulo 3.1.

2º Teste: Formulação da estrutura com reforços na união viga principal – pilar principal (figura 22).

O 2º teste foca-se na aplicação de reforços na união viga principal – pilar principal.

[62] Apenas se consideram as combinações efetuadas para o critério ELU.

A aplicação do reforço possibilita a análise segregada dos elementos, dado que não se verifica a mesma intensidade de esforços no ponto comum.

Deste modo, obtém-se a otimização dos perfis das vigas principais, que permitem à estrutura suportar com maior eficiência os esforços que a solicitam, entre eles, os momentos fletores resultantes das solicitações externas.

Mais ainda, é possível a distinção dos perfis entre viga principal e pilar principal, uma vez que, com a ausência de reforços e a existência de união entre os elementos, o momento fletor mais crítico a considerar no seu dimensionamento seria idêntico.

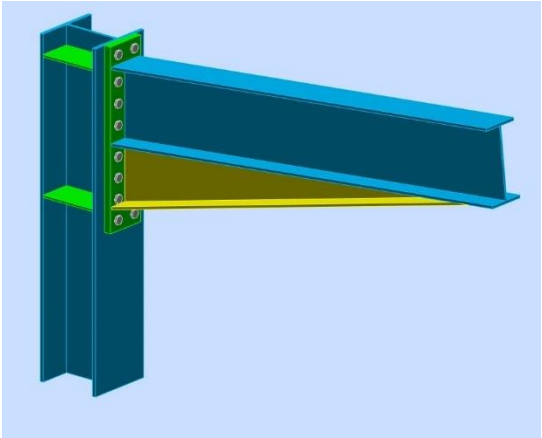


Figura 22: Reforço viga-pilar

3º Teste: Formulação da estrutura com alteração da posição relativa das madres de cobertura em relação às vigas principais.

O 3º teste mantém todos os pressupostos do 2º teste, à exceção da posição relativa das madres de cobertura.
Inicialmente, tal como já definido em 3.4.1, todos os elementos encontravam-se ligados pelos respetivos centróides, sendo que o mesmo se aplicava entre madres de cobertura e vigas principais.
No 3º teste, assume-se que a face exterior do banzo inferior das madres de cobertura se encontra acoplado à face exterior do banzo superior das vigas principais.
Esta alteração resulta no aumento de secção transversal das vigas e pilares principais, dado que o esforço transmitido das madres de cobertura para as vigas principais induz, agora, um momento fletor na viga principal, além dos iniciais esforços normais e tangenciais.

Dado o exposto, apresenta-se o seguinte esquema de iteração, em que constam os resultados posteriores à solicitação da estrutura inicial para os diferentes grupos de elementos estruturais (de acordo com as figuras 15, 16 e 17).

Tabela 20: Esquema de iteração – Análise de resistência

Grupo	1º teste	2º teste	3º teste
1, 2 e 7	Tubo redondo 88x2,5mm	Tubo redondo 88x2,5mm	Tubo redondo 88x2,5mm
3	IPE100	IPE240	IPE270
4	IPE100	IPE360	HEB240
5	IPE100	IPE300	IPE330
6	IPE100	IPE200	IPE200
8	IPE100	IPE120	IPE120
9	IPE100	IPE100	IPE100
10	IPE100	IPE140	IPE140

Notas relevantes:

- A alteração de perfil do grupo 4 no 3º teste, prende-se com a otimização de volume ocupado pelo perfil estrutural. No presente caso, opta-se por um perfil HEB equivalente ao perfil IPE prévio, dada a sua resistência superior para dimensões de perfil inferiores.

3.4.3 Verificação analítica de critérios de resistência

De acordo com os critérios presentes na tabela 18 em 3.4.1, efetua-se a verificação analítica dos critérios de resistência da secção transversal, devidamente fundamentados com os diagramas de esforços que sustentam os valores estudados para a verificação.
Tal como descrito previamente, no presente subcapítulo efetua-se a verificação dos critérios referentes à última iteração, correspondente ao 3º teste.

Para tal, é necessário reunir toda a informação essencial e disponibilizada pelo *software* de cálculo (nas respetivas notas de cálculo anexadas), para melhor compreensão da fundamentação dos cálculos a apresentar.

A ferramenta de cálculo em utilização para a simulação do comportamento da estrutura metálica recorre a várias combinações de ações geradas automaticamente, no entanto, interessa apenas abordar as que conferem o caráter mais crítico a cada elemento estudado.
Note-se que, para possibilitar o correto estudo dos resultados associados a cada combinação, procede-se à reprodução de cada combinação, manualmente no programa, de modo a facilitar a obtenção dos respetivos diagramas.
Deste modo, nas tabelas 21 e 22, elencam-se as combinações em consideração para a análise de resultados.

As tabelas 21 e 22 elencam as combinações estudadas, conforme considerações prévias em 3.2.1 (tabela 9 referente aos casos de carga existentes) e 3.2.3 (tabelas 14 a 16, referentes aos coeficientes de valores de cálculo na combinação de ações).

Tabela 21: Fórmulas de combinação

Combinação	Fórmula de combinação
1	DL1×1,35 + LL1×1,50 + LL2×1,50 + NE1×0,50×1,50
2	DL1×1,35 + LL2×1,50 + VENTO(X-)×1,50
3	DL1×1,35 + LL1×1,50 + LL2×1,50 + VENTO(Y-)×0,60×1,50 + NE1×0,50×1,50
4	DL1×1,35 + LL2×1,50 + VENTO (Y-)×1,50 + NE1×0,50×1,50

Tabela 22: Combinações de ações

Grupo de elementos	Combinação de ações
1: Travamento de pórticos	Combinação 1
2: Contraventamento extremidade	Combinação 1
3: Vigas principais	Combinação 1
4: Vigas piso	Combinação 1
5: Pilares principais	Combinação 1
6: Pilares piso	Combinação 2
7: Contraventamento lateral	Combinação 3
8: Pilaretes	Combinação 4
9: Madres cobertura	Combinação 1
10: Madres piso	Combinação 4

Tidas as combinações a considerar para cada elemento ou grupo de elementos, é possível a obtenção dos respetivos esforços para elaboração de diagramas e verificação de fórmulas de resistência.
Reforça-se, novamente, que a ação permanente referente ao peso próprio da estrutura é atualizada conforme alterações de perfis estruturais.
Dado o exposto, tem-se o elencado na tabela 23.

Tabela 23: Esforços obtidos nas combinações mais onerosas em cada elemento

Grupo de elementos	Tipo de esforço	Valor obtido	Diagrama
1: Travamento pórticos	Normal (N)	-26,48 kN	Anexo 6.3; Diagrama 1
2: Contrav. extremidade	Normal (N)	-59,40 kN	Anexo 6.3; Diagrama 2
3: Vigas principais	Normal (N)	29,76 kN	Anexo 6.3; Diagrama 3
	Transverso (V)	48,95 kN	
	Fletor y (M_y)	126,65 kN.m	
4: Vigas piso	Normal (N)	7,99 kN	Anexo 6.3; Diagrama 4
	Transverso (V)	-9,37 kN	
	Fletor y (M_y)	289,63 kN.m	
5: Pilares principais	Normal (N)	55,34 kN	Anexo 6.3; Diagrama 5
	Transverso (V)	24,74 kN	
	Fletor y (M_y)	176,39 kN.m	
6: Pilares piso	Normal (N)	180,40 kN	Anexo 6.3; Diagrama 6
	Transverso (V)	-15,05 kN	
	Fletor y (M_y)	-52,58 kN.m	
7: Contrav. Lateral	Normal (N)	-33,35 kN	Anexo 6.3; Diagrama 7
8: Pilaretes	Normal (N)	9,97 kN	Anexo 6.3; Diagrama 8
	Transverso (V)	0,28 kN	
	Fletor y (M_y)	-15,23 kN.m	
9: Madres cobertura	Normal (N)	-1,48 kN	Anexo 6.3; Diagrama 9
	Fletor y (M_y)	6,76 kN.m	
	Fletor z (M_z)	-0,68 kN.m	
10: Madres piso	Normal (N)	0	Anexo 6.3; Diagrama 10
	Transverso (V)	0	
	Fletor y (M_y)	17,94 kN.m	

Ora, com base no exposto previamente em 3.4., na tabela 18, referente aos parâmetros de verificação de ELU, procede-se ao cálculo dos valores admissíveis para cada grupo de elementos, de modo a constatar a verificação de critérios impostos.

Posto isto, tem-se o seguinte (tabela 24), assumindo que todos os elementos apresentam secções de Classe 1, conforme informação constante nas tabelas de perfis da entidade *ArcelorMittal* e as características presentes na tabela 25[63].

[63] Em conformidade com a tabela 20, presente em 3.4.2., referente aos perfis resultantes do 3º teste.

Importa salientar que os esforços normais verificados nos grupos 4 e 5, são considerados compressivos, apesar do seu valor positivo.

Tabela 24: Esforços admissíveis

Grupo de elementos	Tipo de esforço	Valor admissível
1: Travamento pórticos	$N_{C,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$	186,73 kN
2: Contrav. extremidade	$N_{C,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$	186,73 kN
3: Vigas principais	$N_{C,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$	1263,63 kN
	$V_{C,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v (f_y/\sqrt{3}) / \gamma_{M0}$	351,52 kN
	$M_{C,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$	133,1 kN.m
4: Vigas piso	$N_{C,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$	2915 kN
	$V_{C,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v (f_y/\sqrt{3}) / \gamma_{M0}$	527,60 kN
	$M_{C,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$	289,58 kN.m
5: Pilares principais	$N_{C,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$	1721,78 kN
	$V_{C,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v (f_y/\sqrt{3}) / \gamma_{M0}$	489,1 kN
	$M_{C,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$	221,18 kN.m
6: Pilares piso	$N_{C,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$	783,2 kN
	$V_{C,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v (f_y/\sqrt{3}) / \gamma_{M0}$	222,28 kN
	$M_{C,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$	60,67 kN.m
7: Contrav. Lateral	$N_{C,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$	186,73 kN
8: Pilaretes	$N_{C,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$	363,28 kN
	$V_{C,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v (f_y/\sqrt{3}) / \gamma_{M0}$	100,18 kN
	$M_{C,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$	16,7 kN.m
9: Madres cobertura	$N_{C,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$	283,8 kN
	$M_{C,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$	10,84 kN.m
	$M_{C,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$	10,84 kN.m
10: Madres piso	$N_{C,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$	451,83 kN
	$V_{C,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v (f_y/\sqrt{3}) / \gamma_{M0}$	121,3 kN
	$M_{C,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$	24,29 kN.m

Tabela 25: Características das secções

Valor de cálculo	Tubo 88x2,5 mm	IPE 270	HEB 240	IPE 330	IPE 200	IPE 120	IPE 100	IPE 140
	Grupos 1, 2 e 7	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 8	Grupo 9	Grupo 10
A (cm^2)	6,79	45,95	106	62,61	28,48	13,21	10,32	16,43
f_y (MPa)	275	275	275	275	275	275	275	275
γ_{M0}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
W_{pl} (cm^3)	18,67	484	1053	804,3	220,6	60,73	39,41	88,34
A_v (cm^2)	4,32	22,14	33,23	30,81	14	6,31	5,08	7,64

Consultando as tabelas 23 e 24, pode-se concluir que todas as condições de resistência se verificam, conforme informação fornecida pelas notas de cálculo resultantes da simulação computacional.

3.5 Análise linear – Efeitos de 1ª ordem

No presente subcapítulo pretende-se proceder à análise geometricamente linear de 1ª ordem, através da verificação de todos os critérios de resistência e estabilidade previstos nos critérios ELU e ELS.
Mais ainda, de acordo com o estipulado em 2.3.2.4, tabela 4, para melhor avaliação do comportamento da estrutura, assume-se a existência de imperfeições geométricas aquando da análise da mesma.
Esta assunção encontra-se explícita no presente subcapítulo, posteriormente.
Primeiramente, importa apresentar os critérios a respeitar para correta análise dimensional. Dado que em 3.4 os critérios de resistência de secção transversal previstas em ELU já se encontram elencados, apenas se apresentam os restantes requisitos.

3.5.1 Parâmetros de cálculo

Com vista a proceder à correta fundamentação da análise estrutural a efetuar, é necessário estabelecer os parâmetros de cálculo que a sustentam.
Deste modo, salienta-se que como base de cálculo para a presente análise são considerados os resultados obtidos no 3º teste de análise de resistência da secção transversal, efetuado e apresentado em 3.4.2.
Dado o exposto, consideram-se também as ações previamente apresentadas na tabela 17, do subcapítulo 3.2.3.1, excetuando o valor assumido para a ação permanente, dado que os perfis sofreram alterações no decurso das diferentes simulações efetuadas.
Posto isto, assume-se a ação permanente conforme os perfis a considerar na tabela 26.

Tabela 26: Perfis de base - Análise linear 1ª ordem

Grupo	3º teste
1, 2 e 7	Tubo redondo 88x2,5mm
3	IPE270
4	HEB240
5	IPE330
6	IPE200
8	IPE120
9	IPE100
10	IPE140

Notas relevantes:

- A alternativa de perfil do grupo 4, prende-se com a otimização de volume ocupado pelo perfil estrutural. No presente caso, opta-se por um perfil HEB equivalente ao perfil IPE prévio, dada a sua resistência superior para dimensões de perfil inferiores.

Novamente, reforça-se que, dado o número elevado de combinações possíveis, estas constam em anexo, bem como as aplicáveis a cada perfil na respetiva nota de cálculo, também anexada (anexos 6.5 a 6.8).
Ora, tidos os perfis para simulação de comportamento estrutural, dado o caráter da análise a efetuar, é também essencial apresentar os parâmetros de cada elemento para análise.
Por parâmetros entende-se as configurações necessárias à correta análise do seu comportamento a nível de estabilidade, as imperfeições a considerar e todos os restantes que sustentam a verificação dos critérios apresentados nos subcapítulos seguintes.

3.5.2 Critério ELU

Visando a verificação do critério ELU, importa salientar que os pressupostos teóricos para verificação da resistência da secção transversal já se encontram descritos em 3.4, sendo apenas necessário apresentar as fórmulas e considerações necessárias à verificação de resistência à encurvadura, para o critério que se apresenta.
Deste modo, analisa-se a resistência à encurvadura por compressão e flexão[64] dos pilares, dado que estes suportam a maioria da carga aplicada.

- **Resistência à encurvadura – Compressão**

Primeiramente, analisa-se a resistência à encurvadura provocada por esforços de compressão, pelo que é necessário respeitar a condição que se apresenta.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,\,Rd}} \leq 1{,}0 \qquad \text{(Equação 11)}$$

O valor de N_{Ed}, valor de cálculo do esforço axial de compressão, resulta do comportamento da estrutura, tratando-se de um valor resultante das solicitações à estrutura.

[64] Encurvadura à flexão, pode também ser designada de bambeamento, sendo que encurvadura à compressão pode ser designada de varejamento.

Quanto ao valor de cálculo de resistência à encurvadura do elemento comprimido, $N_{b,\,Rd}$, este remete para o valor que deve ser respeitado, funcionando como valor de referência.
Para a sua obtenção, é necessária a determinação dos valores resultantes das fórmulas que se apresentam, bem como da classe de secção.

Para $N_{b,\,Rd}$, considera-se:

Para Classes 1, 2 e 3[65]:

$$N_{b,\,Rd} = \frac{\chi\, A\, f_y}{\gamma_{M1}} \qquad \text{(Equação 12)}$$

Para Classe 4:

$$N_{b,\,Rd} = \frac{\chi\, A_{eff}\, f_y}{\gamma_{M1}} \qquad \text{(Equação 13)}$$

Excetuando o valor do coeficiente de redução para o modo de encurvadura relevante, χ , todos as restantes incógnitas dependem do perfil e respetivo material em análise ou são tabelados.

Posto isto, considera-se:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \text{ mas, } \chi \leq 1{,}0 \qquad \text{(Equação 14)}$$

Com,

$$\Phi = 0{,}5\left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2\right] \qquad \text{(Equação 15)}$$

Note-se que, o valor de α, fator de imperfeição, obtém-se através dos Quadros 6.1 e 6.2, da norma NP EN 1993-1-1:2010, conforme secção, material e eixo solicitado.

Para Classes 1, 2 e 3[66]:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A\, f_y}{N_{cr}}} \qquad \text{(Equação 16)}$$

[65] Caso aplicável ao dimensionamento efetuado.
[66] Caso aplicável ao dimensionamento efetuado.

Para Classe 4:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff}\, f_y}{N_{cr}}} \qquad \text{(Equação 17)}$$

Sendo que,

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E\, I_z}{L_e^2} \qquad \text{(Equação 18)}$$

- **Resistência à encurvadura – Flexão**

A encurvadura provocada por esforços de flexão para casos gerais pode ser verificada através da expressão apresentada.

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,\,Rd}} \leq 1{,}0 \qquad \text{(Equação 19)}$$

Sendo que M_{Ed}, valor de cálculo de momento fletor atuante, remete para o valor verificado conforme solicitação da estrutura.
O valor de cálculo do momento fletor resistente à encurvadura, $M_{b,\,Rd}$, estabelece o limite de momento fletor até ao qual se verifica resistência adequada e calcula-se através das seguintes expressões:

$$M_{b,\,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \qquad \text{(Equação 20)}$$

Conforme a classe da secção:

Para Classe 1 ou 2 considera-se[67]:

$$W_y = W_{pl,y} \qquad \text{(Equação 21)}$$

Para Classe 3:

$$W_y = W_{el,y} \qquad \text{(Equação 22)}$$

Para Classe 4:

$$W_y = W_{eff,y} \qquad \text{(Equação 23)}$$

[67] Caso aplicável ao dimensionamento efetuado.

Sendo que, à exceção dos valores tabelados,

$$\chi_{LT}=\frac{1}{\Phi_{LT}+\sqrt{\Phi_{LT}^{2}-\overline{\lambda_{LT}}^{2}}} \text{ mas } \chi \leq 1,0 \qquad \text{(Equação 24)}$$

Com,

$$\Phi_{LT} = 0,5\left[1 + \alpha_{LT}(\overline{\lambda_{LT}} - 0,2) + \overline{\lambda_{LT}}^{2}\right] \qquad \text{(Equação 25)}$$

E,

$$\overline{\lambda_{LT}} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} \qquad \text{(Equação 26)}$$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi}{L}\sqrt{EI_Z GI_t}\sqrt{1 + \frac{\pi^2 EI_w}{L^2 GI_t}} \qquad \text{(Equação 27)}$$

No entanto, em casos de soldadura de ½ de viga a uma viga já existente (fenómeno mencionado posteriormente na verificação de encurvadura à flexão), consideram-se os critérios aplicáveis a secções soldadas equivalentes, tendo-se as seguintes fórmulas alteradas:

$$\chi_{LT}=\frac{1}{\Phi_{LT}+\sqrt{\Phi_{LT}^{2}-\overline{\beta\lambda_{LT}}^{2}}} \text{ mas } \chi \leq 1,0 \qquad \text{(Equação 28)}$$

$$\Phi = 0,5\left[1 + \alpha\left(\overline{\lambda_{LT}} - \overline{\lambda_{LT,0}}\right) + \lambda_{LT}^{2}\right] \qquad \text{(Equação 29)}$$

Com,
$\beta = 0,75$ e $\lambda_{LT,0} = 0,40$

- **Parâmetros de Encurvadura**

No que concerne o fenómeno de encurvadura aquando da sujeição da estrutura a esforços de compressão e/ou flexão, tem-se o exposto na tabela 27.

Tabela 27: Parâmetros de encurvadura

Grupo	Tipo de Encurvadura considerada	Configurações
1, 2 e 7	À compressão	Destinam-se a suportar carga do vento, pelo que a sua encurvadura provocada por esforços de compressão deve ser considerada.
3	À flexão	Assume-se contraventamento através de grupos 1 e 2, bem como madres de cobertura (grupo 9), com espaçamento de 1,70 metros.
4		Assume-se contraventamento através de madres de piso (grupo 10) com espaçamento de 0,50 metros.
5 6 8	À flexão e compressão	**Compressão em y:** Coeficiente de encurvadura correspondente a 1,0[68]. **Compressão em z:** Contraventamento através de grupos 1 e 7. **Flexão:** Assume-se contraventamento através de eventuais madres de revestimento[69].
9 10	Não considerada	Embora suportem carga, constituem apenas intermediários da mesma, para posterior suporte por parte das vigas principais.

- **Imperfeição Geométrica Global**

Para determinação do grau de imperfeição a aplicar, é necessário conhecer o desvio que pode ser causado por este fenómeno, de modo a proceder à sua simulação através de uma força horizontal equivalente, de acordo com o previsto em 5.3.2, (3), alínea (a) da norma NP EN 1993-1-1:2010.

Para efetuar o cálculo do desvio a aplicar, primeiro é necessário estabelecer amplitude da imperfeição (φ), de acordo com a seguinte fórmula.

$$\varphi = \varphi_0 \times \alpha_h \times \alpha_m \qquad \text{(Equação 30)}$$

[68] Consideração conservadora (2º teste), visando a máxima resistência. Numa fase inicial (1º teste) optou-se pelo coeficiente 0,7, apenas para efeitos de estudo de divergências entre perfis obtidos, caso que não se verificou.
[69] Não representadas.

Para a sua determinação, necessita-se de saber:

Valor de base:

$$\varphi_0 = 1/200 \qquad \text{(Equação 31)}$$

Coeficiente de redução,[70] em função da altura dos pilares (h):

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \qquad \text{(Equação 32)}$$

Coeficiente de redução, em função do número de colunas num piso (m):

$$\alpha_m = \sqrt{0{,}5 \times \left(1 + \frac{1}{m}\right)} \qquad \text{(Equação 33)}$$

Uma vez determinados todo os parâmetros de cálculo da amplitude da imperfeição, é possível, através de um sistema de forças horizontais equivalentes, determinar a força exercida pelas imperfeições sobre os pilares da estrutura.

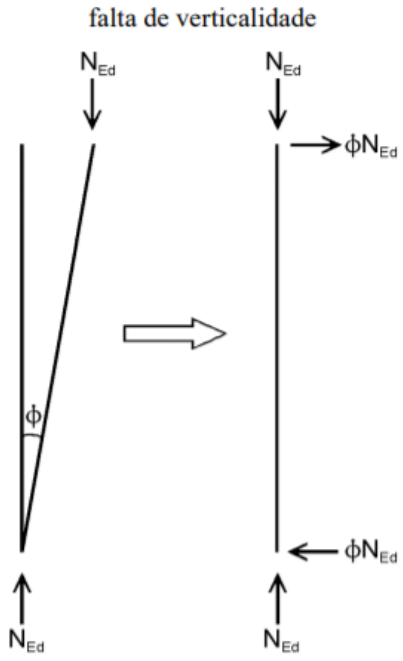


Figura 23: Sistema de forças horizontais equivalentes
[2]

[70] O respetivo valor de cálculo deve estar compreendido entre 2/3 e 1.

- **Parâmetros para Imperfeição Geométrica Global**

No que concerne as imperfeições geométricas globais, pretende-se aplicar o exposto em 3.5 aos pilares principais da estrutura metálica (grupo 5).
Para tal, é necessário apresentar os valores de cálculo considerados (tabela 28).

Tabela 28: Parâmetros e valores de cálculo de imperfeição

Parâmetro de cálculo	Valor de cálculo
$N_{Ed,\ imp}$= Reação de base em "z"	244,02 kN
m	2
h	6 metros
φ_0	1/200
α_h	0,816[71]
α_m	0,866

Com base no exposto na tabela 28 e em consonância com as fórmulas apresentadas em 3.5.2, tem-se que a amplitude da imperfeição geométrica global corresponde a 0,00354 radianos que, por sua vez, implica que $\varphi N_{Ed,\ imp}$ (força horizontal equivalente) apresente um valor correspondente a 0,864 kN, a aplicar na base e extremidade dos pilares principais.

3.5.3 Critério ELS

Dado o exposto, apresenta-se os requisitos vigentes em ELS, apresentados na tabela 29.

Tabela 29: Parâmetros de verificação ELS

Parâmetro em análise	Fórmula de verificação
Deflexão em z (Δ)	$u_z \leq \Delta$, com $\Delta = L/200$
Deflexão em y (Δ)	$u_y \leq \Delta$, com $\Delta = L/200$
Deslocamento em x (δ)	$v_x \leq \delta$, com $\delta = L/150$
Deslocamento em y (δ)	$v_y \leq \delta$, com $\delta = L/150$

O estudo referente a deflexões remete para deformações provocadas em vigas por esforços de flexão.

[71] Valor aceitável, dado que se encontra compreendido entre 2/3 e 1.

- **Parâmetros para critério ELS**

Para o presente critério é necessário verificar qual o caso de estudo que se aplica a cada grupo de elemento (tabela 30).

Tabela 30: Parâmetros para critério ELS

Grupo	Comportamento	Valores de cálculo de amplitude
1, 2 e 7	Deflexão em “y” e “z”	L/200
3	Deflexão em “y” e “z”	L/200
4	Deflexão em “y” e “z”	L/200
5	Deslocamento em “x” e “y”	L/150
6	Deslocamento em “x” e “y”	L/150
8	Deslocamento em “x” e “y”	L/150
9	Deflexão em “y” e “z”	L/200
10	Deflexão em “y” e “z”	L/200

No que concerne os deslocamentos, estes são aplicáveis a pilares e pilaretes, cujas extremidades podem exibir algum deslocamento face à sua posição inicial, por influência de forças axiais.

3.5.4 Processo iterativo

À semelhança de 3.4.2, apresenta-se o processo iterativo de análise estrutural geometricamente linear de 1ª ordem.
O processo iterativo efetuado para a seguinte análise visa a consideração de parâmetros de encurvadura e de critério ELS, numa fase inicial (1º e 2º testes, que diferem apenas na consideração de coeficientes de encurvadura).

Obtidos os respetivos resultados, procede-se à fase seguinte que engloba a aplicação da imperfeição geométrica global (3º teste)

Finalmente, para finalizar a obtenção de perfis com consideração dos fenómenos de encurvadura, mantém-se todas as considerações da segunda iteração, procurando apenas otimizar os perfis considerados.

Por otimização entende-se a substituição de perfil IPE por perfil HEA em pilares principais e de piso, dado o seu caráter mais resistente em contexto de estabilidade (4º teste).
Note-se que, tal como elencado previamente, o programa de cálculo estrutural encarrega-se de alterar a o valor atribuído à ação permanente e respetivas combinações, conforme alterações efetuadas aos perfis estruturais.

No decurso das simulações (1 até 4), consideram-se todos os apoios de base como articulados.
Ora, esta consideração decorre num fenómeno de incumprimento de requisitos do critério ELS no que concerne os deslocamentos verificados para os pilares principais e de piso.
Dado que a alteração de perfis não soluciona esta situação eficazmente, procede-se à alteração de ligação de base para os elementos elencados (pilares principais e de piso), sendo que estes se consideram encastrados num 5º teste.

É de salientar que não se verifica, necessariamente, compatibilidade de perfis para verificação de critérios ELU e ELS, isto é, os resultados finais não são iguais, obrigatoriamente.

Deste modo, embora se apresente ambos os resultados, opta-se sempre pelo perfil de maior dimensão, visando respeitar ambas as condições.
Os resultados finais obtidos encontram-se sumarizados na tabela que se segue (tabela 31).

Tabela 31: Esquema de iteração - Análise linear 1ª ordem

Grupo	**1º e 2º teste**	**3º teste**	**4º teste**	**5º teste**
1,2 e 7	Tubo 88x2,5mm	Tubo 88x2,5mm	Tubo 88x2,5mm	Tubo 88x2,5mm
3	IPE270	IPE270	IPE270	IPE270
4	HEB40	HEB40	HEB40	HEB240
5	IPE330	IPE330	HEA240	HEA240
6	IPE300	IPE300	HEA200	HEA220
8	IPE140	IPE140	IPE140	IPE140
9	IPE120	IPE120	IPE120	IPE120
10	IPE160	IPE160	IPE160	IPE160

Como se pode verificar, dado o seu valor reduzido comparativamente às restantes cargas, a consideração da imperfeição geométrica global não surtiu qualquer efeito na obtenção de perfis metálicos distintos dos pré-existentes.

No entanto, verifica-se uma otimização de perfis para pilares principais e de piso satisfatório, resultando numa diminuição significativa de dimensões, possibilitada pela alteração de perfil (IPE para HEA), bem como de ligação de base (articulada para encastrada).[72]

[72] Salienta-se que, em contexto de obra, é essencial visar o aproveitamento de área de construção, procurando otimizar ao máximo (dentro dos parâmetros de segurança) os perfis selecionados.

É de notar que a adição do estudo dos critérios ELS, permite verificar que este critério impõe o aumento de perfil para as madres de cobertura e de piso (grupos 9 e 10), contrariamente ao que o critério ELU requer. Para garantir cumprimento de todos os critérios adotam-se os perfis mais robustos (correspondente aos resultantes do critério ELS).

3.5.5 Verificação analítica de critérios ELU e ELS

Tal como verificado no subcapítulo prévio, referente à análise de resistência dos elementos estruturais, procede-se à verificação analítica dos resultados enunciados em 3.5.4.

Para tal, novamente, procede-se o estudo das combinações que conferem o carácter mais crítico ao comportamento de cada grupo de elementos estruturais, procedendo ao seu cálculo.

Por cálculo, entende-se a inserção das combinações posteriormente apresentadas, manualmente, no *software* de cálculo estrutural (*Robot*), visando a obtenção dos diagramas ou da informação necessária à sua elaboração, em consonância com a verificação dos resultados presentes nas notas de cálculo previamente obtidas.

Mais ainda, com o intuito de uma verificação de critérios mais meticulosa, procede-se também ao cálculo dos valores admissíveis a considerar aquando da verificação das inequações integrantes dos critérios ELU e ELS.

Deste modo, com base na identificação de grupos de elementos já explicitada, apresentam-se as combinações aplicáveis a cada caso de estudo, bem como a sua formulação (tabelas 32 e 33).

Tabela 32: Fórmulas de combinação ELU/ELS

Critério de combinação	Combinação	Fórmula de combinação
ELU	1	(DL1+FHE TOPO+FHE BASE)×1,35 + LL1×1,50 + LL2×1,50 + NE1×0,50×1,50
	2	(DL1+FHE TOPO+FHE BASE)×1,00 + LL2×1,35 + VENTO(X-)×1,50
	3	(DL1+FHE TOPO+FHE BASE)×1,35 + LL1×1,50 + LL2×1,50 + VENTO(Y+)×0,60×1,50 + NE1×0,50×1,50
	4	(DL1+FHE TOPO+FHE BASE)×1,35 + LL2×1,50 + VENTO(Y-)×1,50 + NE1×0,50×1,50
	5	DL1×1,35 + (FHE TOPO + FHE BASE)×1,00 + LL1×1,50 + LL2×1,50 + NE1×0,50×1,50
ELS	1	DL1×1,00 + LL2×1,00 + VENTO(Y+)×0,60 + NE1×1,00 + FHE TOPO×1,00 + FHE BASE×1,00
	2	DL1×1,00 + LL2×1,00 +LL1×1,00+ NE1×0,50 + VENTO (X+)×0,60 + FHE TOPO×1,00 + FHE BASE×1,00
	3	DL1×1,00 + LL2×1,00 + VENTO(X+)×1,00 + FHE TOPO×1,00 + FHE BASE×1,00
	4	DL1×1,00 + LL2×1,00 + LL1×1,00 + VENTO(X-)×0,60 + NE1×0,50 + FHE TOPO×1,00 + FHE BASE×1,00
	5	DL1×1,00 + LL2×1,00 + VENTO(Y+)×0,60 + FHE TOPO×1,00 + FHE BASE×1,00
	6	DL1×1,00 + LL2×1,00 + LL1×1,00 + NE1×0,50 + FHE TOPO×1,00 + FHE BASE×1,00
	7	DL1×1,00 + LL1×1,00 + LL2×1,00 + VENTO(Y+)×0,60 + NE1×0,50 + FHE TOPO×1,00 + FHE BASE×1,00
	8	DL1×1,00 + LL2×1,00 + VENTO(Y-)×1,00 + NE1×0,50 + FHE TOPO×1,00 + FHE BASE×1,00
	A	DL1×1,00 + LL2×1,00 + LL1×1,50 + VENTO(X+)×0,60 + NE1×0,50 + FHE TOPO×1,00 + FHE BASE×1,00
	B	DL1×1,00 + LL2×1,00 + VENTO(Y+)×1,00 + FHE TOPO×1,00 + FHE BASE×1,00
	C	DL1×1,00 + LL2×1,00 + LL1×1,00 + NE1×0,50 + FHE TOPO×1,00 + FHE BASE×1,00
	D	DL1×1,00 + LL2×1,00 + VENTO(X-)×1,00 + FHE TOPO×1,00 + FHE BASE×1,00
	E	DL1×1,00 + LL2×1,00 + VENTO(X+)×1,00 + FHE TOPO×1,00 + FHE BASE×1,00
	F	DL1×1,00 + LL1×1,00 + LL2×1,00 + VENTO(Y-)×0,60 + NE1×0,50 + FHE TOPO×1,00 + FHE BASE×1,00

Tabela 33: Combinações de ações ELU/ELS

Grupo de elementos	Combinação ELU	Combinação ELS
1: Travamento de pórticos	Combinação 1	Combinações 1 e 2
2: Contraventamento extremidade	Combinação 1	Combinações 3 e 4
3: Vigas principais	Combinação 1	Combinações 5 e 6
4: Vigas piso	Combinação 1	Combinações 5 e 6
5: Pilares principais	Combinação 1	Combinações A e B
6: Pilares piso	Combinação 2	Combinações C e D
7: Contraventamento lateral	Combinação 3	Combinação 7
8: Pilaretes	Combinação 4	Combinações E e F
9: Madres cobertura	Combinação 5	Combinação 6
10: Madres piso	Combinação 4	Combinações 2 e 8

Note-se que, a quantidade de combinações em ELS associada apenas a um grupo de elementos prende-se com a direção da deflexão/deslocamento em análise, que se revela mais crítica em combinações distintas.

3.5.5.1 Critério ELU e Encurvadura

Uma vez obtidas as combinações e aplicadas à simulação em estudo, é possível a obtenção dos esforços constantes na tabela 34, aos quais correspondem os respetivos diagramas, devidamente anexados.

Tabela 34: Esforços obtidos ELU

Grupo de elementos	Tipo de esforço	Valor obtido	Diagrama
1: Travamento pórticos	Normal (N)	-26,26 kN	Anexo 6.8; Diagrama 1
2: Contrav. extremidade	Normal (N)	-59,48 kN	Anexo 6.8; Diagrama 2
3: Vigas principais	Normal (N)	45,99 kN	Anexo 6.8; Diagrama 3
	Transverso (V)	50,65 kN	
	Fletor y (M_y)	-158,66 kN.m	
4: Vigas piso	Normal (N)	11,99 kN	Anexo 6.8; Diagrama 4
	Transverso (V)	-1,87 kN	
	Fletor y (M_y)	235,26 kN.m	
5: Pilares principais	Normal (N)	55,33 kN	Anexo 6.8; Diagrama 5
	Transverso (V)	41,88 kN	
	Fletor y (M_y)	164,67 kN.m	
6: Pilares piso	Normal (N)	190,12 kN	Anexo 6.8; Diagrama 6
	Transverso (V)	-36,80 kN	
	Fletor y (M_y)	-105,59 kN.m	

7: Contrav. Lateral	Normal (N)	-33,67 kN	Anexo 6.8; Diagrama 7
8: Pilaretes	Normal (N)	10,66 kN	Anexo 6.8; Diagrama 8
	Transverso (V)	0,15 kN	
	Fletor y (M_y)	-15,68 kN.m	
9: Madres cobertura	Normal (N)	-1,36 kN	Anexo 6.8; Diagrama 9
	Fletor y (M_y)	6,85 kN.m	
	Fletor z (M_z)	0,68 kN.m	
10: Madres piso	Normal (N)	0	Anexo 6.8; Diagrama 10
	Transverso (V)	-14,12 kN	
	Fletor y (M_y)	18,06 kN.m	

Ora, finda a obtenção de esforços, procede-se ao cálculo dos respetivos valores admissíveis, conforme características associadas a cada perfil e presentes na tabela 35, de modo a verificar se estes cumprem todos os requisitos impostos.

Tabela 35: Características das secções

Valor de cálculo	**Tubo 88x2,5 mm**	**IPE 270**	**HEB 240**	**HEA 240**	**HEA 220**	**IPE 120**	**IPE 160**	**IPE 140**
A (cm^2)	6,79	45,95	106	76,84	64,34	13,21	20,09	16,43
f_y (MPa)	275	275	275	275	275	275	275	275
γ_{M0}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$W_{pl,y}$ (cm^3)	18,67	1012,87	1053	744,6	568,5	60,73	123,9	88,34
A_v (cm^2)	4,32	22,14	33,23	25,18	20,67	6,31	9,66	7,64

Deste modo, tem-se o exposto na tabela 36.

Tabela 36: Esforços admissíveis ELU

Grupo de elementos	Tipo de esforço	Valor admissível
1: Travamento pórticos	$N_{C,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$	186,73 kN
2: Contrav. extremidade	$N_{C,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$	186,73 kN
3: Vigas principais	$N_{C,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$	1263,63 kN
	$V_{C,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v (f_y/\sqrt{3}) / \gamma_{M0}$	351,52 kN
	$M_{C,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$	278,54 kN.m
4: Vigas piso	$N_{C,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$	2915 kN
	$V_{C,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v (f_y/\sqrt{3}) / \gamma_{M0}$	527,60 kN
	$M_{C,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$	289,58 kN.m
5: Pilares principais	$N_{C,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$	2113,10 kN
	$V_{C,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v (f_y/\sqrt{3}) / \gamma_{M0}$	399,79 kN
	$M_{C,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$	289,58 kN.m
6: Pilares piso	$N_{C,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$	1769,35 kN
	$V_{C,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v (f_y/\sqrt{3}) / \gamma_{M0}$	328,18 kN
	$M_{C,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$	156,34 kN.m
7: Contrav. Lateral	$N_{C,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$	186,73 kN
8: Pilaretes	$N_{C,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$	451,83 kN
	$V_{C,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v (f_y/\sqrt{3}) / \gamma_{M0}$	121,3 kN
	$M_{C,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$	24,29 kN.m
9: Madres cobertura	$N_{C,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$	363,28 kN
	$M_{C,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$	16,7 kN.m
	$M_{C,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$	16,7 kN.m
10: Madres piso	$N_{C,Rd} = A f_y / \gamma_{M0}$	552,48 kN
	$V_{C,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v (f_y/\sqrt{3}) / \gamma_{M0}$	153,37 kN
	$M_{C,Rd} = W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$	34,07 kN.m

Note-se que, para o momento crítico do perfil IPE270 (Grupo 3), considera-se a área de secção como sendo a que possui um elemento de ½ viga IPE270 como reforço, alterando o valor de $W_{pl,y}$ e I_z.
Como se pode verificar através da comparação entre as tabelas 34 e 36, todos os valores obtidos na simulação computacional encontram-se dentro dos parâmetros de resistência de secção previstos no critério ELU.

No que concerne os parâmetros previstos no critério ELU para verificação de resistência à encurvadura, de acordo com as fórmulas apresentadas em 3.5, procede-se à elaboração das seguintes tabelas (tabelas 37 e 38), visando a fundamentação dos cálculos efetuados, em consonância com a informação presente na tabela 35.

Tabela 37: Valores de cálculo encurvadura à compressão

Valor de cálculo	HEA240	HEA220	IPE140	Tubo 88x2,5 mm		
	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 8	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 7
γ_{M1}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
I_z (cm^4)	2769	1955	44,92	63,37	63,37	63,37
E (GPa)	210	210	210	210	210	210
L_e=L (m)	6,00	3,50	7,00	5,00	5,60	5,83
N_{cr} (kN)	1594,19	3307,73	19,00	52,54	41,88	38,64
$\bar{\lambda}$	1,15	0,73	4,87	0,60	0,67	0,70
α[73]	0,49	0,49	0,34	0,49	0,49	0,49
Φ	1,39	0,90	13,15	0,78	0,84	0,87
χ	0,46	0,70	0,037	0,78	0,74	0,72

Obtidos todos os parâmetros necessários aos cálculos a efetuar, na seguinte tabela apresentam-se os resultados obtidos para a verificação de resistência à encurvadura à compressão.

Tabela 38: Esforços obtidos/admissíveis - Encurvadura à compressão

Grupo de elementos	Valor obtido (N_{Ed})	Valor admissível ($N_{b,Rd}$)
1: Travamento pórticos	-26,26 kN	145,65 kN
2: Contrav. extremidade	-59,48 kN	138,18 kN
5: Pilares principais	55,33 kN	972,03 kN
6: Pilares piso	190,99 kN	1240,43 kN
7: Contrav. lateral	-33,67 kN	134,44 kN
8: Pilaretes	10,66 kN	16,63 kN

De seguida, apresentam-se os cálculos associados à encurvadura à flexão, para os grupos de elementos já explicitados em "Parâmetros de Encurvadura".

[73] Fator de imperfeição para as curvas de encurvadura, conforme tipo de perfil e eixo solicitado, presente nos Quadros 6.1 e 6.2, constantes no EC3-1-1.

Tabela 39: Valores de cálculo de encurvadura à flexão

Valor de cálculo	IPE 270	HEB 240	HEA240	HEA220	IPE140
	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 8
γ_{M1}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
I_z (cm^4)	629,49	3923	2769	1954,60	44,92
E (GPa)	210	210	210	210	210
L_e=L (m)	1,70	0,50	1,05	3,50	1,20
W_y=$W_{pl,y}$ (cm^3)	1012,87	1053	744,60	568,50	88,34
M_{cr} (kN.m)	803,01	5880	4090	829,63	40,49
C_1	0,712	1,132	3,093	3,009	1,132
G (GPa)	80,77	80,77	80,77	80,77	80,77
I_w x 10^{-3} (cm^6)	233,16	486,9	328,25	193,33	1,98
I_t (cm^4)	348,87	102,7	41,55	28,46	2,45
$\overline{\lambda_{LT}}$	0,59	0,22	0,22	0,43	0,77
α_{LT}	0,49	0,21	0,21	0,21	0,21
Φ_{LT}	0,72	0,53	0,53	0,62	0,86
χ_{LT}	0,81	0,99	0,99	0,94	0,80

Note-se que, nos grupos 3 a 5 e 8, o valor de L_e (m) não corresponde ao comprimento total do elemento.
Este facto, já explicitado, prende-se com a consideração de madres de revestimento de fachada a atuar como travamento, sendo que o comprimento estudado remete para o comprimento livre entre madres.

Finda a verificação prévia, apresentam-se os resultados referentes à verificação de resistência à encurvadura por flexão.

Tabela 40: Esforços obtidos/admissíveis - Encurvadura à flexão

Grupo de elementos	Valor obtido (M_{Ed})	Valor admissível ($M_{b,Rd}$)
3: Vigas principais	158,66 kN.m	225,62 kN.m
4: Vigas piso	235,26 kN.m	286,68 kN.m
5: Pilares Principais	164,67 kN.m	202,72 kN.m
6: Pilares piso	- 105,59 kN.m	146,96 kN.m
8: Pilaretes	-15,68 kN.m	19,43 kN.m

Para concluir, pode-se afirmar que a estrutura é resistente a efeitos de encurvadura de ambas as naturezas elencadas.

3.5.5.2 Critério ELS

Tidas as combinações necessárias à formulação dos diagramas de deflexão e deslocamento da estrutura e respetivos grupos de elementos, procede-se à apresentação dos valores obtidos[74], bem como os respetivos valores admissíveis.
Posto isto, apresenta-se a tabela 41, que apresenta os deslocamentos e deflexões verificados, o comprimento de cada elemento estudado (médio) e a identificação/localização do respetivo diagrama.

Tabela 41: Deslocamento e Deflexões obtidos

Grupo de elementos	Comprimento (L)	Tipo de esforço	Valor obtido	Diagrama
1: Travamento pórticos	5,00 m	u_y	0	Não aplicável
		u_z	0	
2: Contrav. extremidade	5,60 m	u_y	0	Não aplicável
		u_z	0	
3: Vigas principais	10,05 m	u_y	0	Anexo 6.9; Diagrama 1
		u_z	-2,30 cm	
4: Vigas piso	6,00 m	u_y	0	Anexo 6.9; Diagrama 2
		u_z	-2,40 cm	
5: Pilares principais	6,00 m	v_x	1,60 cm	Anexo 6.9; Diagrama 3
		v_y	0,10 cm	
6: Pilares piso	3,50 m	v_x	1,70 cm	Anexo 6.9; Diagrama 4
		v_y	0	
7: Contrav. Lateral	5,83 m	u_y	0	Não aplicável
		u_z	0	
8: Pilaretes	7,00 m	v_x	0,40 cm	Anexo 6.9; Diagrama 5
		v_y	-0,50 cm	
9: Madres cobertura	5,00 m	u_y	-2,10 cm	Anexo 6.9; Diagrama 6
		u_z	-1,80 cm	
10: Madres piso	5,00 m	u_y	0	Anexo 6.9; Diagrama 7
		u_z	-1,70 cm	

No que concerne os valores admissíveis de acordo com o critério ELS, tem-se o exposto na tabela 42, conforme fórmulas previamente apresentadas em 3.5.1 (“Parâmetros de ELS”).

[74] Também presentes na nota de cálculo, onde constam as respetivas combinações consideradas (anexo 6.7).

Tabela 42: Deslocamentos e Deflexões admissíveis

Grupo de elementos	Deflexão em "y" e "z" (Δ)	Deslocamento em "x" e "y" (δ)
1: Travamento pórticos	2,50 cm	Não aplicável
2: Contrav. extremidade	2,80 cm	Não aplicável
3: Vigas principais	5,00 cm	Não aplicável
4: Vigas piso	3,00 cm	Não aplicável
5: Pilares principais	Não aplicável	4,00 cm
6: Pilares piso	Não aplicável	2,30 cm
7: Contrav. Lateral	2,90 cm	Não aplicável
8: Pilaretes	Não aplicável	4,70 cm
9: Madres cobertura	2,50 cm	Não aplicável
10: Madres piso	2,50 cm	Não aplicável

Novamente, como se pode verificar através da comparação entre as tabelas 41 e 42, todos os critérios estão dentro dos parâmetros admissíveis.

3.6 Dimensionamento de ligações metálicas

O presente subcapítulo destina-se ao dimensionamento das ligações metálicas (soldadas e aparafusadas) existentes na estrutura a projetar, com base nos tipos existentes e previamente apresentados em 2.1.5.
Para total compreensão do conteúdo a apresentar neste subcapítulo, procede-se ao dimensionamento computacional e analítico das ligações metálicas a projetar.
No decurso da apresentação dos diferentes cálculos, apresentam-se algumas imagens representativas do tipo de ligação em estudo (aparafusada e soldada), nas figuras 24 a 43.

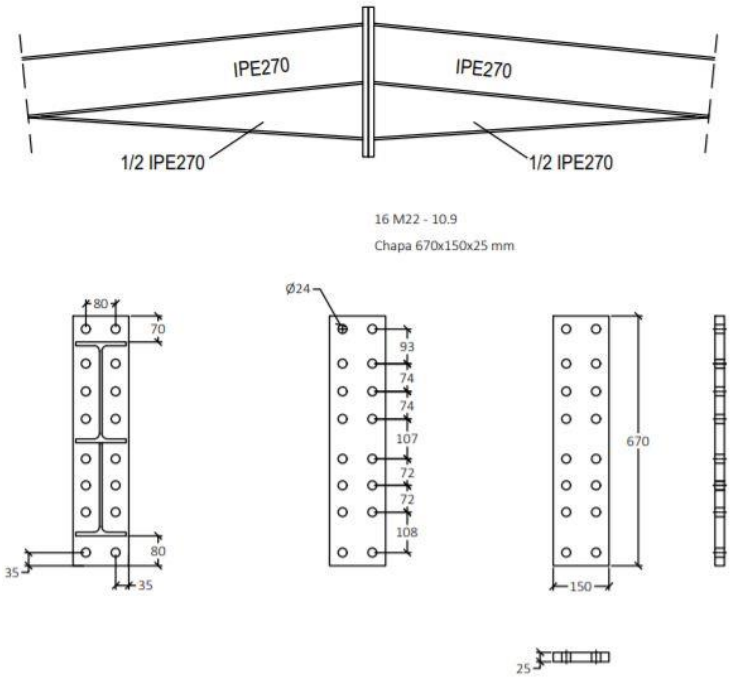


Figura 24: Ligação Tipo 1

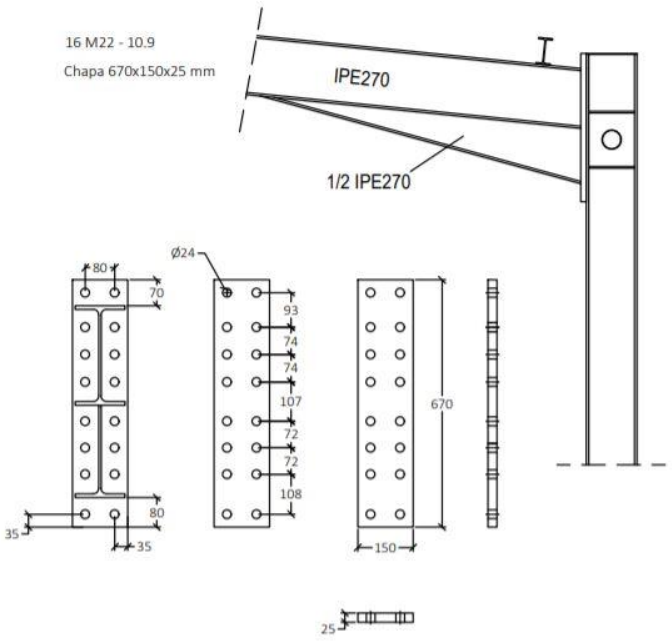


Figura 25: Ligação Tipo 2

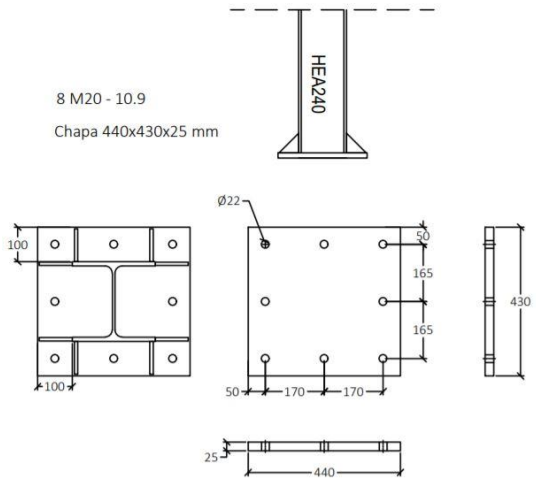


Figura 26: Ligação Tipo 3

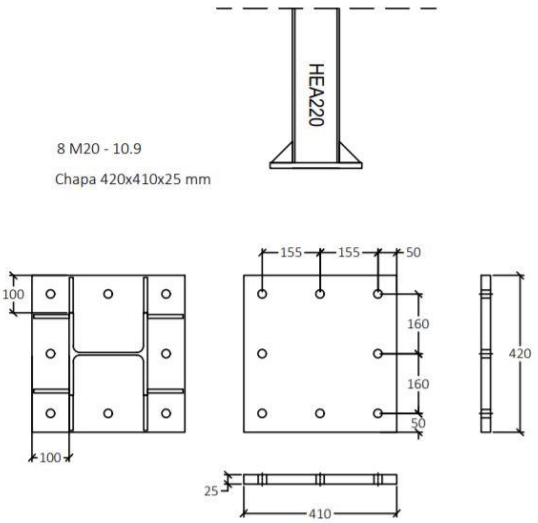


Figura 27: Ligação Tipo 4

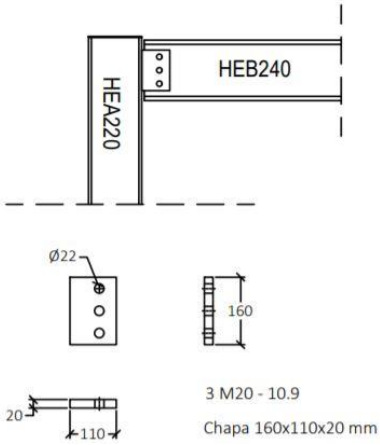


Figura 28: Ligação Tipo 5

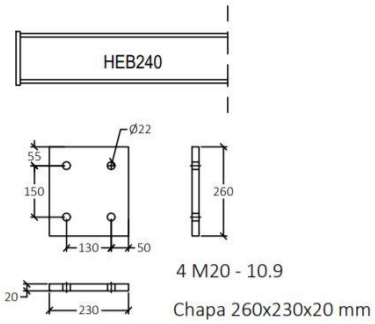


Figura 29: Ligação Tipo 6.1

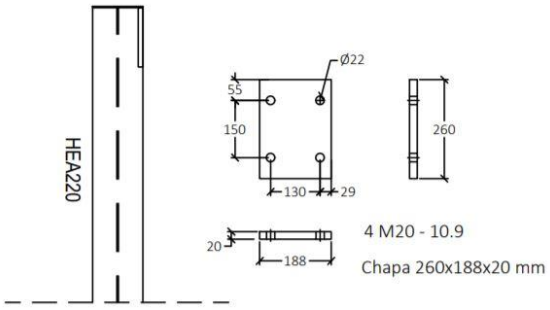


Figura 30: Ligação Tipo 6.2

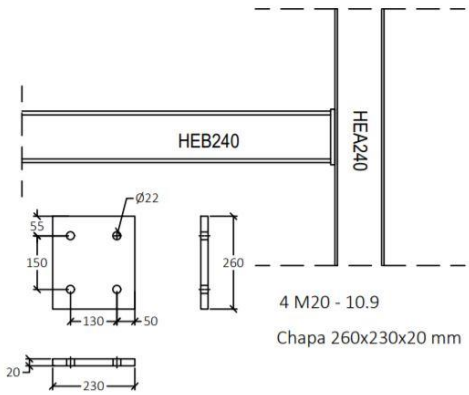


Figura 31: Ligação Tipo 7

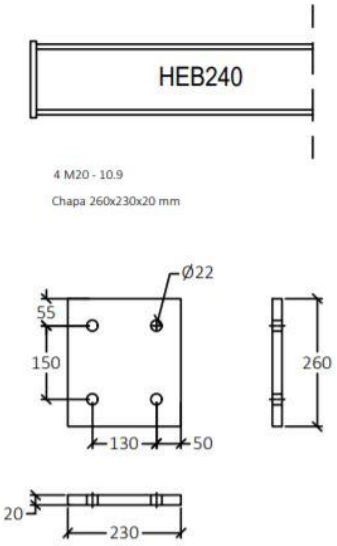


Figura 32: Ligação Tipo 8.1

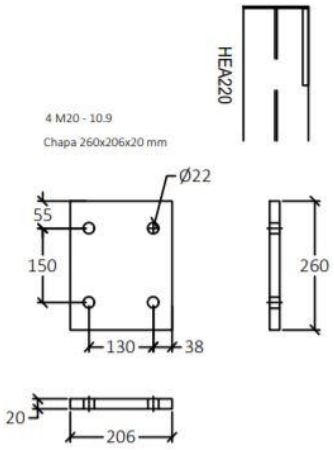


Figura 33: Ligação Tipo 8.2

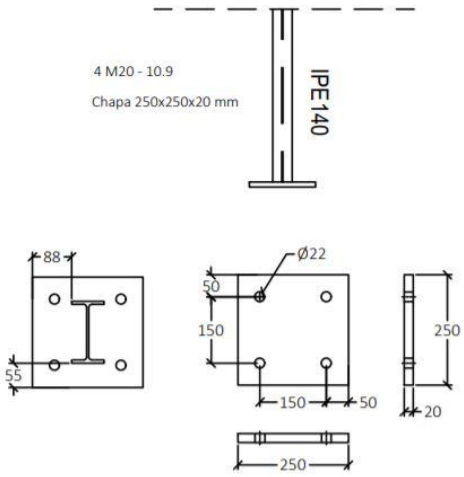


Figura 34: Ligação Tipo 9

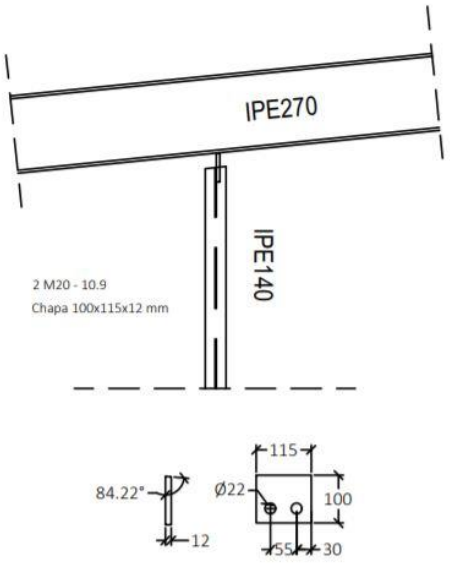


Figura 35: Ligação Tipo 10

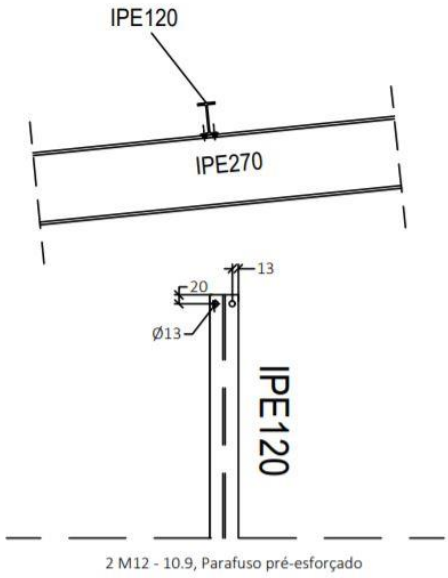


Figura 36: Ligação Tipo 11

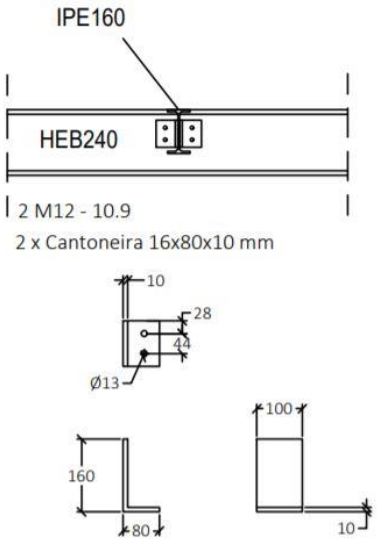


Figura 37: Ligação Tipo 12

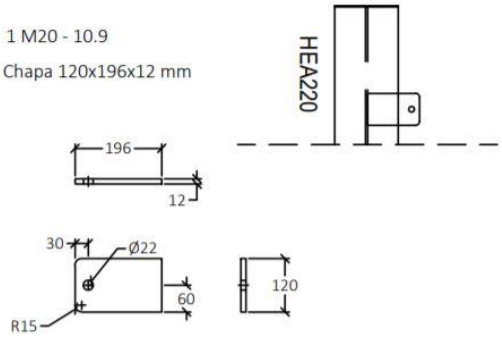


Figura 38: Ligação Tipo 13

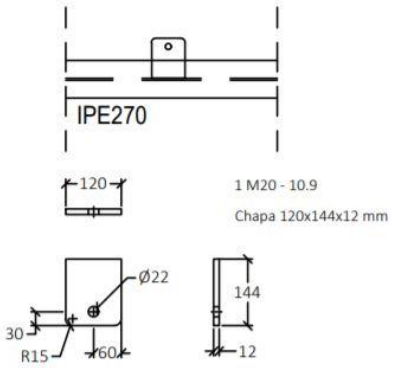


Figura 39: Ligação Tipo 14a

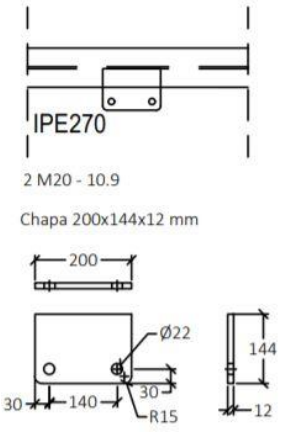


Figura 40: Ligação Tipo 14b

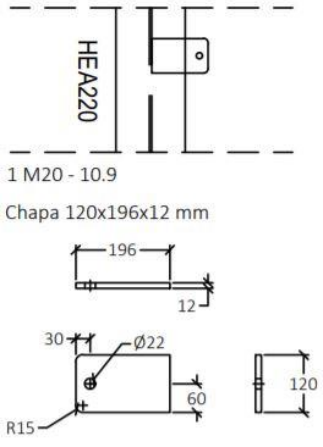


Figura 41: Ligação Tipo 15a

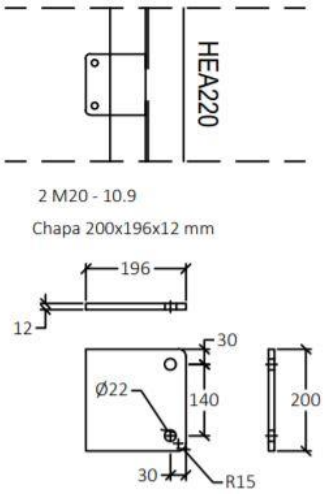


Figura 42: Ligação Tipo 15b

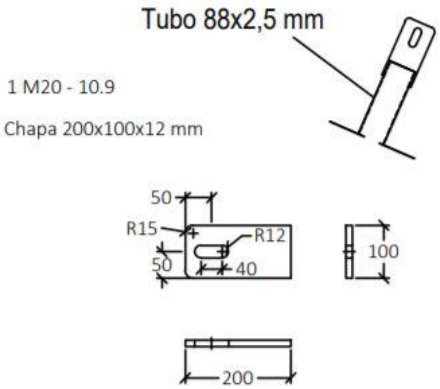


Figura 43: Ligação Tipo 16

3.6.1 Dimensionamento analítico de ligações aparafusadas

Primeiramente, inicia-se o dimensionamento analítico das ligações aparafusadas para determinar quais as ligações mais adequadas à estrutura metálica a projetar, facilitando, deste modo, a posterior simulação computacional do comportamento das mesmas.

Para tal, de acordo com o estipulado no EC3-1-8, referente às normas vigentes na projeção de ligações metálicas, é necessário deter conhecimento dos valores de base necessários para o procedimento a efetuar.
Note-se que, no presente subcapítulo, pretende-se verificar a resistência das placas de ligação e respetivos parafusos.

Ora, nas ligações da estrutura metálica estudada no âmbito desta dissertação, pretende-se apenas a classe 10.9 de parafusos e aço S275 para as respetivas placas, pelo que se necessita da informação presente na tabela 43.

Tabela 43: Propriedades dos parafusos e chumbadouros

Valor nominal	Classe 10.9 do parafuso	Aço S275 da placa
Cedência (MPa)	f_{yb} = 900	f_y = 275
Rotura (MPa)	f_{ub} = 1000	f_u = 430

E consonância com as figuras 28 a 47, apresenta-se a tabela 44, em que se explicita as ligações aparafusadas a analisar.

Tabela 44: Ligações aparafusadas - Tipos

Tipo de ligação	Descrição	Elementos unidos	Geometria e parafusos
1	Viga-viga	Vigas principais	**Placa:** 670x150x25 mm **Parafusos:** 16 M22-10.9
2	Viga-pilar	Viga principal e pilar principal	**Placa:** 670x150x25 mm **Parafusos:** 16 M22-10.9
3	Base pilar	Pilar principal	**Placa:** 440x430x25 mm **Chumb.:** 8 M20-10.9
4	Base pilar	Pilar piso	**Placa:** 420x410x25 mm **Chumb.:** 8 M20-10.9
5	Viga-pilar	Viga piso (x) e pilar piso	**Placa:** 160x110x20 mm **Parafusos:** 3 M20-10.9
6	Viga-pilar	Viga piso (y) e pilar piso	**Placa:** 260x230x20 mm **Parafusos:** 4 M20-10.9
7	Viga-pilar	Viga piso (x) e pilar principal	**Placa:** 260x230x20 mm **Parafusos:** 4 M20-10.9
8	Viga-pilar	Viga piso (y) e pilar principal	**Placa:** 260x230x20 mm **Parafusos:** 4 M20-10.9
9	Base pilar	Pilarete	**Placa:** 250x250x20 mm **Chumb.:** 4 M20-10.9
10	Viga-pilar	Viga principal e pilarete	**Placa:** 100x115x12 mm **Parafusos:** 2 M20-10.9
11	Madre-viga	Madre cobertura e viga principal	**Perfil:** IPE120 (Banzo) **Parafusos:** 2 M12-10.9
12	Madre-viga	Madre piso e viga piso	**L:** 160x80x10 mm **Parafusos:** 2 M12-10.9
13	Pilar-tubular	Pilar principal e travamento pórtico	**Placa:** 120x196x12 mm **Parafusos:** 1 M20-10.9
14a	Viga-tubular	Viga principal e contrav. extremidade (unit.)	**Placa:** 120x144x12 mm **Parafusos:** 1 M20-10.9
14b	Viga-tubular	Viga principal e contrav. extremidade (duplo)	**Placa:** 200x144x12 mm **Parafusos:** 2 M20-10.9
15a	Viga-tubular	Viga principal e contrav. lateral (unit.)	**Placa:** 120x196x12 mm **Parafusos:** 1 M20-10.9
15b	Viga-tubular	Viga principal e contrav. lateral (duplo)	**Placa:** 200x196x12 mm **Parafusos:** 2 M20-10.9
16	Patilha	Tubular e patilha	**Placa:** 200x100x12 mm **Parafusos:** 1 M20-10.9

- **<u>Algumas notas importantes:</u>**

1) Por unitário e duplo, entende-se, respetivamente, a ligação de 1 perfil tubular à/ao viga/pilar e a ligação de 2 perfis tubulares à/ao viga/pilar.

2) A patilha remete para o meio de ligação entre o perfil tubular e a placa de ligação (14a, 14b, 15a ou 15b), conforme figura 43.

3) A patilha possui um furo ovalizado, pelo que determinados parâmetros de verificação diferem dos restantes, como se pode verificar posteriormente.

4) Para a ligação tipo 11, os parafusos são pré-esforçados.

No que concerne a verificação de resistência dos parafusos e respetivas placas de ligação, é necessário elencar as fórmulas existentes para o efeito.

- **Verificação de resistência dos parafusos para ligações ao corte**

No tocante à verificação de resistência dos parafusos é necessário tomar em consideração os critérios elencados nos Quadros 3.2 e 3.4 da norma EN NP 1993-1-8:2010, para as categorias B e D, referentes, respetivamente, a esforços de corte e tração.

1) Resistência ao corte por plano de corte

$$F_{V,Ed} \leq F_{V,Rd} \qquad \text{(Equação 34)}$$

Com,

$$\frac{V}{n \times m} \leq \frac{\alpha_v \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} \qquad \text{(Equação 35)}$$

Note-se que, para parafusos de classe 10.9 (aplicáveis às ligações em estudo), assume-se para α_v o valor 0,5.

2) Resistência ao esmagamento

$$F_{V,Rd} \leq F_{b,Rd} \qquad \text{(Equação 36)}$$

Com,

$$\frac{V}{n \times m} \leq \frac{k_1 \times \alpha_b \times f_u \times t \times d_0}{\gamma_{M2}} \qquad \text{(Equação 37)}$$

No caso de cálculo dos valores k_1 e α_b, considera-se, conforme caso aplicável, o menor valor obtido dos cálculos a efetuar, previstos também no Quadro 3.4 da norma EN NP 1993-1-8:2010.

Note-se que, para casos em que há existência de furos ovalizados[75] deve ser considerado para efeitos de ligação, 60% do valor resistente calculado para efeitos de verificação de critério[76].

3) Resistência à tração

$$F_{t,Rd} \leq B_{p,Rd} \qquad \text{(Equação 38)}$$

Com,

$$\frac{k_2 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} \leq \frac{0,6 \times \pi \times d_m \times t_p \times f_u}{\gamma_{M2}} \qquad \text{(Equação 39)}$$

O valor a considerar para k_2 corresponde a 0,9, dado que os parafusos determinados possuem cabeça de embeber.

4) Resistência combinada de tração com corte

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \times F_{t,Rd}} \leq 1,0 \qquad \text{(Equação 40)}$$

Em que, à exceção de $F_{t,Ed}$, todos os valores são conhecidos através das verificações prévias, pelo que o seu valor é determinado através das seguintes fórmulas:

$$F_{t,Ed} = \frac{N_{Ed}}{n} + \frac{M_{j,Rd}}{r} \qquad \text{(Equação 41)}$$

Em que,
n - Número de parafusos na ligação

$$M_{j,Rd} = \sum_r h_r \times F_{tr,\,Rd} \qquad \text{(Equação 42)}$$

[75] Elemento de ligação designado de “patilha”.
[76] Indicação presente em nota 1) do Quadro 3.4 da norma EN NP 1993-1-8:2010.

r – Número de fiadas de parafusos
h_r – Distância do centro da fiada de parafusos "r" ao centro de compressão da peça ligada

Por centro de compressão entende-se a distância entre o centro da fiada de parafusos ao centro do banzo inferior do perfil ligado (zona em compressão).

- **Verificação de resistência de ligações pré-esforçadas**

As ligações pré-esforçadas remetem para utilização de parafusos pré-esforçados, sendo que é necessário calcular a resistência dos mesmos, bem como o respetivo aperto, de acordo com as normas NP EN 1993-1-8:2010 e EN 1090-2.

Deste modo, tem-se que,

1) Valor de cálculo de pré-esforço[77]

$$F_{p,Cd} = 0{,}7 \times f_{ub} \times A_s \qquad \text{(Equação 43)}$$

2) Valor de resistência de pré-esforço

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \times m_{atrito} \times \mu}{\gamma_{M7}} \times F_{p,Cd} \qquad \text{(Equação 44)}$$

3) Avalia-se também a resistência da ligação ao esmagamento ($F_{b,\,Rd}$) e à tração ($N_{net,\,Rd}$), conforme fórmulas já apresentadas, ou a apresentar.

4) O valor total de resistência da ligação dá-se pelo produto do menor dos valores prévios pelo número de parafusos pré-esforçados.

5) Valor de momento de aperto do parafuso pré-esforçado

$$M_p = 0{,}18 \times d_m \times F_{p,Cd} \qquad \text{(Equação 45)}$$

[77] O presente valor pode ser obtido na Tabela 19 da norma EN1090-2.

- **Verificação da resistência da secção da placa de ligação**

A verificação de resistência da placa de ligação efetua-se através das fórmulas para esforços de tração e compressão existentes na norma EN NP 1993-1-1:2010, subcapítulos 6.2.3 e 6.2.4.

As fórmulas para o efeito são as seguintes:

1) Tração

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,\,Rd}} \leq 1{,}0 \qquad \text{(Equação 46)}$$

Em que, para uma secção com furos,

$$N_{t,\,Rd} = N_{u,\,Rd} = \frac{0{,}9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}} \qquad \text{(Equação 47)}$$

Sendo que, A_{net} remete para a secção transversal da placa, incluindo a dedução da área dos furos na vista transversal[78].

2) Compressão

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,\,Rd}} \leq 1{,}0 \qquad \text{(Equação 48)}$$

Com,

$$N_{c,\,Rd} = \frac{A \times f_Y}{\gamma_{M0}} \qquad \text{(Equação 49)}$$

Sendo A correspondente à área da secção transversal, sem dedução de área de furos.

3.6.1.1 Verificação de posicionamento de furos

Uma vez apresentados todas as fórmulas necessárias às verificações a efetuar, procede-se à verificação dos posicionamentos adotados para as ligações presentes em 3.6.1, tabela 44.

[78] Por exemplo, uma placa com quatro furos, cujas fiadas se encontram perfeitamente alinhadas, em vista transversal correspondem a duas áreas a deduzir (2 x diâmetro do furo x espessura da placa).

Para tal, apresentam-se os posicionamentos adotados para posterior comparação aos admissíveis, através da elaboração da tabela seguinte (tabela 45).

Tabela 45: Posicionamento de furos

Tipo de ligação	e_1 (mm)	e_2 (mm)	p_1 (mm)	p_2 (mm)
1	35	35	74	80
2	35	35	74	80
3	50	50	170	165
4	50	50	160	155
5	40	27	66,5	-
6	50	50	130	150
7	50	50	130	150
8	50	50	130	150
9	50	50	150	150
10	30	30	-	55
11	13	20	-	38
12	28	33	44	-
13	30	60	-	-
14a	30	60	-	-
14b	30	60	-	140
15a	30	60	-	-
15b	30	60	-	140

No que concerne a ligação "tipo" 16, dado que se considera um furo ovalizado, o respetivo posicionamento remete para e_3= 50 mm e e_4= 30 mm.
Para a respetiva verificação de posicionamento, é necessária a detenção de conhecimento dos valores mínimos e máximos para cada parâmetro e respetiva ligação, conforme o tipo que se encontra em estudo (tabelas 46 e 47).

Tabela 46: Posicionamento admissível de furos para ligações entre elementos

Parâmetro	Valor mínimo			Valor máximo			
(mm)	d_0=13	d_0=22	d_0=24	t=10	t=12	t=20	t=25
e_1 (mm)	15,6	26,4	28,8	80	88	120	140
e_2 (mm)	15,6	26,4	28,8	80	88	120	140
e_3 (mm)	-	33	-	-	-	-	-
e_4 (mm)	-	33	-	-	-	-	-
p_1 (mm)	28,6	48,4	52,8	140	168	280	350
p_2 (mm)	31,2	52,8	57,6	140	168	280	350

Tabela 47: Posicionamento admissível de furos para ligações de base

Parâmetro	Ligação tipo 3		Ligação tipo 4		Ligação tipo 9	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
e_1 (mm)	28,8	-	28,8	-	28,8	-
e_2 (mm)	28,8	-	28,8	-	28,8	-
p_1 (mm)	298,92	372,4	292,66	352,4	77,36	192,4
p_2 (mm)	57,6	191,2	57,6	181,2	57,6	192,4

Como se pode verificar através da comparação entre tabelas (45 a 47) todos os posicionamentos estabelecidos respeitam os parâmetros impostos pela norma.

3.6.1.2 Verificação de resistência da ligação e parafusos

Finda a verificação do posicionamento dos furos a executar nas ligações metálicas, procede-se à verificação de resistência das mesmas.

Em consonância com o elencado no subcapítulo 3.6.1, apresentam-se tabeladas as verificações efetuadas para a resistência dos parafusos e respetivas placas de ligação (tabelas 48 a 54), verificando-se o cumprimento dos requisitos impostos pela norma.

Note-se que, as ligações 6, 7 e 8 são compostas por duas placas acopladas, pelo que a verificação de uma placa, garante resistência da complementar.

- **Verificação de resistência dos parafusos**

Para γ_{M2} = 1,25.

Tabela 48: Resistência ao corte por plano de corte

Tipo de ligação	V [79](kN)	n	m	α_v	f_{ub}(MPa)	A_s (mm^2)	$F_{V,Ed}$ (kN)	$F_{V,Rd}$ (kN)
1	0	16	1	0,6	1000	303	0	136,52[80]
2	50,65	16	1	0,6	1000	303	3,17	136,52
3	53,88	8	1	0,6	1000	245	6,74	98,00
4	36,80	8	1	0,6	1000	245	4,60	98,00
5	179,49	3	1	0,6	1000	245	59,83	98,00
6	179,49	4	1	0,6	1000	245	44,87	98,00
7	154,98	4	1	0,6	1000	245	38,75	98,00
8	154,98	4	1	0,6	1000	245	38,75	98,00
9	8,52	4	1	0,6	1000	245	2,13	98,00
10	5,98	2	1	0,6	1000	245	2,99	98,00
12	14,12	2	2	0,6	1000	84,30	3,53	33,72
13	26,26	1	1	0,6	1000	245	26,26	98,00
14a	59,48	1	1	0,6	1000	245	59,48	98,00
14b	59,48 x 2	2	1	0,6	1000	245	59,48	98,00
15a	33,67	1	1	0,6	1000	245	33,67	98,00
15b	33,67 x 2	2	1	0,6	1000	245	33,67	98,00
16	[81]	1	1	0,6	1000	245	Ver nota 81	98,00

- **Verificação de resistência da ligação pré-esforçada**

Tabela 49: Parâmetros pré-esforço

Tipo de ligação	$F_{p,Cd}$ (kN)	k_s	m_{atrito}	μ	$F_{s,Rd}$ (kN)	F_{Rd} (kN)	M_p (kN.m)
11	59	1	1	0,4[82]	21,45	31,62	0,13

[79] Note-se que, no caso de ligações associadas a perfis tubulares, o esforço designado de "V" corresponde ao esforço axial (N_{Ed}) verificado no perfil tubular.
[80] Note-se que, para as ligações tipo 1 e 2, se aplica a clausula 3.8 do EC3-1-8, referente a ligações compridas, sendo o valor de $F_{V,Rd}$ multiplicado pelo coeficiente de redução β_{Lf}.
[81] O respetivo esforço deve igualar o existente no perfil tubular a si acoplado.
[82] Categoria B, tabela 18 de EN1090-2, para estruturas galvanizadas.

- **Verificação de resistência ao esmagamento**

Tabela 50: Resistência ao esmagamento

Tipo de ligação	V [83](kN)	n	m	k_1	α_b	f_u (MPa)	t (mm)	d_0 (mm)	$F_{V,Rd}$ (kN)	$F_{b,Rd}$ (kN)
1	0	16	1	2,5	0,53	430	25	24	0	273,48
2	50,65	16	1	2,5	0,53	430	25	24	3,17	273,48
3	53,88	8	1	2,5	0,76	430	25	22	6,74	359,48
4	36,80	8	1	2,5	0,76	430	25	22	4,6	359,48
5	179,49	3	1	2,5	0,6	430	20	22	59,83	227,04
6	179,49	4	1	2,5	0,83	430	20	22	44,87	314,07
7	154,98	4	1	2,5	0,83	430	20	22	38,75	314,07
8	154,98	4	1	2,5	0,83	430	20	22	38,75	314,07
9	8,52	4	1	2,5	0,76	430	20	22	2,13	287,58
10	5,98	2	1	1,8	0,45	430	12	22	2,99	73,56
11	1,36	2	1	1,1	0,51	430	6,3	13	0,68	15,81
12	14,12	2	2	2,5	0,60	430	10	13	3,53	67,08
13	26,26	1	1	2,5	0,45	430	12	22	26,26	102,17
14a	59,48	1	1	2,5	0,45	430	12	22	59,48	102,17
14b	59,48 x 2	2	1	2,5	0,45	430	12	22	59,48	102,17
15a	33,67	1	1	2,5	0,45	430	12	22	33,67	102,17
15b	33,67 x 2	2	1	2,5	0,45	430	12	22	33,67	102,17
16	[84]	1	1	2,5	0,53	430	12	22	Ver nota 84	61,3

[83] Note-se que, no caso de ligações associadas a perfis tubulares, o esforço designado de "V" corresponde ao esforço axial (N_{Ed}) verificado no perfil tubular.
[84] O respetivo esforço deve igualar o existente no perfil tubular a si acoplado.

- **Verificação de resistência à tração:**

Tabela 51: Resistência à tração

Tipo de ligação	k_2	f_{ub} (MPa)	A_s (mm^2)	f_u (MPa)	t_p (mm)	d_m (mm)	$F_{t,Rd}$ (kN)	$B_{p,Rd}$ (kN)
1	0,9	1000	303	430	25	22	218,16	356,63
2	0,9	1000	303	430	25	22	218,16	356,63
3	0,9	1000	245	430	25	20	176,40	324,21
4	0,9	1000	245	430	25	20	176,40	324,21
5	0,9	1000	245	430	20	20	176,40	259,37
6	0,9	1000	245	430	20	20	176,40	259,37
7	0,9	1000	245	430	20	20	176,40	259,37
8	0,9	1000	245	430	20	20	176,40	259,37
9	0,9	1000	245	430	20	20	176,40	259,37
10	0,9	1000	245	430	12	20	176,40	155,62
12	0,9	1000	84,30	430	10	12	60,70	77,81
13	0,9	1000	245	430	12	20	176,40	155,62
14a e 14b	0,9	1000	245	430	12	20	176,40	155,62
15a e 15b	0,9	1000	245	430	12	20	176,40	155,62
16	0,9	1000	245	430	12	20	176,40	155,62

- **Verificação de resistência ao corte + tração:**

Tabela 52: Resistência ao corte + tração

Tipo de ligação	h_r (mm)	$M_{j,Rd}$ (kN.m)	N_{Ed} (kN)	r	n	$F_{t,Ed}$ (kN)	Valor calculado[85]
1	*(1)	443,08	40,93	8	16	57,94	0,19
2		443,08	45,99	8	16	58,26	0,21
3	*(2)	67,56	240,29	3	8	52,56	0,28
4	*(3)	62,26	190,99	3	8	44,63	0,23
5	*(4)	59,27	11,99	3	3	23,75	0,71
6	187	65,97	11,99	2	4	38,98	0,62
7	187	65,97	11,99	2	4	38,98	0,62
8	187	65,97	11,99	2	4	38,98	0,62
9	142	25,05	14,81	2	4	28,75	0,14

[85] Em consonância com valores previamente apresentados.

*(1)
Os valores assumidos para h, de r=1 até r=7, correspondem a, respetivamente, 550 mm, 457 mm, 383 mm, 309 mm, 202 mm, 130 mm e 58 mm.
*(2)
Os valores assumidos para h, de r=1 e r=2 são, respetivamente, 274 mm e 109 mm.
*(3)
Os valores assumidos para h, de r=1 e r=2 são, respetivamente, 254 mm e 99 mm.
*(4)
Os valores assumidos para h, de r=1 até r=3, correspondem a, respetivamente, 165 mm, 112 mm e 59 mm.

- **Verificação de resistência das placas de ligação à tração**

Para γ_{M0} = 1,00 e γ_{M2} = 1,25.

Tabela 53: Resistência da placa à tração

Tipo de ligação	N_{Ed} (kN)	A_{net} (mm^2)	f_u (MPa)	$N_{t,Rd} = N_{u,Rd}$ (kN)
1	40,93	2550	430	789,48
2	45,99	2550	430	789,48
3	240,29	9350	430	2894,76
4	190,99	8850	430	2739,96
5	11,99	1320	430	582,05
6	11,99	3720	430	1151,71
7	11,99	3720	430	1151,71
8	11,99	3720	430	1151,71
9	14,81	4120	430	1275,55
10	7,93	936	430	289,29
11	1,36	239,4	430	102,94
12	14,12	4100	430	535,43
13	26,26	1176	430	364,09
14a	59,48	1176	430	364,09
14b	59,48 x 2	1872	430	579,57
15a	33,67	1176	430	364,09
15b	33,67 x 2	1872	430	579,57
16	[86]	936	430	289,79

[86] Correspondente ao valor que o perfil tubular ligado assume para dimensionamento.

- **Verificação de resistência das placas de ligação à compressão**

Tabela 54: Resistência da placa à compressão

Tipo de ligação	N_{Ed} (kN)	A (mm^2)	f_y (MPa)	$N_{c, Rd}$ (kN)
1	40,93	3750	275	1031
2	45,99	3750	275	1031
3	240,29	11000	275	3025
4	190,99	10500	275	2887,50
5	11,99	3200	275	880
6	11,99	4600	275	1265
7	11,99	4600	275	1265
8	11,99	4600	275	1265
9	14,81	5000	275	1375
10	7,93	1200	275	330
11	1,36	403,2	275	110,88
12	14,12	4620	275	635,25
13	26,26	1440	275	396
14a	59,48	1440	275	396
14b	59,48 x 2	2400	275	660
15a	33,67	1440	275	396
15b	33,67 x 2	2400	275	660
16	[87]	1200	275	330

3.6.2 Dimensionamento analítico de ligações soldadas

O presente subcapítulo visa o dimensionamento de ligações soldadas, procurando apresentar todas as bases de cálculo necessárias para o efeito, fundamentando corretamente todas as considerações efetuadas.

Note-se que, a verificação computacional se efetua em consonância com as ligações aparafusadas, sendo que os respetivos cálculos se encontram devidamente identificados em anexo.

Para o dimensionamento das ligações soldadas aplica-se o método direcional que consiste na decomposição dos esforços nas soldaduras em componentes paralelas e transversais ao eixo longitudinal da soldadura, segundo as direções perpendiculares e transversais ao plano que define a espessura do cordão.

[87] Correspondente ao valor que o perfil tubular ligado assume para dimensionamento.

Para tal, procede-se aos cálculos resultantes das seguintes fórmulas:

$$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)\right]^{0,5} \leq \frac{f_u}{\beta_\omega + \gamma_{M2}} \quad \text{(Equação 50)}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \times f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{(Equação 51)}$$

Note-se que os valores de f_u e γ_{M2} já são conhecidos. Para o aço S275JR assume-se β_ω=0,85.

O esquema representativo das tensões presentes nas fórmulas encontra-se presente na figura 44.

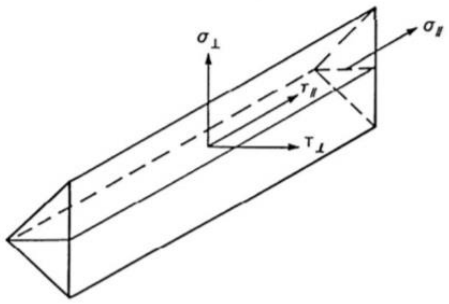


Figura 44: Tensões no plano que define o cordão de soldadura

$\sigma_{\perp}$: Tensão normal perpendicular à espessura;
$\sigma_{\parallel}$: Tensão normal paralela ao eixo da soldadura;
$\tau_{\perp}$: Tensão tangencial (no plano de espessura) perpendicular ao eixo da soldadura;
$\tau_{\parallel}$: Tensão tangencial (no plano de espessura) paralela ao eixo da soldadura.

Sendo que,

$$\sigma_{\perp} = \frac{0,7 \times F}{A_\omega} \quad \text{(Equação 52)}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{0,7 \times F}{A_\omega} \quad \text{(Equação 53)}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F}{A_\omega} \quad \text{(Equação 54)}$$

Com,

$$A_{\omega} = L_{eff} \times a \quad \text{(Equação 55)}$$

a = 70% da menor espessura dos elementos a ligar

$$L_{eff} = L - 2a \quad \text{(Equação 56)}$$

No âmbito da determinação da força F, é necessário compreender a decomposição a que os esforços intervenientes são sujeitos, seja a nível de direção de solicitação, bem como, no caso de esforços axiais aos quais acresce o binário resultante de um momento fletor atuante.

Numa primeira instância, deve-se proceder à simplificação do esforço axial, caso se verifique existência de esforço normal (N) e fletor (M), aplicados a um determinado cordão.
Por "determinado cordão" entende-se o posicionamento do mesmo em relação aos esforços intervenientes.
Por exemplo, no caso de uma soldadura semelhante à ligação tipo 1, a força resultante da solicitação pelos esforços N e M, apenas é de relevo no caso das soldaduras de banzo, dado que, em ambos os casos, ocorre uma acumulação de tensão resultante da sobreposição dos esforços elencados.

Deste modo, importa decompor o esforço fletor, somando o respetivo binário ao esforço axial pré-existente.

Tido o esforço axial resultante, procede-se à análise da totalidade dos esforços intervenientes ($N_{Res.}$ e V), decompondo-os conforme a sua direção, de modo a possibilitar a sua associação à respetiva tensão.
Esta associação depende necessariamente de esforços com a mesma direção da tensão a calcular.

Para o efeito, tal como consta na figura 44, considera-se para o plano de transformação um triângulo retangular isósceles.

Uma vez apresentado o método de cálculo e verificação de resistência de dado cordão de soldadura, é necessário apresentar os cordões de soldadura em análise (tabela 55 a 66).

As ligações "tipo" constam na tabela 44.

Tabela 55: Descrição Ligação tipo 1 e 2

Ligação Tipo 1 e 2	Cordão de Alma	Cordão de Banzo
L (mm)	226,8 x 4	135 x 2
L_{eff} (mm)	871,2	252
a (mm)	4,5	4,5
A_{ω} (mm^2)	3920,4	1174,5

Tabela 56: Descrição Ligação tipo 3

Ligação Tipo 3	Cordão de Alma	Cordão de Banzo
L (mm)	164 x 2	240 x 2
L_{eff} (mm)	308	660
a (mm)	5	5
A_{ω} (mm^2)	1540	3300

Tabela 57: Descrição Ligação tipo 4

Ligação Tipo 4	Cordão de Alma	Cordão de Banzo
L (mm)	152 x 2	220 x 2
L_{eff} (mm)	284	420
a (mm)	5	5
A_{ω} (mm^2)	1420	2100

Tabela 58: Descrição Ligação tipo 5

Ligação Tipo 5	Cordão de comprimento maior
L (mm)	160 x 2
L_{eff} (mm)	264
a (mm)	14
A_{ω} (mm^2)	3696

Tabela 59: Descrição Ligação tipo 6

Ligação Tipo 6	Cordão de Alma	Cordão de Banzo
L (mm)	178 x 2	230 x 2
L_{eff} (mm)	328	432
a (mm)	7	7
A_{ω} (mm^2)	2296	3024

Tabela 60: Descrição Ligação tipo 7 e 8

Ligações Tipo 7 e 8	Cordão de Alma	Cordão de Banzo
L (mm)	178 x 2	230 x 2
L_{eff} (mm)	328	432
a (mm)	7	7
A_{ω} (mm^2)	2296	3024

Tabela 61: Descrição Ligação tipo 9

Ligação Tipo 9	Cordão de alma	Cordão de Banzo
L (mm)	112,2 x 2	73 x 2
L_{eff} (mm)	204,4	126
a (mm)	5	5
A_{ω} (mm^2)	1022	630

Tabela 62: Descrição Ligação tipo 10

Ligação Tipo 10	Cordão de comprimento maior
L (mm)	115 x 2
L_{eff} (mm)	202
a (mm)	7
A_{ω} (mm^2)	1414

Tabela 63: Descrição Ligação tipo 12

Ligação Tipo 12	Cordão de comprimento maior	Cordão de comprimento maior
L (mm)	130 x 2	80 x 2
L_{eff} (mm)	232	132
a (mm)	7	7
A_{ω} (mm^2)	1624	1022

Tabela 64: Descrição Ligação tipo 13/14a/15a

Ligação Tipo 13/14a/15a	Cordão de comprimento maior
L (mm)	120 x 2
L_{eff} (mm)	208
a (mm)	8
A_{ω} (mm^2)	1664

Tabela 65: Descrição Ligação tipo 14b/15b

Ligação Tipo 14b/15b	Cordão de comprimento maior
L (mm)	200 x 2
L_{eff} (mm)	368
a (mm)	8
A_{ω} (mm^2)	2944

Tabela 66: Descrição Ligação tipo 16

Ligação Tipo 16	Cordão
L (mm)	50 x 4
L_{eff} (mm)	136
a (mm)	8
A_{ω} (mm^2)	1088

Uma vez apresentadas as ligações soldadas a considerar, procede-se ao cálculo da respetiva resistência admitida (tabela 67), face aos esforços atuantes nas mesmas (tabelas 68 a 85).
Verifica-se, nas tabelas elencadas, o cumprimento dos critérios de resistência para todos os cordões de soldadura projetados.

Tabela 67: Valores de resistência admissíveis

Parâmetro	Valor de resistência
$\sigma_{\perp}$	309,06 MPa
$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)\right]^{0,5}$	404,71 MPa

Tabela 68: Ligação Tipo 1

Ligação Tipo 1	Cordão de Alma	Cordão de Banzo superior	Cordão de Banzo inferior
Esforço N (kN)	40,93	38,48	120,34
Esforço V (kN)	0	0	0
Esforço M (kN.m)	82,59	82,59	82,59
Esforço $N_{Res.}$ (kN)	40,93	-38,48	120,34
$\sigma_{\perp}$ (MPa)	(40,93x0,7)/3920,4	(38,48x0,7)/1174,5	(120,34x0,7)/1174,5
$\tau_{\perp}$ (MPa)	(40,93x0,7)/3920,4	(38,48x0,7)/1174,5	(120,34x0,7)/1174,5
$\tau_{\parallel}$ (MPa)	0	0	0
$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)\right]^{0,5}$ (MPa)	14,62	45,86	143,44

Tabela 69: Ligação Tipo 2

Ligação Tipo 2	Cordão de Alma	Cordão de Banzo superior	Cordão de Banzo inferior
Esforço N (kN)	45,99	198,36	- 106,37
Esforço V (kN)	50,65	50,65	50,65
Esforço M (kN.m)	- 158,46	- 158,46	- 158,46
Esforço $N_{Res.}$ (kN)	45,99	198,36	-106,37
$\sigma_{\perp}$ (MPa)	((0,7x50,65)-(0,7x45,99))/3920,4	((0,7x50,65)-(0,7x198,36))/1174,5	((0,7x106,37)+(0,7x50,65))/1174,5
$\tau_{\perp}$ (MPa)	((0,7x50,65)+(0,7x45,99))/3920,4	((0,7x50,65)+(0,7x198,36))/1174,5	((0,7x106,37)-(0,7x50,65))/1174,5
$\tau_{\parallel}$ (MPa)	50,65/3920,4	0	0
$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)\right]^{0,5}$ (MPa)	37,35	271,71	109,85

Tabela 70: Ligação Tipo 3

Ligação Tipo 3	Cordão de Alma	Cordão de Banzo superior	Cordão de Banzo inferior
Esforço N (kN)	53,88	330,31	-222,55
Esforço V (kN)	240,29	240,29	240,29
Esforço M (kN.m)	- 127,16	- 127,16	- 127,16
Esforço $N_{Res.}$ (kN)	53,88	330,31	-222,55
$\sigma_{\perp}$ (MPa)	((0,7x53,88)-(0,7x240,29))/1540	((0,7x240,29)-(0,7x330,31))/3300	((0,7x222,55)+(0,7x240,29))/3300
$\tau_{\perp}$ (MPa)	((0,7x53,88)+(0,7x240,29))/1540	((0,7x240,29)+(0,7x330,31))/3300	((0,7x222,55)-(0,7x240,29))/3300
$\tau_{\parallel}$ (MPa)	240,29/1540	0	0
$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)\right]^{0,5}$ (MPa)	365,86	210,52	98,39

Tabela 71: Ligação Tipo 4

Ligação Tipo 4	Cordão de Alma	Cordão de Banzo superior	Cordão de Banzo inferior
Esforço N (kN)	-36,80	-92,04	18,44
Esforço V (kN)	190,99	190,99	190,99
Esforço M (kN.m)	23,20	23,20	23,20
Esforço $N_{Res.}$ (kN)	-36,80	-92,04	18,44
$\sigma_{\perp}$ (MPa)	((0,7x190,99)+ (0,7x36,80))/ 1420	((0,7x92,04)+ (0,7x190,99))/ 2100	((0,7x190,99)- (0,7x18,44))/ 2100
$\tau_{\perp}$ (MPa)	((0,7x36,80)- (0,7x190,99))/ 1420	((0,7x190,99)- (0,7x92,04))/ 2100	((0,7x190,99)+ (0,7x18,44))/ 2100
$\tau_{\parallel}$ (MPa)	190,99/1420	0	0
$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)\right]^{0,5}$ (MPa)	290,19	110,29	133,90

Tabela 72: Ligação Tipo 5

Ligação Tipo 5	Cordão de comprimento maior
Esforço N (kN)	11,99
Esforço V (kN)	179,49
Esforço M (kN.m)	0
Esforço $N_{Res.}$ (kN)	11,99
$\sigma_{\perp}$ (MPa)	((0,7x179,49)-(0,7x11,99))/3696
$\tau_{\perp}$ (MPa)	((0,7x179,49)+(0,7x11,99))/3696
$\tau_{\parallel}$ (MPa)	179,49/3696
$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)\right]^{0,5}$ (MPa)	109,67

Tabela 73: Ligação Tipo 6

Ligação Tipo 6	Cordão de Alma	Cordão de Banzo superior	Cordão de Banzo inferior
Esforço N (kN)	11,99	165,22	-141,24
Esforço V (kN)	179,49	179,49	179,49
Esforço M (kN.m)	- 73,55	- 73,55	- 73,55
Esforço $N_{Res.}$ (kN)	11,99	-141,24	165,22
$\sigma_{\perp}$ (MPa)	((0,7x179,49)-(0,7x11,99))/2296	((0,7x179,49)-(0,7x165,22))/3024	((0,7x179,49)+(0,7x141,24))/3024
$\tau_{\perp}$ (MPa)	((0,7x179,49)+(0,7x11,99))/2296	((0,7x179,49)+(0,7x165,22))/3024	((0,7x141,24)-(0,7x179,49))/3024
$\tau_{\parallel}$ (MPa)	179,49/2296	0	0
$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)\right]^{0,5}$ (MPa)	176,55	138,24	75,80

Tabela 74: Ligação Tipo 7 e 8

Ligação Tipo 7 e 8	Cordão de Alma	Cordão de Banzo superior	Cordão de Banzo inferior
Esforço N (kN)	11,99	11,99	11,99
Esforço V (kN)	- 154,98	- 154,98	- 154,98
Esforço M (kN.m)	0	0	0
Esforço $N_{Res.}$ (kN)	11,99	11,99	11,99
$\sigma_{\perp}$ (MPa)	((0,7x154,98)+(0,7x11,99))/2296	((0,7x154,98)+(0,7x11,99))/3024	((0,7x154,98)+(0,7x11,99))/3024
$\tau_{\perp}$ (MPa)	((0,7x154,98)-(0,7x11,99))/2296	((0,7x154,98)-(0,7x11,99))/3024	((0,7x154,98)-(0,7x11,99))/3024
$\tau_{\parallel}$ (MPa)	154,98/2296	0	0
$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)\right]^{0,5}$ (MPa)	69,14	69,14	148,20

Tabela 75: Ligação Tipo 9

Ligação Tipo 9	Cordão de Alma	Cordão de Banzo superior	Cordão de Banzo inferior
Esforço N (kN)	8,52	23,33	8,52
Esforço V (kN)	14,81	14,81	14,81
Esforço M (kN.m)	0	0	0
Esforço $N_{Res.}$ (kN)	8,52	8,52	8,52
$\sigma_{\perp}$ (MPa)	((0,7x8,52)+ (0,7x14,81))/ 1022	((0,7x8,52)+ (0,7x14,81))/ 630	((0,7x8,52)+ (0,7x14,81))/ 630
$\tau_{\perp}$ (MPa)	((0,7x14,81)- (0,7x8,52))/ 1022	((0,7x14,81)- (0,7x8,52))/ 630	((0,7x14,81)- (0,7x8,52))/ 630
$\tau_{\parallel}$ (MPa)	14,81/1022	0	0
$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)\right]^{0,5}$ (MPa)	30,69	28,61	28,61

Tabela 76: Ligação Tipo 10

Ligação Tipo 10	Cordão superior	Cordão inferior
Esforço N (kN)	15,84	0,02
Esforço V (kN)	5,98	5,98
Esforço M (kN.m)	-1,82	-1,82
Esforço $N_{Res.}$ (kN)	15,84	0,02
$\sigma_{\perp}$ (MPa)	((0,7x5,98)-(0,7x15,84))/1414	((0,7x5,98)-(0,7x0,02))/1414
$\tau_{\perp}$ (MPa)	((0,7x5,98)+(0,7x15,84))/1414	((0,7x5,98)+(0,7x0,02))/1414
$\tau_{\parallel}$ (MPa)	0	0
$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)\right]^{0,5}$ (MPa)	19,33	5,93

Tabela 77: Ligação Tipo 12

Ligação Tipo 12	Cordão de comprimento maior	Cordão de comprimento menor
Esforço N (kN)	0	0
Esforço V (kN)	14,12	14,12
Esforço M (kN.m)	0	0
Esforço $N_{Res.}$ (kN)	0	0
$\sigma_{\perp}$ (MPa)	(0,7x14,12)/1624	(0,7x14,12)/1022
$\tau_{\perp}$ (MPa)	(0,7x14,12)/1624	(0,7x14,12)/1022
$\tau_{\parallel}$ (MPa)	0	0
$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)\right]^{0,5}$ (MPa)	16,24	19,34

Tabela 78: Ligação Tipo 13

Ligação Tipo 13	Cordão de comprimento maior
Esforço N (kN)	- 26,26
Esforço V (kN)	0
Esforço M (kN.m)	0
Esforço $N_{Res.}$ (kN)	- 26,26
$\sigma_{\perp}$ (MPa)	(0,7x26,26)/1664
$\tau_{\perp}$ (MPa)	(0,7x26,26)/1664
$\tau_{\parallel}$ (MPa)	0
$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)\right]^{0,5}$ (MPa)	6,65

Tabela 79: Ligação Tipo 14a

Ligação Tipo 14a	Cordão de comprimento maior
Esforço N (kN)	- 59,48
Esforço V (kN)	0
Esforço M (kN.m)	0
Esforço $N_{Res.}$ (kN)	- 59,48
$\sigma_{\perp}$ (MPa)	(0,7x59,48)/1664
$\tau_{\perp}$ (MPa)	(0,7x59,48)/1664
$\tau_{\parallel}$ (MPa)	0
$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)\right]^{0,5}$ (MPa)	10,01

Tabela 80: Ligação Tipo 15a

Ligação Tipo 15a	Cordão de comprimento maior
Esforço N (kN)	- 33,67
Esforço V (kN)	0
Esforço M (kN.m)	0
Esforço $N_{Res.}$ (kN)	- 33,67
$\sigma_{\perp}$ (MPa)	(0,7x33,67)/1664
$\tau_{\perp}$ (MPa)	(0,7x33,67)/1664
$\tau_{\parallel}$ (MPa)	0
$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)\right]^{0,5}$ (MPa)	7,53

Tabela 81: Ligação Tipo 14b

Ligação Tipo 14b	Cordão de comprimento maior
Esforço N (kN)	- 59,48 x 2
Esforço V (kN)	0
Esforço M (kN.m)	0
Esforço $N_{Res.}$ (kN)	- 118,96
$\sigma_{\perp}$ (MPa)	(0,7x118,96)/2944
$\tau_{\perp}$ (MPa)	(0,7x118,96)/2944
$\tau_{\parallel}$ (MPa)	0
$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)\right]^{0,5}$ (MPa)	10,64

Tabela 82: Ligação Tipo 15b

Ligação Tipo 15b	Cordão de comprimento maior
Esforço N (kN)	- 33,67 x 2
Esforço V (kN)	0
Esforço M (kN.m)	0
Esforço $N_{Res.}$ (kN)	- 67,34
$\sigma_{\perp}$ (MPa)	(0,7x67,34)/2944
$\tau_{\perp}$ (MPa)	(0,7x67,34)/2944
$\tau_{\parallel}$ (MPa)	0
$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)\right]^{0,5}$ (MPa)	8,0

Tabela 83: Ligação Tipo 16.1

Ligação Tipo 16.1	Cordão
Esforço N (kN)	- 26,26
Esforço V (kN)	0
Esforço M (kN.m)	0
Esforço $N_{Res.}$ (kN)	- 26,26
$\sigma_{\perp}$ (MPa)	(0,7x26,26)/1088
$\tau_{\perp}$ (MPa)	(0,7x26,26)/1088
$\tau_{\parallel}$ (MPa)	26,26/1088
$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)\right]^{0,5}$ (MPa)	53,76

Tabela 84: Ligação Tipo 16.2

Ligação Tipo 16.2	**Cordão**
Esforço N (kN)	- 59,48
Esforço V (kN)	0
Esforço M (kN.m)	0
Esforço $N_{Res.}$ (kN)	- 59,48
$\sigma_{\perp}$ (MPa)	(0,7x59,48)/1088
$\tau_{\perp}$ (MPa)	(0,7x59,48)/1088
$\tau_{\parallel}$ (MPa)	59,48/1088
$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)\right]^{0,5}$ (MPa)	121,74

Tabela 85: Ligação Tipo 16.3

Ligação Tipo 16.3	**Cordão**
Esforço N (kN)	- 33,67
Esforço V (kN)	0
Esforço M (kN.m)	0
Esforço $N_{Res.}$ (kN)	- 33,67
$\sigma_{\perp}$ (MPa)	(0,7x33,67)/1088
$\tau_{\perp}$ (MPa)	(0,7x33,67)/1088
$\tau_{\parallel}$ (MPa)	33,67/1088
$\left[\sigma_{\perp}^2 + 3 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)\right]^{0,5}$ (MPa)	68,92

Notas adicionais:

- Ligação 16.1: Conexão a 13;
- Ligação 16.2: Conexão a 14a;
- Ligação 16.3: Conexão a 15a.

Note-se que, as ligações 6 e 8 são compostas por duas placas acopladas, pelo que a verificação da soldadura da placa acoplada ao perfil HEB, garante a resistência da soldadura a efetuar no pilar adjacente, dado o maior comprimento de cordão desta, para as mesmas condições de esforços e posicionamento.

3.7 Gestão de Produção

A gestão de produção remete para a fase de preparação da mesma e, aquando do início do fabrico, para o acompanhamento dos processos, visando a máxima qualidade atingível.

Ora, finda a elaboração do projeto da estrutura metálica em estudo, procede-se à sua preparação e posterior fabrico, sendo este realizado conforme a diretivas da norma vigente (EN 1090-2).
Os pressupostos teóricos necessários para o efeito constam no subcapítulo 2.5.

3.7.1 Preparação de produção

Tal como elencado teoricamente, a preparação de produção passa por várias fases, desde a quantificação de matéria-prima à elaboração dos elementos necessários à sua transformação.

- **Quantificação de matéria-prima**

Com base nos desenhos de estabilidade associados à estrutura metálica projetada, constantes no anexo 6.10, procede-se à quantificação de matéria-prima necessária ao seu fabrico, determinando os perfis completos pretendidos.

Note-se que, a menção a perfis completos remete para a impossibilidade de aquisição de matéria-prima nas medidas exatas pretendidas, dado que os fornecedores apenas dispõem de matéria-prima em comprimentos pré-estabelecidos (por exemplo, duas peças do perfil HEB240 com 5,75 metros de comprimento, requerem um perfil HEB240 com 12 metros de comprimento).

Em consonância com esta determinação, elaboram-se os desenhos de produção (constantes no anexo 6.11) que, além das especificações de produção, permitem a obtenção de medidas mais exatas e precisas para a quantificação.

- **Aquisição de matéria-prima**

Tida esta informação, procede-se à encomenda da matéria-prima, encontrando-se sempre presente o conceito de rastreabilidade previsto na norma EN 1090-2.

Neste caso particular, a rastreabilidade consegue-se através da indicação da referência de obra (referência interna) ao fornecedor de matéria-prima, sendo este responsável pela identificação da mesma na guia de transporte anexa ao material encomendado.

Mais ainda, é fulcral o envio dos certificados de marcação CE de toda a matéria-prima rececionada, por parte da entidade fornecedora.

- **Receção de matéria-prima**

Aquando da receção da matéria-prima, devidamente identificada conforme a obra a que se destina, esta é segregada dos demais materiais existentes nas instalações e identificada, dado que existe uma produção prevista para este material associada à referência interna supramencionada.

Nesta fase, toda a matéria-prima necessária ao fabrico já se encontra nas instalações, pelo que é necessário proceder ao restante da preparação.

- **Elementos de preparação de produção**

Em acréscimo aos desenhos técnicos de produção (anexo 6.11), destinados às especificações de fabrico e registo de operações, surge a lista de corte (anexo 6.12), destinada a auxiliar a identificação de peças de forma sumarizada e a agilizar o processo de corte, ao sumarizar os cortes a efetuar e organizar as peças conforme os perfis completos (e respetivo lote) destinados às mesmas.

Note-se que, a lista de corte não está necessariamente prevista na norma EN 1090-2, dado que a informações relativas a este processo de fabrico constam nos desenhos técnicos. A sua existência prende-se com uma iniciativa interna, que visa agilizar a produção e auxiliar o operador.

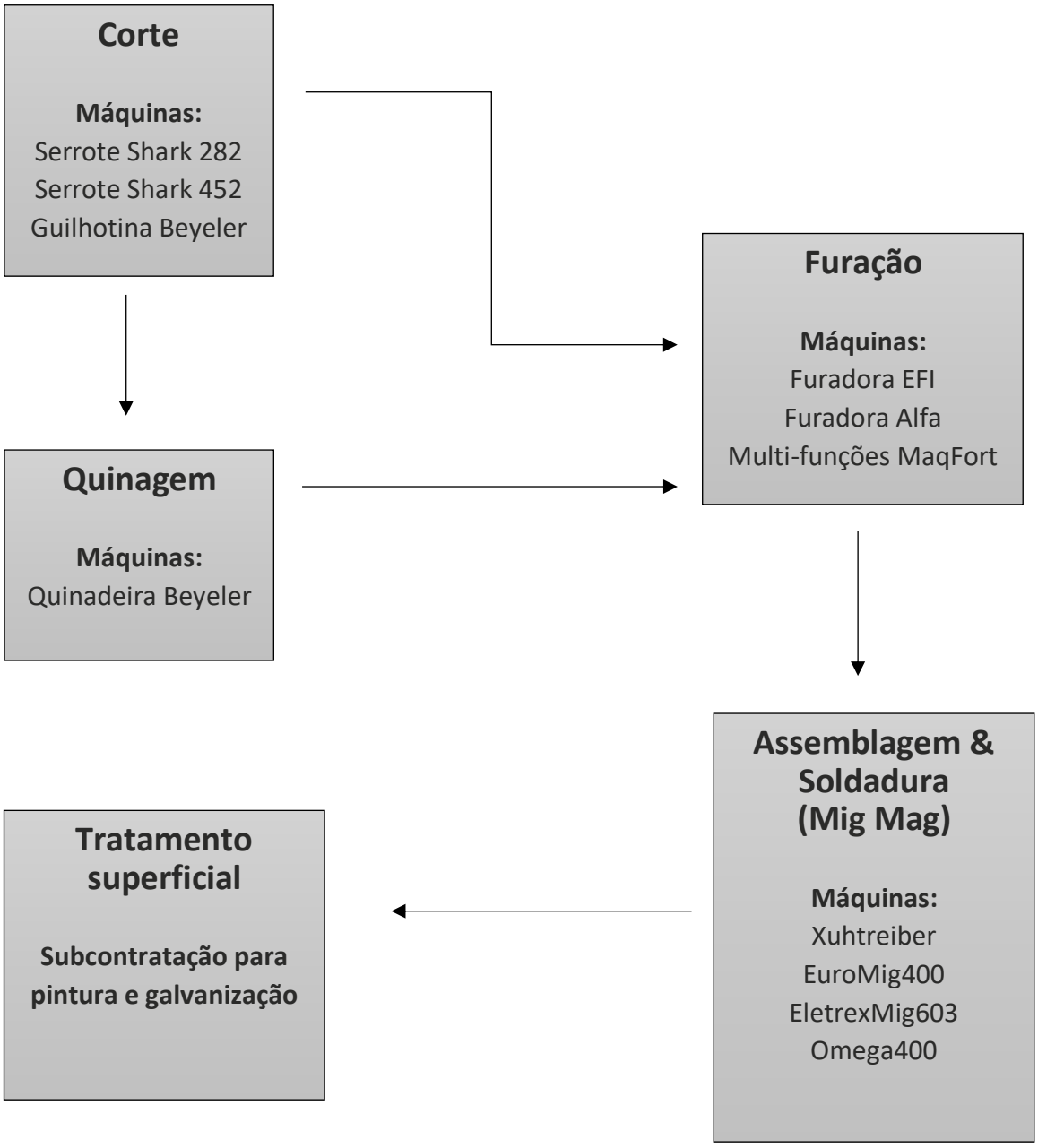
É também necessário, a detenção de conhecimento de tolerâncias de soldadura, corte e furação, que se encontram afixadas nas zonas de trabalho existentes (anexo 6.13).

3.7.2 Produção – Ciclo produtivo

Finda a fase de preparação de produção, inicia-se o ciclo produtivo para o fabrico da estrutura metálica projetada, sendo este evidenciado no esquema seguinte.

Note-se que, a cada processo iniciado e concluído, deve ser efetuada uma inspeção visual.
Por iniciado, entende-se a inspeção visual da primeira peça para verificação de existência de anomalias de forma antecipada.
Na sua conclusão, verificam-se as restantes peças para garantia de qualidade de produto final.

Ciclo Produtivo



Uma vez concluída a fase produtiva, é possível transportar o material para o respetivo local de obra, onde se inicia a fase de montagem da estrutura metálica.

CONCLUSÕES

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 CONCLUSÕES

A presente dissertação possibilitou a evolução e aquisição de novos conhecimentos e aptidões a nível pessoal, bem como empresarial.

A título pessoal, a elaboração da dissertação permitiu a aquisição de conhecimentos técnicos e práticos na indústria metalomecânica, mais propriamente, de projeção e fabrico de estruturas metálicas.

Além da consolidação e aplicação de conhecimentos académicos já detidos, foi também possível explorar ferramentas de desenho técnico e de cálculo estrutural computacional, através do investimento na formação em *Robot Structural Analysis*, tendo-se revelado uma ferramenta bastante útil no decurso da elaboração de projetos de estruturas metálicas.

Ora, como consequência do enriquecimento de conhecimento a título pessoal, contribuiu-se vantajosamente para as capacidades da empresa que acolheu o estágio profissional e consequente dissertação.

A empresa em questão possui como finalidade o fabrico e montagem de estruturas metálicas, no entanto, almeja expandir a sua especialidade, vindo, futuramente, a criar um departamento de projeto de estruturas metálicas.

Com a elaboração da presente dissertação, possibilitou-se a inserção de ferramentas e conhecimentos a nível de projeto e legislação produtiva, permitindo à empresa elevar o seu estatuto competitivo.

Ainda que o departamento de projeto não seja algo atingível a curto prazo, a dissertação redigida permite a elaboração de anteprojeto, isto é, possibilita a estimativa de custos de uma eventual estrutura, sem requerer, à priori, um projeto já elaborado.

Posto isto, nas circunstâncias atuais da empresa, é possível a projeção de determinada estrutura para efeitos de orçamentação.

Conclui-se, portanto, que esta dissertação contribuiu significativamente para a evolução da estudante que a elaborou, permitindo a consolidação de conhecimentos já adquiridos e aquisição de novos no seu exercício de funções.

Quanto à evolução da empresa, pode-se afirmar que esta possui as ferramentas e meios necessários para a realização do objetivo futuro, no que concerne a criação de um departamento de projeto.

4.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Futuramente, visando uma compreensão mais vasta dos métodos de análise e dimensionamento existentes, embora não praticados com regularidade, pretende-se analisar a estrutura apresentada recorrendo a uma análise não linear, que toma em consideração os efeitos de 2ª ordem.

A execução da análise supramencionada prende-se com a possibilidade de comparar os resultados obtidos entre análises lineares e não lineares, procurando otimizar significativamente todo o processo inerente à análise e dimensionamento de uma estrutura metálica, visando, também, a otimização "física" da estrutura, através da obtenção de perfis mais esbeltos.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

[1] ArcelorMittal, Peiner Trager, Corus, "Steel Buildings in Europe," vol. Part 1 : Architect´s Guide,

[2] (2018, 17/01/2021). *Ponte 25 de Abril*. Disponível em: https://media-manager.noticiasaominuto.com/1920/naom_5b4c5c1f3c5c5.jpg

[3] Record. (2018, 10/01/2021). *Estádio do Dragão*. Disponível em: https://cdn.record.pt/images/2018-03/img_920x518$2018_03_01_01_37_33_1370685.jpg

[4] ArchiExpo. (2020, 17/01/2021). *Estrutura tensionada com estrutura metálica*. Disponível em: https://img.archiexpo.com/pt/images_ae/photo-g/88948-10680743.webp

[5] TOUCHARTE. (2019, 10/01/2021). *Pirâmide Louvre*. Disponível em: https://i1.wp.com/www.touchofclass.com.br/wp-content/uploads/2019/04/louvre-museum.jpg?resize=1078%2C516

[6] Oliveira, Fábio Emanuel Magalhães, "Projeto de Edifícios em Estrutura Metálica, Efeitos de 2ª Ordem," Mestrado, Engenharia Civil, FEUP, 2013.

[7] Teixeira, Carlos Miguel Vieira, "Dimensionamento de pavilhões metálicos em soluções treliçadas," Mestrado, Engenharia Mecânica, ISEP, 2017.

[8] Peixoto, Nuno André Teixeira Araújo, "Ligações metálicas de acordo com o Eurocódigo 3," Mestrado, Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, 2008.

[9] Fonseca, Elza, "Dimensionamento de ligações: Ligações soldadas e aparafusadas.," Apontamentos Teóricos, ISEP, 2020.

[10] Sousa, Juliana Filipa de Mendes, "Estudo Económico de pavilhões metálicos (Portal Frame vs Pórticos Treliçados)," Mestrado, Engenharia Civil e do Ambiente, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, 2016.

[11] Vieito, Ângelo Alcino da Silva, "Análise e dimensionamento de ligações viga-pilar com placa de extremidade," Mestrado, Engenharia Civil e do Ambiente, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, 2015.

[12] Silva, Luís Simões da, "Opinião: O sector da construção metálica," in *Construir*, ed, 2016.

[13] Gervásio, Helena, "A sustentabilidade do aço e das estruturas metálicas," *Portugal. 16pp,* 2008.

[14] Silva, Luís Simões da e Gervásio, Helena, *Manual de dimensionamento de estruturas metálicas: Métodos avançados*, 2ª ed. CMM-Associaçao Portuguesa de Construçao Metálica e Mista, 2020.

[15] Castro, Rita Roma Torres Leite de, "Análise da Sustentabilidade de Estruturas: Aço vs Betão," Mestrado, Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2012.

[16] Chiaverini, Vicente, *Aços e ferros fundidos*. ABM, 1977.

[17] (2010). *NP EN 1993-1-1 Eurocódigo 3 – Projeto de estruturas de aço*.

[18] (2010). *NP EN 1993-1-8 Eurocódigo 3 – Projeto de Estruturas de aço*.

[19] Pinto, Jorge Tiago Queirós da Silva, "Optimização de pórticos metálicos de grandes vãos," Mestrado, Engenharia Civil, FEUP, 1997.

[20] Timoshenko, Stephen e Young, Donovan Harold, *Theory of Structures*. McGraw-Hill, 1945.

[21] (2009). *NP EN 1990 Eurocódigo - Bases para o projecto de estruturas*.

[22] Duarte, César Fernando Lobo Amorim, "Desenvolvimento de um programa de cálculo de ações e combinação de ações," Mestrado, Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, 2015.

[23] *Regulamento de Segurança e Ações para estruturas de edifícios e pontes*, 1983.
[24] (2003). *NF EN 1991-1-1 Eurocode 1 - Actions sur les structures*.
[25] (2005). *NF EN 1991-1-4 Eurocode 1 – Actions sur les structures*.
[26] (2004). *NF EN 1991-1-3 Eurocode 1 – Actions sur les structures*.
[27] (2008). *NF EN 1991-1-5 Eurocode 1 – Actions sur les structures*.
[28] Dimas, Tânia dos Santos, "Análise de Estruturas de Edifícios sujeitas a Ações Acidentais," Mestrado, Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, 2014.
[29] Coelho, Florentino Miguel Luz, "Análise e Dimensionamento à Acção Sísmica," Mestrado, Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, 2010.
[30] (2007). *NF EN 1998-1 Eurocode 8 — Calcul des structures pour leur résistance aux séismes*
[31] Marques, Liliana, Silva, Luís Simões da, e Rebelo, Carlos, "Métodos avançados de análise por elementos finitos para verificação da estabilidade de estruturas metálicas," in *VII Congresso de Construção Metálica e Mista*, ed. CMM: SISE, 2009.
[32] Campilho, Raul, *Método de elementos finitos: Ferramentas para análise estrutural*. Publindústria, 2012.
[33] Corrêa, Manuel Ritto, "Introdução ao comportamento não linear de estruturas," ed. Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2016.
[34] Timoshenko, Stephen e Goodier, James Norman, *Theory of Elasticity*. McGraw-Hill 1951.
[35] Silva, Luís Simões da, Marques, Liliana, Trankova, Trayana, e Rebelo, Carlos, "Safety Assessment of EUROCODE 3: Stability design rules for the lateral-torsional buckling of prismatic beams," *ISISE,* 2015.
[36] Almeida, Pedro Miguel Nunes de, "Dimensionamento de estruturas metálicas segundo o Eurocódigo 3," Mestrado, Engenharia Civil, Universidade Fernando Pessoa, 2012.
[37] Lleonart, José Monfort, "Pórticos metálicos: Critérios de Cálculo," 1995.
[38] *Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios*, 1986.
[39] Santos, Andreia Margarida Sousa, "Conceção e execução de estruturas metálicas - um caso de estudo," Mestrado, Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, 2016.
[40] Tisaka, Maçahico, *Orçamento na construção civil: consultoria, projeto e execução*. Pini, 2006.
[41] Semedo, João Diogo da Silva, "Direção de obra fora de Portugal: Preparação individual," Mestrado, Engenharia Civil, FEUP, 2009.
[42] (2018). *NP EN 1090-2 Execução de estruturas de aço e de estruturas de alumínio*.
[43] Claro, Cristina Teixeira, "Metodologia de Fiscalização de Obras," Mestrado, Engenharia Civil, FEUP, 2009.
[44] Correia, M. J., Perneta, H., Rodrigues, M. P., Pereira, E. V., e Salta, M., "Sistemas de protecção contra corrosão das estruturas metálicas," in *VIII Congresso de Construção Metálica e Mista*, ed. CMM: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2011.
[45] Martins, João Guerra, "Materiais de Construção II-execução de estruturas metálicas," ed: Universidade Fernando Pessoa, 2008.
[46] ESAB. (27/12/2020). *Qual é a melhor maneira de cortar chapa de aço.* Disponível em: https://www.esab.com.pt/pt/pt/education/blog/what-is-the-best-way-to-cut-steel-plate.cfm
[47] Meira, Henrique Soutelo, "Especificidades da fiscalização de obras em construção metálica," Mestrado, Engenharia Civil e do Ambiente, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, 2018.
[48] Silva, Francisco José Gomes da, *Tecnologia da Soldadura: Uma abordagem técnico-didáctica*. Publindústria, 2014.
[49] Castro, Miguel Ângelo Santos, "Gestão de projeto e dimensionamento de um pavilhão industrial," Mestrado, Engenharia Mecânica, ISEP, 2019.

ANEXOS

6 ANEXOS

6.1 Nota de cálculo – Análise de resistência da secção transversal

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 1 Travamento pórticos
MEMBRO: 45 travam. porticos resist._45 **PONTO:** 1
COORDENADAS: x = 0.00 L = 0.00 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 9 ULS /1/ 1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 8*0.75

MATERIAL:
S 275 (S 275) fy = 275.00 MPa



PARÂMETROS DA SEÇÃO: TRON 88x2.5

h=8.9 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
	Ay=4.32 cm2	Az=4.32 cm2	Ax=6.79 cm2
tw=0.2 cm	Iy=63.37 cm4	Iz=63.37 cm4	Ix=126.70 cm4
	Wply=18.67 cm3	Wplz=18.67 cm3	

FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:
N,Ed = -26.48 kN
Nt,Rd = 186.62 kN

Classe da seção = 1

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

Em torno do eixo y: Em torno do eixo z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Verificação de resistência de seção:
N,Ed/Nt,Rd = 0.14 < 1.00 (6.2.3.(1))

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 2 Contrav. extrem.
MEMBRO: 54 Contravent. Resist. extrem._54 **PONTO:** 1
COORDENADAS: x = 0.00 L = 0.00 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 9 ULS /1/ 1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 8*0.75

MATERIAL:
S 275 (S 275) fy = 275.00 MPa



PARÂMETROS DA SEÇÃO: TRON 88x2.5

h=8.9 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
	Ay=4.32 cm2	Az=4.32 cm2	Ax=6.79 cm2
tw=0.2 cm	Iy=63.37 cm4	Iz=63.37 cm4	Ix=126.70 cm4
	Wply=18.67 cm3	Wplz=18.67 cm3	

FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:
N,Ed = -59.40 kN
Nt,Rd = 186.62 kN

Classe da seção = 1



PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

 Em torno do eixo y:

 Em torno do eixo z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Verificação de resistência de seção:
N,Ed/Nt,Rd = 0.32 < 1.00 (6.2.3.(1))

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 3 Vigas principais
MEMBRO: 22 Viga_22 **PONTO:** 3 **COORDENADAS:** x = 0.15 L = 1.50 m

---

CARGAS:
Caso de carga atuante: 9 ULS /1/ 1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 8*0.75

MATERIAL:
S 275 (S 275) fy = 275.00 MPa



PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 270

h=27.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=13.5 cm	Ay=27.54 cm2	Az=16.47 cm2	Ax=45.94 cm2
tw=0.7 cm	Iy=5789.78 cm4	Iz=419.87 cm4	Ix=14.93 cm4
tf=1.0 cm	Wply=460.54 cm3	Wplz=95.67 cm3	

FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:

N,Ed = 29.76 kN	My,Ed = -97.09 kN*m	
Nc,Rd = 1263.49 kN	My,pl,Rd = 126.65 kN*m	
Nb,Rd = 1263.49 kN	My,c,Rd = 126.65 kN*m	Vz,Ed = 48.95 kN
	MN,y,Rd = 126.58 kN*m	Vz,c,Rd = 261.55 kN
		Classe da seção = 1



PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

 Em torno do eixo y:

 Em torno do eixo z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Verificação de resistência de seção:
N,Ed/Nc,Rd = 0.02 < 1.00 (6.2.4.(1))
My,Ed/My,c,Rd = 0.77 < 1.00 (6.2.5.(1))
My,Ed/MN,y,Rd = 0.77 < 1.00 (6.2.9.1.(2))
Vz,Ed/Vz,c,Rd = 0.19 < 1.00 (6.2.6.(1))

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 4 Vigas piso
MEMBRO: 34 Viga_34 **PONTO:** 1 **COORDENADAS:** x = 0.50 L = 3.00 m

---

CARGAS:

Caso de carga atuante: 9 ULS /1/ 1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 8*0.75

MATERIAL:

S 275 (S 275) fy = 275.00 MPa



PARÂMETROS DA SEÇÃO: HEB 240

h=24.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=24.0 cm	Ay=89.59 cm2	Az=33.23 cm2	Ax=105.99 cm2
tw=1.0 cm	Iy=11259.30 cm4	Iz=3922.66 cm4	Ix=107.00 cm4
tf=1.7 cm	Wply=1053.21 cm3	Wplz=498.43 cm3	

FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:

N,Ed = 7.99 kN	My,Ed = 256.34 kN*m	
Nc,Rd = 2914.61 kN	My,pl,Rd = 289.63 kN*m	
Nb,Rd = 2914.61 kN	My,c,Rd = 289.63 kN*m	Vz,Ed = -9.37 kN
	MN,y,Rd = 289.63 kN*m	Vz,c,Rd = 527.53 kN
		Classe da seção = 1



PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

 Em torno do eixo y:

 Em torno do eixo z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:

Verificação de resistência de seção:

N,Ed/Nc,Rd = 0.00 < 1.00 (6.2.4.(1))
My,Ed/My,c,Rd = 0.89 < 1.00 (6.2.5.(1))
Vz,Ed/Vz,c,Rd = 0.02 < 1.00 (6.2.6.(1))

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 5 Pilares principais
MEMBRO: 11 Coluna_11 **PONTO:** 3 **COORDENADAS:** x = 1.00 L = 6.00 m

---

CARGAS:

Caso de carga atuante: 9 ULS /1/ 1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 8*0.75

MATERIAL:

S 275 (S 275) fy = 275.00 MPa



PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 330

h=33.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=16.0 cm	Ay=42.28 cm2	Az=30.81 cm2	Ax=62.61 cm2
tw=0.8 cm	Iy=11766.90 cm4	Iz=788.14 cm4	Ix=25.70 cm4
tf=1.1 cm	Wply=804.40 cm3	Wplz=153.68 cm3	

FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:

N,Ed = 55.34 kN	My,Ed = 176.39 kN*m	
Nc,Rd = 1721.67 kN	My,pl,Rd = 221.21 kN*m	
Nb,Rd = 1721.67 kN	My,c,Rd = 221.21 kN*m	Vz,Ed = 24.74 kN
	MN,y,Rd = 221.21 kN*m	Vz,c,Rd = 489.15 kN
		Classe da seção = 1



PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:



Em torno do eixo y:



Em torno do eixo z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:

Verificação de resistência de seção:

N,Ed/Nc,Rd = 0.03 < 1.00 (6.2.4.(1))
My,Ed/My,c,Rd = 0.80 < 1.00 (6.2.5.(1))
Vz,Ed/Vz,c,Rd = 0.05 < 1.00 (6.2.6.(1))

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 6 Pilares piso
MEMBRO: 31 Coluna_31 **PONTO:** 3 **COORDENADAS:** x = 1.00 L = 3.50 m

---

CARGAS:

Caso de carga atuante: 9 ULS /84/ 1*1.00 + 3*1.50 + 6*1.50

MATERIAL:

S 275 (S 275) fy = 275.00 MPa



PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 200

h=20.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=10.0 cm	Ay=19.58 cm2	Az=14.00 cm2	Ax=28.48 cm2
tw=0.6 cm	Iy=1943.17 cm4	Iz=142.37 cm4	Ix=6.46 cm4
tf=0.9 cm	Wply=220.66 cm3	Wplz=44.61 cm3	

FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:

N,Ed = 180.40 kN	My,Ed = -52.68 kN*m	
Nc,Rd = 783.31 kN	My,pl,Rd = 60.68 kN*m	
Nb,Rd = 783.31 kN	My,c,Rd = 60.68 kN*m	Vz,Ed = -15.05 kN
	MN,y,Rd = 58.50 kN*m	Vz,c,Rd = 222.28 kN
		Classe da seção = 1



PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

 Em torno do eixo y:

 Em torno do eixo z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:

Verificação de resistência de seção:

N,Ed/Nc,Rd = 0.23 < 1.00 (6.2.4.(1))
My,Ed/My,c,Rd = 0.87 < 1.00 (6.2.5.(1))
My,Ed/MN,y,Rd = 0.90 < 1.00 (6.2.9.1.(2))
Vz,Ed/Vz,c,Rd = 0.07 < 1.00 (6.2.6.(1))

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 7 Contrav. lateral
MEMBRO: 99 Contravent. Resist. lateral_99 **PONTO:** 1
COORDENADAS: x = 0.00 L = 0.00 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 9 ULS /9/ 1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 7*0.90 + 8*0.75

MATERIAL:
S 275 (S 275) fy = 275.00 MPa



PARÂMETROS DA SEÇÃO: TRON 88x2.5

h=8.9 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
	Ay=4.32 cm2	Az=4.32 cm2	Ax=6.79 cm2
tw=0.2 cm	Iy=63.37 cm4	Iz=63.37 cm4	Ix=126.70 cm4
	Wply=18.67 cm3	Wplz=18.67 cm3	

FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:
N,Ed = -33.35 kN
Nt,Rd = 186.62 kN

Classe da seção = 1



PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

 Em torno do eixo y:

 Em torno do eixo z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Verificação de resistência de seção:
N,Ed/Nt,Rd = 0.18 < 1.00 (6.2.3.(1))

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 8 Pilaretes
MEMBRO: 111 Coluna_111 **PONTO:** 2 **COORDENADAS:** x =

0.50 L = 3.50 m

CARGAS:

Caso de carga atuante: 9 ULS /69/ 1*1.35 + 3*1.50 + 7*1.50 + 8*0.75

MATERIAL:

S 275 (S 275) fy = 275.00 MPa



PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 120

h=12.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=6.4 cm	Ay=9.10 cm2	Az=6.31 cm2	Ax=13.21 cm2
tw=0.4 cm	Iy=317.75 cm4	Iz=27.67 cm4	Ix=1.71 cm4
tf=0.6 cm	Wply=60.73 cm3	Wplz=13.58 cm3	

FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:

N,Ed = 9.97 kN	My,Ed = -15.23 kN*m	Mz,Ed = -0.00 kN*m	Vy,Ed = -0.00 kN
Nc,Rd = 363.28 kN	My,pl,Rd = 16.70 kN*m	Mz,pl,Rd = 3.73 kN*m	Vy,c,Rd = 144.49 kN
Nb,Rd = 363.28 kN	My,c,Rd = 16.70 kN*m	Mz,c,Rd = 3.73 kN*m	Vz,Ed = 0.28 kN
	MN,y,Rd = 16.70 kN*m	MN,z,Rd = 3.73 kN*m	Vz,c,Rd = 100.11 kN
			Classe da seção = 1

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

Em torno do eixo y: Em torno do eixo z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:

Verificação de resistência de seção:

N,Ed/Nc,Rd = 0.03 < 1.00 (6.2.4.(1))
My,Ed/MN,y,Rd = 0.91 < 1.00 (6.2.9.1.(2))
Mz,Ed/MN,z,Rd = 0.00 < 1.00 (6.2.9.1.(2))
(My,Ed/MN,y,Rd)^ 2.00 + (Mz,Ed/MN,z,Rd)^1.00 = 0.83 < 1.00 (6.2.9.1.(6))
Vy,Ed/Vy,c,Rd = 0.00 < 1.00 (6.2.6.(1))
Vz,Ed/Vz,c,Rd = 0.00 < 1.00 (6.2.6.(1))

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 9 Madres cobertura
MEMBRO: 143 Madre resist._143 **PONTO:** 2
COORDENADAS: x = 0.50 L = 2.50 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 9 ULS /1/ 1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 8*0.75

MATERIAL:
S 275 (S 275) fy = 275.00 MPa



PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 100

h=10.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=5.5 cm	Ay=7.26 cm2	Az=5.08 cm2	Ax=10.32 cm2
tw=0.4 cm	Iy=171.01 cm4	Iz=15.92 cm4	Ix=1.10 cm4
tf=0.6 cm	Wply=39.41 cm3	Wplz=9.15 cm3	

FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:

N,Ed = -1.48 kN	My,Ed = 6.76 kN*m	Mz,Ed = -0.68 kN*m	
Nt,Rd = 283.89 kN	My,pl,Rd = 10.84 kN*m	Mz,pl,Rd = 2.52 kN*m	
	My,c,Rd = 10.84 kN*m	Mz,c,Rd = 2.52 kN*m	
	MN,y,Rd = 10.84 kN*m	MN,z,Rd = 2.52 kN*m	
			Classe da seção = 1



PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:



Em torno do eixo y:



Em torno do eixo z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Verificação de resistência de seção:
N,Ed/Nt,Rd = 0.01 < 1.00 (6.2.3.(1))
My,Ed/MN,y,Rd = 0.62 < 1.00 (6.2.9.1.(2))
Mz,Ed/MN,z,Rd = 0.27 < 1.00 (6.2.9.1.(2))
(My,Ed/MN,y,Rd)^ 2.00 + (Mz,Ed/MN,z,Rd)^1.00 = 0.66 < 1.00 (6.2.9.1.(6))

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 10 Madres piso
MEMBRO: 201 Madre resist._201 **PONTO:** 2
COORDENADAS: x = 0.50 L = 2.50 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 9 ULS /69/ 1*1.35 + 3*1.50 + 7*1.50 + 8*0.75

MATERIAL:
S 275 (S 275) fy = 275.00 MPa



PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 140

h=14.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=7.3 cm	Ay=11.15 cm2	Az=7.64 cm2	Ax=16.43 cm2
tw=0.5 cm	Iy=541.22 cm4	Iz=44.92 cm4	Ix=2.54 cm4
tf=0.7 cm	Wply=88.35 cm3	Wplz=19.25 cm3	

FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:

N,Ed = 0.00 kN	My,Ed = 17.94 kN*m	
Nc,Rd = 451.71 kN	My,pl,Rd = 24.30 kN*m	
Nb,Rd = 451.71 kN	My,c,Rd = 24.30 kN*m	Vz,Ed = 0.00 kN
	MN,y,Rd = 24.30 kN*m	Vz,c,Rd = 121.34 kN
		Classe da seção = 1

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

Em torno do eixo y: Em torno do eixo z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Verificação de resistência de seção:
N,Ed/Nc,Rd = 0.00 < 1.00 (6.2.4.(1))
My,Ed/My,c,Rd = 0.74 < 1.00 (6.2.5.(1))
Vz,Ed/Vz,c,Rd = 0.00 < 1.00 (6.2.6.(1))

Seção OK !!!

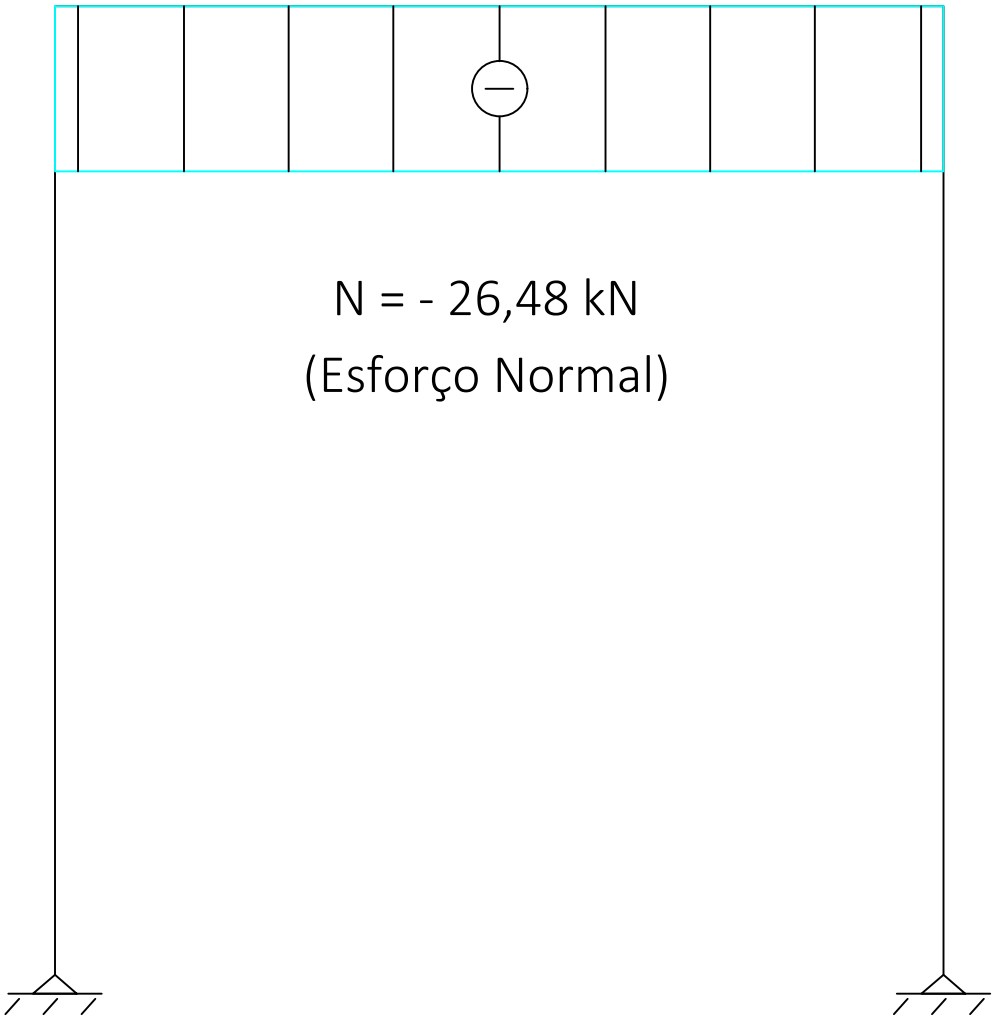
6.2 Lista de combinações – Análise de resistência de secção transversal

Combinações/Comp.	Definição
ULS/1	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 8*0.75
ULS/2	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50
ULS/3	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 4*0.90 + 8*0.75
ULS/4	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 4*0.90
ULS/5	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 5*0.90 + 8*0.75
ULS/6	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 5*0.90
ULS/7	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 6*0.90 + 8*0.75
ULS/8	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 6*0.90
ULS/9	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 7*0.90 + 8*0.75
ULS/10	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 7*0.90
ULS/11	1*1.35 + 2*1.50 + 8*0.75
ULS/12	1*1.35 + 2*1.50
ULS/13	1*1.35 + 2*1.50 + 4*0.90 + 8*0.75
ULS/14	1*1.35 + 2*1.50 + 4*0.90
ULS/15	1*1.35 + 2*1.50 + 5*0.90 + 8*0.75
ULS/16	1*1.35 + 2*1.50 + 5*0.90
ULS/17	1*1.35 + 2*1.50 + 6*0.90 + 8*0.75
ULS/18	1*1.35 + 2*1.50 + 6*0.90
ULS/19	1*1.35 + 2*1.50 + 7*0.90 + 8*0.75
ULS/20	1*1.35 + 2*1.50 + 7*0.90
ULS/21	1*1.35
ULS/22	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 8*0.75
ULS/23	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50
ULS/24	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 4*0.90 + 8*0.75
ULS/25	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 4*0.90
ULS/26	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 5*0.90 + 8*0.75
ULS/27	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 5*0.90
ULS/28	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 6*0.90 + 8*0.75
ULS/29	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 6*0.90
ULS/30	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 7*0.90 + 8*0.75
ULS/31	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 7*0.90
ULS/32	1*1.00 + 2*1.50 + 8*0.75
ULS/33	1*1.00 + 2*1.50
ULS/34	1*1.00 + 2*1.50 + 4*0.90 + 8*0.75
ULS/35	1*1.00 + 2*1.50 + 4*0.90
ULS/36	1*1.00 + 2*1.50 + 5*0.90 + 8*0.75
ULS/37	1*1.00 + 2*1.50 + 5*0.90
ULS/38	1*1.00 + 2*1.50 + 6*0.90 + 8*0.75
ULS/39	1*1.00 + 2*1.50 + 6*0.90
ULS/40	1*1.00 + 2*1.50 + 7*0.90 + 8*0.75
ULS/41	1*1.00 + 2*1.50 + 7*0.90

ULS/42	1*1.00
ULS/43	1*1.35 + 3*1.50 + 8*0.75
ULS/44	1*1.35 + 3*1.50
ULS/45	1*1.35 + 3*1.50 + 4*0.90 + 8*0.75
ULS/46	1*1.35 + 3*1.50 + 4*0.90
ULS/47	1*1.35 + 3*1.50 + 5*0.90 + 8*0.75
ULS/48	1*1.35 + 3*1.50 + 5*0.90
ULS/49	1*1.35 + 3*1.50 + 6*0.90 + 8*0.75
ULS/50	1*1.35 + 3*1.50 + 6*0.90
ULS/51	1*1.35 + 3*1.50 + 7*0.90 + 8*0.75
ULS/52	1*1.35 + 3*1.50 + 7*0.90
ULS/53	1*1.00 + 3*1.50 + 8*0.75
ULS/54	1*1.00 + 3*1.50
ULS/55	1*1.00 + 3*1.50 + 4*0.90 + 8*0.75
ULS/56	1*1.00 + 3*1.50 + 4*0.90
ULS/57	1*1.00 + 3*1.50 + 5*0.90 + 8*0.75
ULS/58	1*1.00 + 3*1.50 + 5*0.90
ULS/59	1*1.00 + 3*1.50 + 6*0.90 + 8*0.75
ULS/60	1*1.00 + 3*1.50 + 6*0.90
ULS/61	1*1.00 + 3*1.50 + 7*0.90 + 8*0.75
ULS/62	1*1.00 + 3*1.50 + 7*0.90
ULS/63	1*1.35 + 3*1.50 + 4*1.50 + 8*0.75
ULS/64	1*1.35 + 3*1.50 + 4*1.50
ULS/65	1*1.35 + 3*1.50 + 5*1.50 + 8*0.75
ULS/66	1*1.35 + 3*1.50 + 5*1.50
ULS/67	1*1.35 + 3*1.50 + 6*1.50 + 8*0.75
ULS/68	1*1.35 + 3*1.50 + 6*1.50
ULS/69	1*1.35 + 3*1.50 + 7*1.50 + 8*0.75
ULS/70	1*1.35 + 3*1.50 + 7*1.50
ULS/71	1*1.35 + 4*1.50 + 8*0.75
ULS/72	1*1.35 + 4*1.50
ULS/73	1*1.35 + 5*1.50 + 8*0.75
ULS/74	1*1.35 + 5*1.50
ULS/75	1*1.35 + 6*1.50 + 8*0.75
ULS/76	1*1.35 + 6*1.50
ULS/77	1*1.35 + 7*1.50 + 8*0.75
ULS/78	1*1.35 + 7*1.50
ULS/79	1*1.00 + 3*1.50 + 4*1.50 + 8*0.75
ULS/80	1*1.00 + 3*1.50 + 4*1.50

ULS/81	1*1.00 + 3*1.50 + 5*1.50 + 8*0.75
ULS/82	1*1.00 + 3*1.50 + 5*1.50
ULS/83	1*1.00 + 3*1.50 + 6*1.50 + 8*0.75
ULS/84	1*1.00 + 3*1.50 + 6*1.50
ULS/85	1*1.00 + 3*1.50 + 7*1.50 + 8*0.75
ULS/86	1*1.00 + 3*1.50 + 7*1.50
ULS/87	1*1.00 + 4*1.50 + 8*0.75
ULS/88	1*1.00 + 4*1.50
ULS/89	1*1.00 + 5*1.50 + 8*0.75
ULS/90	1*1.00 + 5*1.50
ULS/91	1*1.00 + 6*1.50 + 8*0.75
ULS/92	1*1.00 + 6*1.50
ULS/93	1*1.00 + 7*1.50 + 8*0.75
ULS/94	1*1.00 + 7*1.50
ULS/95	1*1.35 + 3*1.50 + 8*1.50
ULS/96	1*1.35 + 3*1.50 + 4*0.90 + 8*1.50
ULS/97	1*1.35 + 3*1.50 + 5*0.90 + 8*1.50
ULS/98	1*1.35 + 3*1.50 + 6*0.90 + 8*1.50
ULS/99	1*1.35 + 3*1.50 + 7*0.90 + 8*1.50
ULS/100	1*1.35 + 8*1.50
ULS/101	1*1.35 + 4*0.90 + 8*1.50
ULS/102	1*1.35 + 5*0.90 + 8*1.50
ULS/103	1*1.35 + 6*0.90 + 8*1.50
ULS/104	1*1.35 + 7*0.90 + 8*1.50
ULS/105	1*1.00 + 3*1.50 + 8*1.50
ULS/106	1*1.00 + 3*1.50 + 4*0.90 + 8*1.50
ULS/107	1*1.00 + 3*1.50 + 5*0.90 + 8*1.50
ULS/108	1*1.00 + 3*1.50 + 6*0.90 + 8*1.50
ULS/109	1*1.00 + 3*1.50 + 7*0.90 + 8*1.50
ULS/110	1*1.00 + 8*1.50
ULS/111	1*1.00 + 4*0.90 + 8*1.50
ULS/112	1*1.00 + 5*0.90 + 8*1.50
ULS/113	1*1.00 + 6*0.90 + 8*1.50
ULS/114	1*1.00 + 7*0.90 + 8*1.50

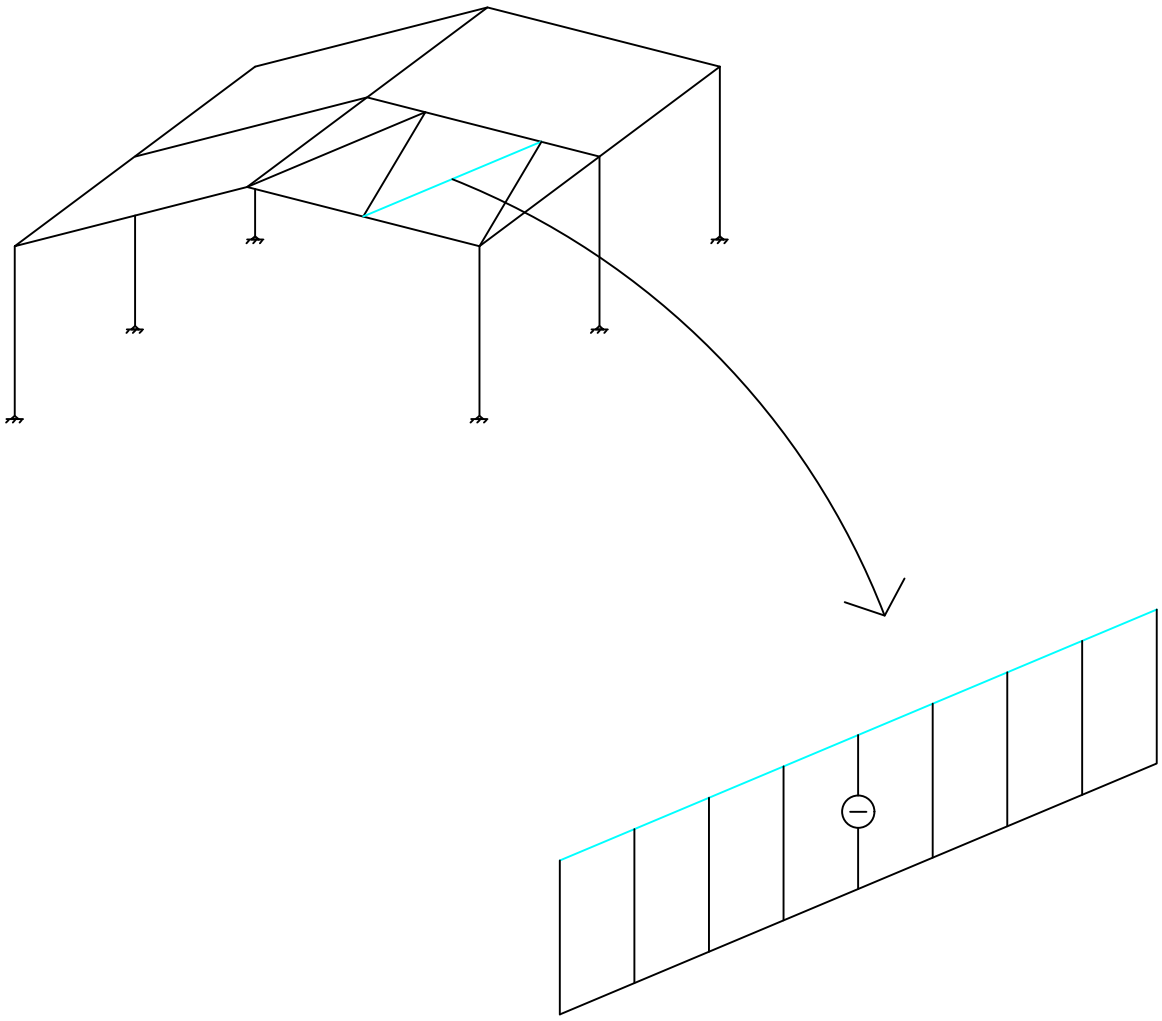
6.3 Diagramas de esforços – Análise de resistência da secção transversal



N = - 26,48 kN

(Esforço Normal)

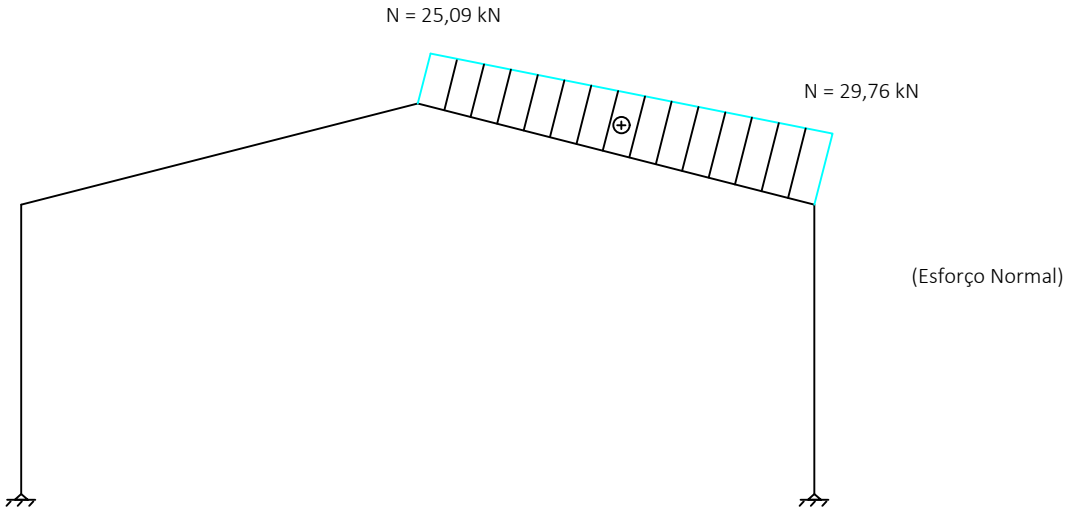
Análise	**Análise de resistência de secção transversal**	**Diagrama**
Grupo	**1: Travamento de pórticos**	**01**



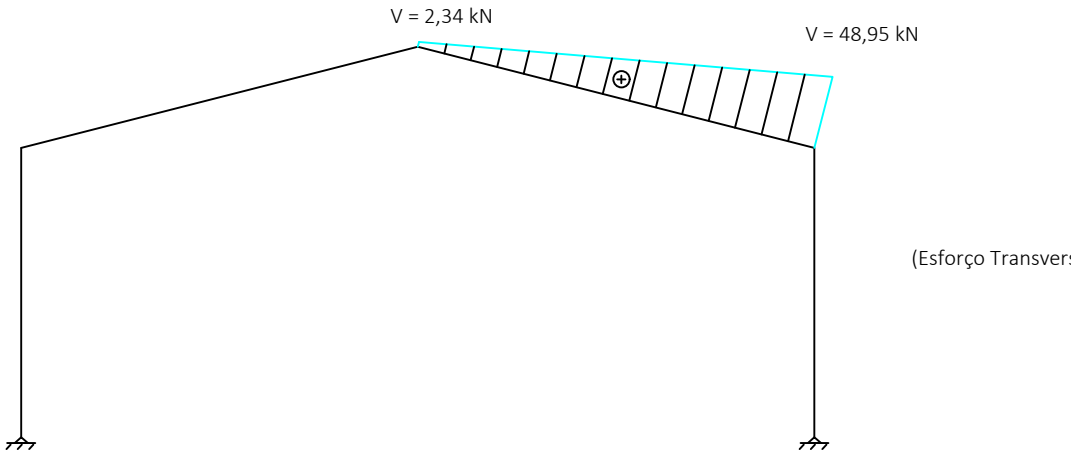
N = - 59,40 kN

(Esforço Normal)

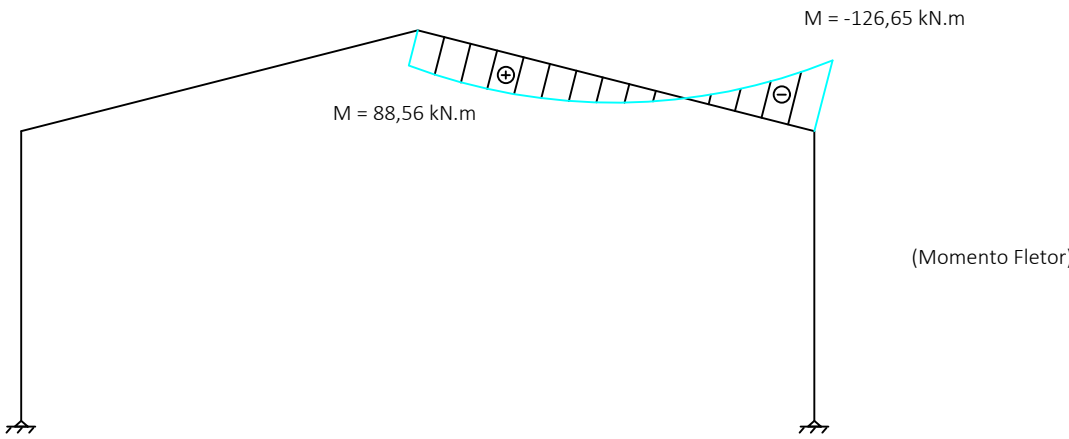
Análise	**Análise de resistência de secção transversal**	**Diagrama**
Grupo	**2: Contraventamento de extremidade**	**02**



(Esforço Normal)

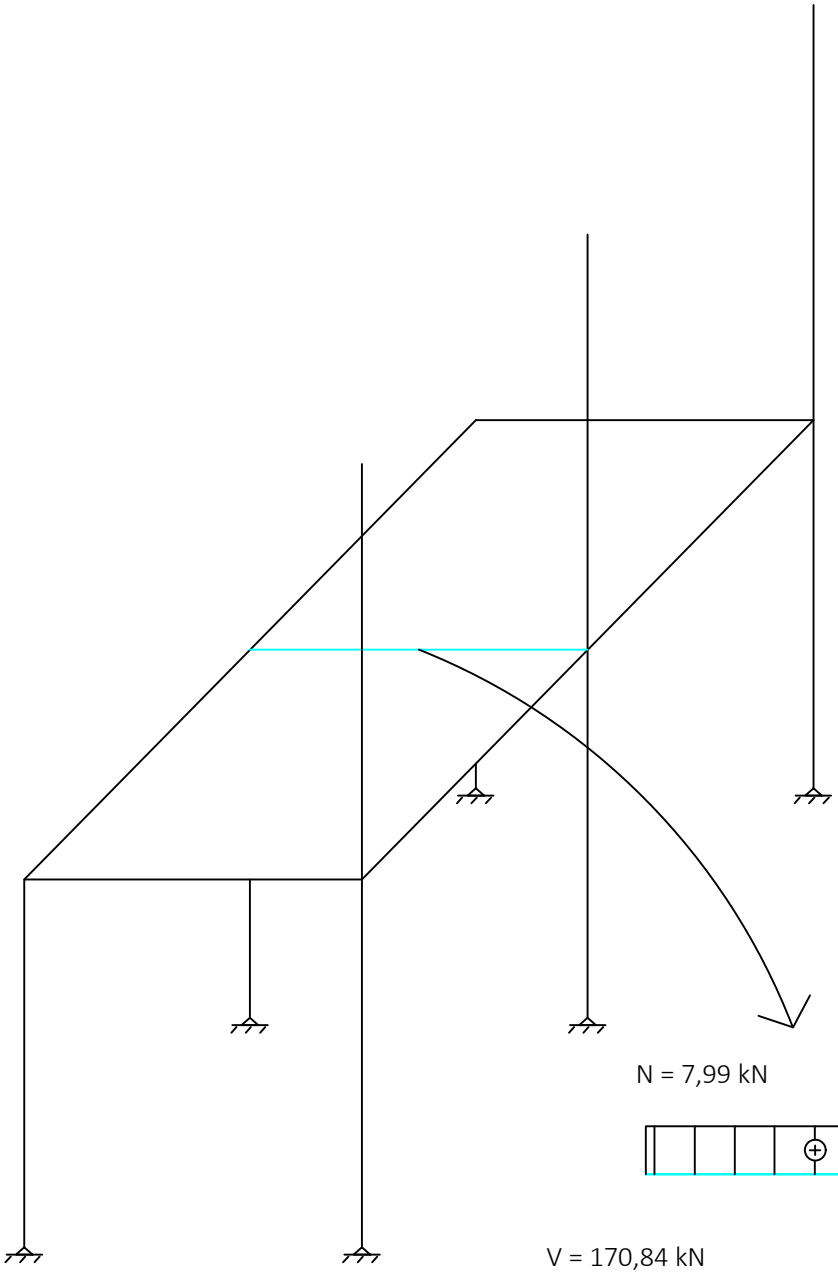


(Esforço Transverso)



(Momento Fletor)

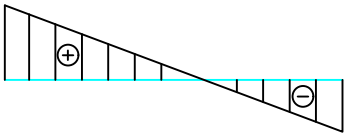
Análise	**Análise de resistência de secção transversal**	**Diagrama**
Grupo	**3: Vigas Principais**	**03**



N = 7,99 kN

(Esforço Normal)

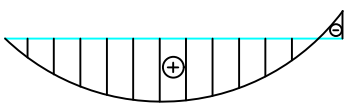
V = 170,84 kN



(Esforço Transverso)

V = -161,53 kN

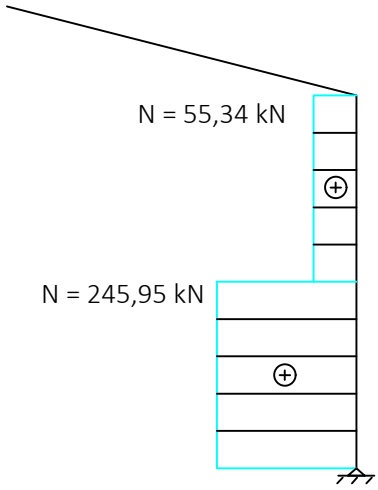
M = - 73,55 kN.m



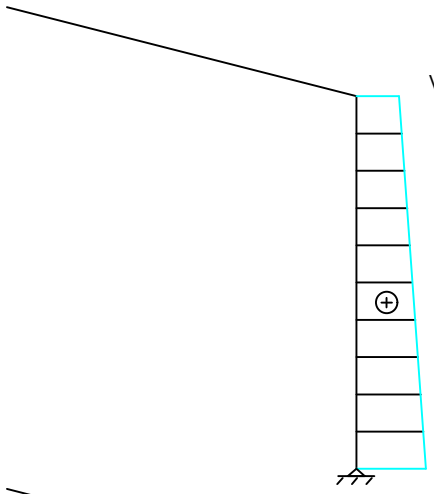
(Momento Fletor)

M = 289,63 kN.m

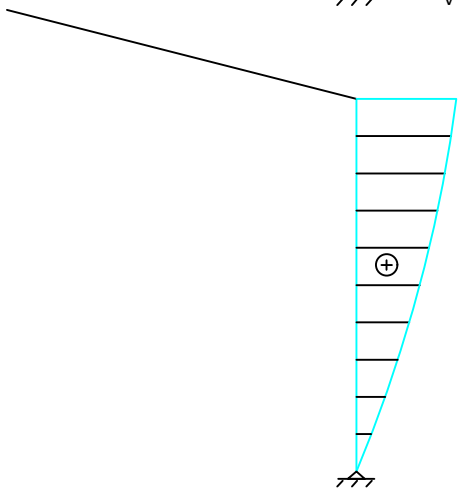
Análise	**Análise de resistência de secção transversal**	**Diagrama**
Grupo	**4: Vigas de Piso**	**04**



(Esforço Normal)

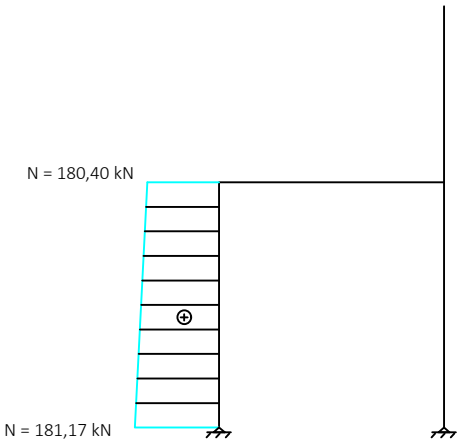


(Esforço Transverso)

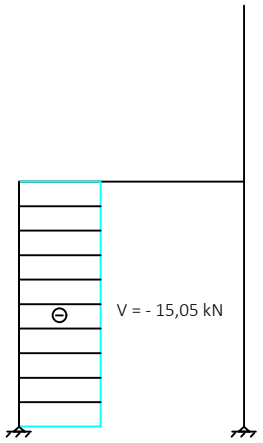


(Momento Fletor)

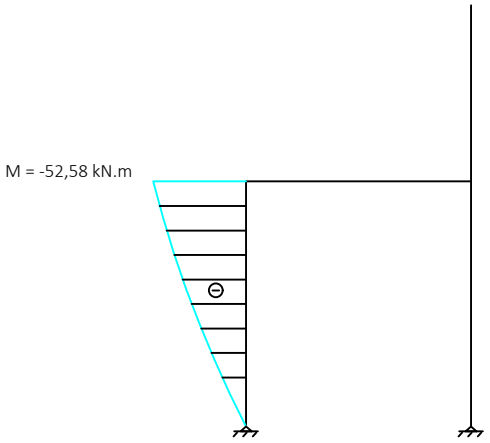
Análise	**Análise de resistência de secção transversal**	**Diagrama**
Grupo	**5: Pilares Principais**	**05**



(Esforço Normal)

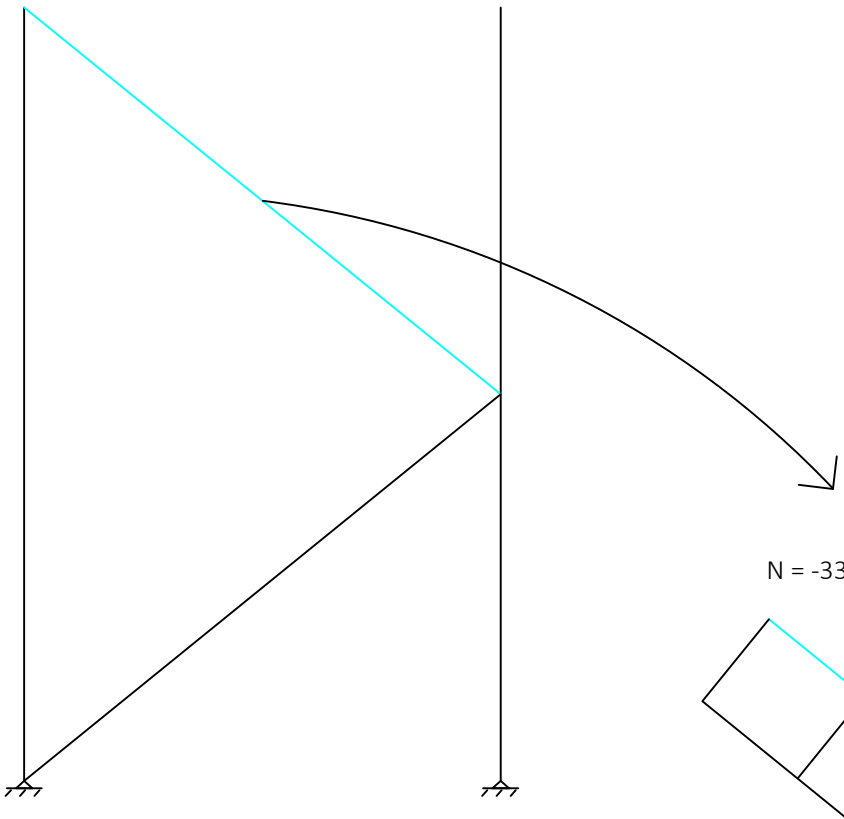


(Esforço Transverso)

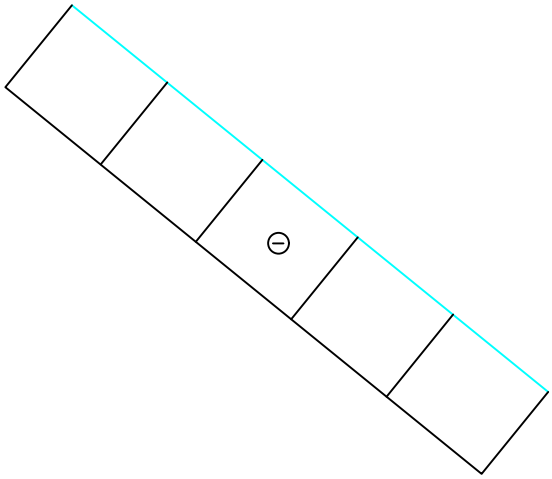


(Momento Fletor)

Análise	**Análise de resistência de secção transversal**	**Diagrama**
Grupo	**6: Pilares de Piso**	**06**

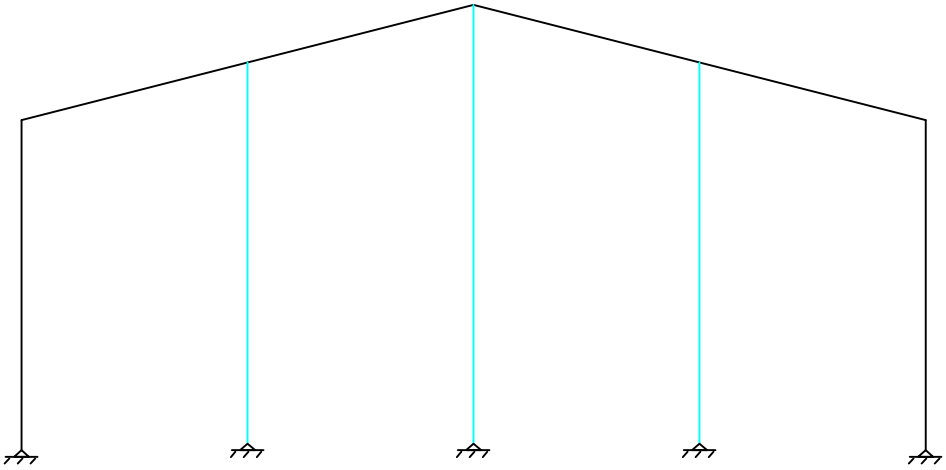


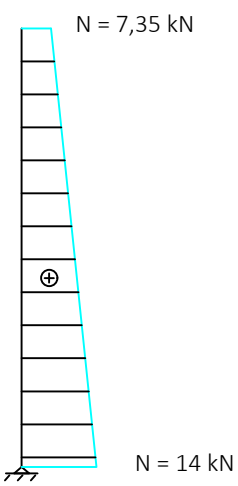
N = -33,35 kN (Esforço Normal)



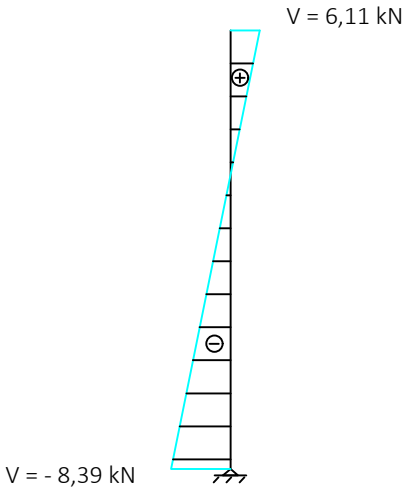
N = -33,14 kN

Análise	**Análise de resistência de secção transversal**	**Diagrama**
Grupo	**7: Contraventamento lateral**	**07**

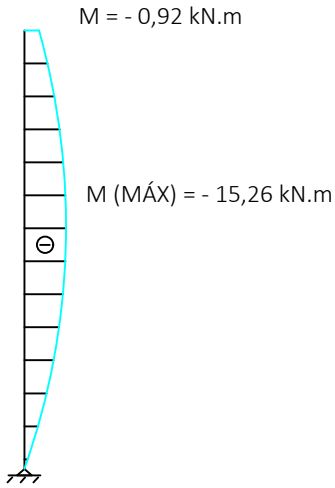




(Esforço Normal)

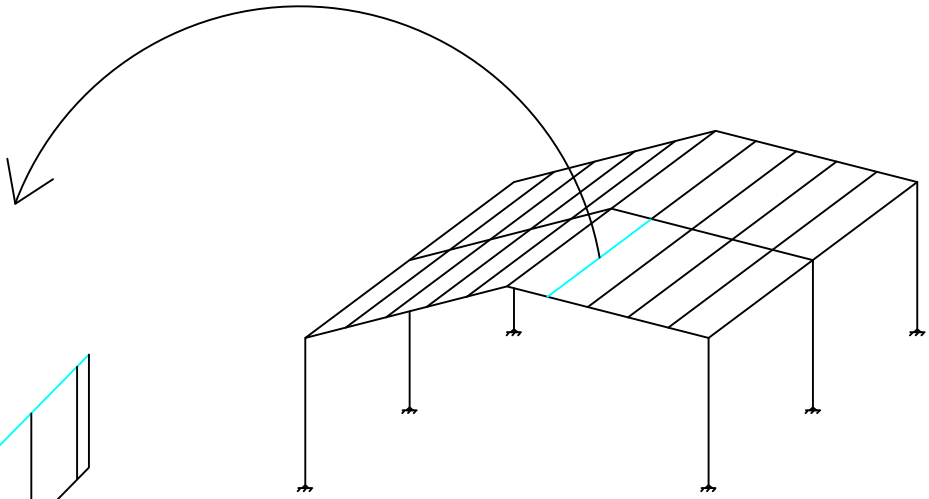


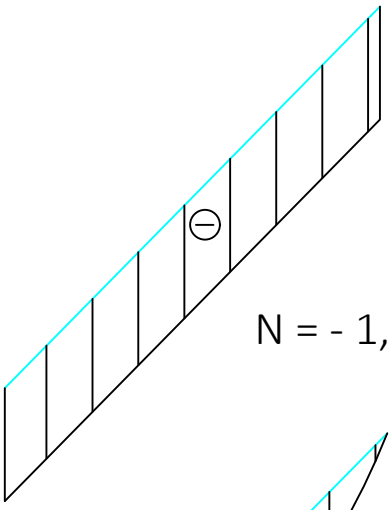
(Esforço Transverso)



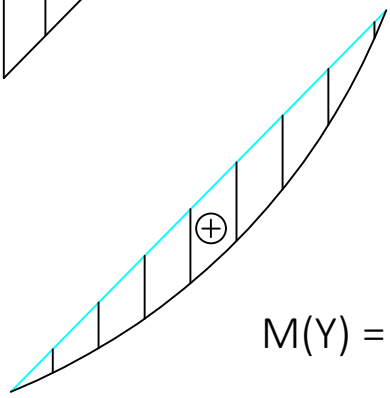
(Momento Fletor)

Análise	**Análise de resistência de secção transversal**	**Diagrama**
Grupo	**8: Pilaretes**	**08**

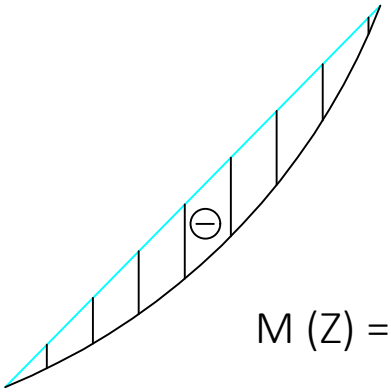




N = - 1,48 kN (Esforço Normal)

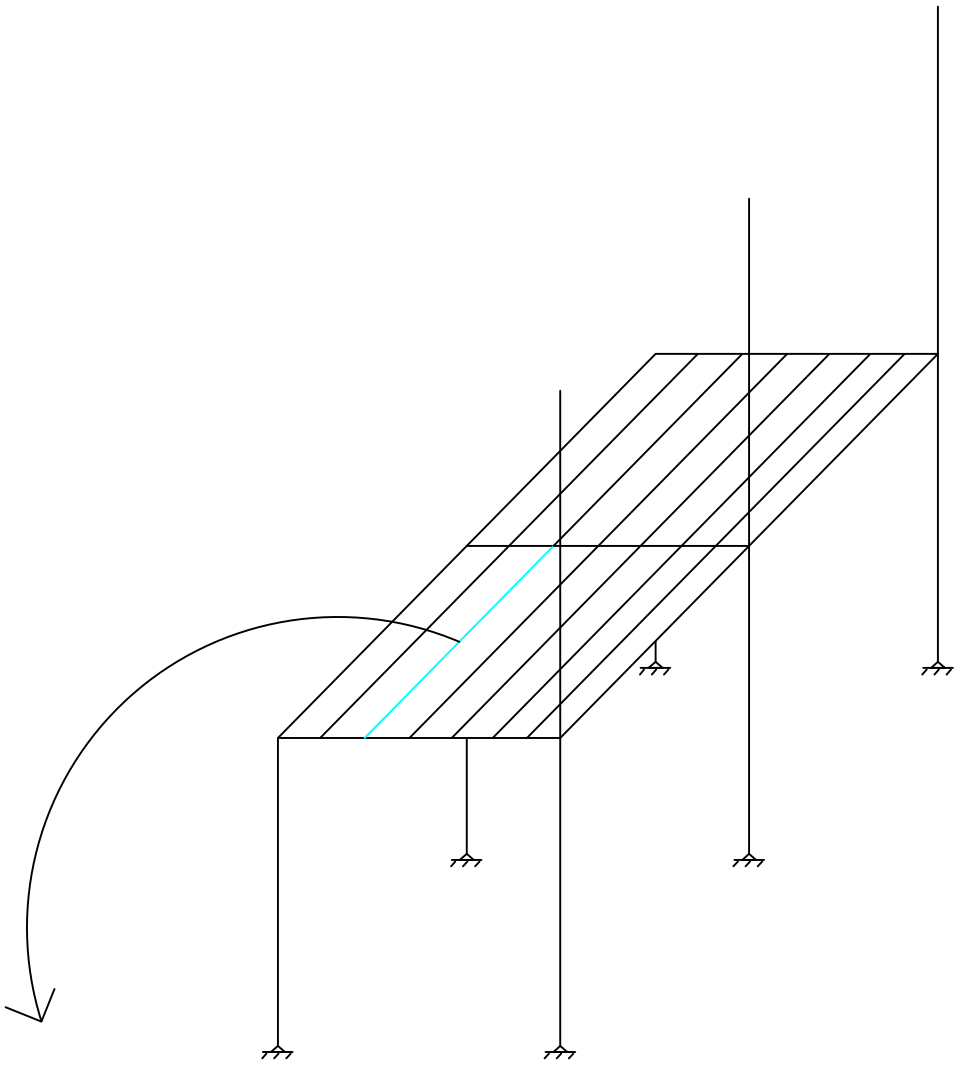


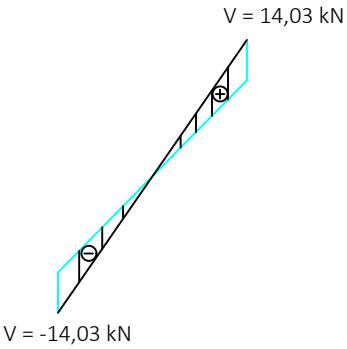
M(Y) = 6,76 kN.m (Momento Y)



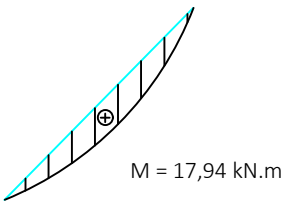
M (Z) = - 0,68 kN.m (Momento Z)

Análise	**Análise de resistência de secção transversal**	**Diagrama**
Grupo	**9: Madres de cobertura**	**09**





(Esforço Transverso)



(Momento Fletor)

Análise	**Análise de resistência de secção transversal**	**Diagrama**
Grupo	**10: Madres de piso**	**10**

6.4 Nota de cálculo ELU – Análise linear de 1ª ordem

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 1 Travamento pórticos
MEMBRO: 44 travam. porticos resist._44 **PONTO:** 1
COORDENADAS: x = 0.00 L = 0.00 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 9 ULS /1/ 1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35

MATERIAL:
S 275 (S 275) fy = 275.00 MPa



PARÂMETROS DA SEÇÃO: TRON 88x2.5

h=8.9 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
	Ay=4.32 cm2	Az=4.32 cm2	Ax=6.79 cm2
tw=0.2 cm	Iy=63.37 cm4	Iz=63.37 cm4	Ix=126.70 cm4
	Wply=18.67 cm3	Wplz=18.67 cm3	

FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:
N,Ed = -26.26 kN
Nt,Rd = 186.62 kN

Classe da seção = 1



PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

 Em torno do eixo y:

 Em torno do eixo z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Verificação de resistência de seção:
N,Ed/Nt,Rd = 0.14 < 1.00 (6.2.3.(1))

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 2 Contrav. extrem.
MEMBRO: 95 Contravent. Resist. extrem._95 **PONTO:** 1
COORDENADAS: x = 0.00 L = 0.00 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 9 ULS /1/ 1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35

MATERIAL:
S 275 (S 275) fy = 275.00 MPa



PARÂMETROS DA SEÇÃO: TRON 88x2.5

h=8.9 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
	Ay=4.32 cm2	Az=4.32 cm2	Ax=6.79 cm2
tw=0.2 cm	Iy=63.37 cm4	Iz=63.37 cm4	Ix=126.70 cm4
	Wply=18.67 cm3	Wplz=18.67 cm3	

FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:
N,Ed = -59.48 kN
Nt,Rd = 186.62 kN

Classe da seção = 1



PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

 Em torno do eixo y:

 Em torno do eixo z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Verificação de resistência de seção:
N,Ed/Nt,Rd = 0.32 < 1.00 (6.2.3.(1))

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 3 Vigas principais
MEMBRO: 22 Viga_22 **PONTO:** 1 **COORDENADAS:** x = 0.00 L = 0.00 m

---

CARGAS:

Caso de carga atuante: 9 ULS /1/ 1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35

MATERIAL:

S 275 (S 275) fy = 275.00 MPa



PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 270

h=48.6 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=13.5 cm	Ay=27.54 cm2	Az=30.73 cm2	Ax=73.30 cm2
tw=0.7 cm	Iy=21713.85 cm4	Iz=629.49 cm4	Ix=21.41 cm4
tf=1.0 cm	Wply=1012.87 cm3	Wplz=98.02 cm3	

FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:

N,Ed = 45.99 kN	My,Ed = -158.46 kN*m	
Nc,Rd = 2015.69 kN	My,pl,Rd = 278.54 kN*m	
Nb,Rd = 2015.69 kN	My,c,Rd = 278.54 kN*m	Vz,Ed = 50.65 kN
	MN,y,Rd = 278.39 kN*m	Vz,c,Rd = 487.90 kN
	Mb,Rd = 187.30 kN*m	
		Classe da seção = 1




PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

z = 1.00	Mcr = 383.66 kN*m	Curva,LT - d	XLT = 0.65
Lcr,low=1.71 m	Lam_LT = 0.85	fi,LT = 0.94	XLT,mod = 0.67

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:



Em torno do eixo y:
kyy = 1.00



Em torno do eixo z:
kzy = 1.00

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:

Verificação de resistência de seção:

N,Ed/Nc,Rd = 0.02 < 1.00 (6.2.4.(1))
My,Ed/My,c,Rd = 0.57 < 1.00 (6.2.5.(1))
My,Ed/MN,y,Rd = 0.57 < 1.00 (6.2.9.1.(2))
Vz,Ed/Vz,c,Rd = 0.10 < 1.00 (6.2.6.(1))

Verificação de estabilidade global de membro:

My,Ed/Mb,Rd = 0.85 < 1.00 (6.3.2.1.(1))
N,Ed/(Xy*N,Rk/gM1) + kyy*My,Ed/(XLT*My,Rk/gM1) = 0.87 < 1.00 (6.3.3.(4))
N,Ed/(Xz*N,Rk/gM1) + kzy*My,Ed/(XLT*My,Rk/gM1) = 0.87 < 1.00 (6.3.3.(4))

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 4 Vigas piso
MEMBRO: 34 Viga_34 **PONTO:** 1 **COORDENADAS:** x = 0.50 L = 3.00 m

---

CARGAS:
Caso de carga atuante: 9 ULS /1/ 1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35

MATERIAL:
S 275 (S 275) fy = 275.00 MPa



PARÂMETROS DA SEÇÃO: HEB 240

h=24.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=24.0 cm	Ay=89.59 cm2	Az=33.23 cm2	Ax=105.99 cm2
tw=1.0 cm	Iy=11259.30 cm4	Iz=3922.66 cm4	Ix=107.00 cm4
tf=1.7 cm	Wply=1053.21 cm3	Wplz=498.43 cm3	

FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:

N,Ed = 11.99 kN	My,Ed = 235.26 kN*m	
Nc,Rd = 2914.61 kN	My,Ed,max = 235.26 kN*m	
Nb,Rd = 2914.61 kN	My,c,Rd = 289.63 kN*m	Vz,Ed = -1.87 kN
	MN,y,Rd = 289.63 kN*m	Vz,c,Rd = 527.53 kN
	Mb,Rd = 289.63 kN*m	
		Classe da seção = 1




PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

z = 1.00	Mcr = 28066.80 kN*m	Curva,LT - b	XLT = 1.00
Lcr,upp=0.48 m	Lam_LT = 0.10	fi,LT = 0.45	XLT,mod = 1.00

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:



Em torno do eixo y:
kyy = 1.00



Em torno do eixo z:
kzy = 1.00

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Verificação de resistência de seção:
N,Ed/Nc,Rd = 0.00 < 1.00 (6.2.4.(1))
My,Ed/My,c,Rd = 0.81 < 1.00 (6.2.5.(1))
Vz,Ed/Vz,c,Rd = 0.00 < 1.00 (6.2.6.(1))

Verificação de estabilidade global de membro:
My,Ed,max/Mb,Rd = 0.81 < 1.00 (6.3.2.1.(1))
N,Ed/(Xy*N,Rk/gM1) + kyy*My,Ed,max/(XLT*My,Rk/gM1) = 0.82 < 1.00 (6.3.3.(4))
N,Ed/(Xz*N,Rk/gM1) + kzy*My,Ed,max/(XLT*My,Rk/gM1) = 0.82 < 1.00 (6.3.3.(4))

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 5 Pilares principais
MEMBRO: 11 Coluna_11 **PONTO:** 3 **COORDENADAS:** x = 1.00 L = 6.00 m

---

CARGAS:
Caso de carga atuante: 9 ULS /1/ 1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35

MATERIAL:
S 275 (S 275) fy = 275.00 MPa



PARÂMETROS DA SEÇÃO: HEA 240

h=23.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=24.0 cm	Ay=64.54 cm2	Az=25.18 cm2	Ax=76.84 cm2
tw=0.8 cm	Iy=7763.18 cm4	Iz=2768.81 cm4	Ix=38.20 cm4
tf=1.2 cm	Wply=744.68 cm3	Wplz=351.70 cm3	

FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:

N,Ed = 55.33 kN	My,Ed = 164.67 kN*m	
Nc,Rd = 2112.98 kN	My,Ed,max = 164.67 kN*m	
Nb,Rd = 1670.69 kN	My,c,Rd = 204.79 kN*m	Vz,Ed = 41.88 kN
	MN,y,Rd = 204.79 kN*m	Vz,c,Rd = 399.72 kN
	Mb,Rd = 204.79 kN*m	
		Classe da seção = 1




PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

z = 1.00	Mcr = 4168.55 kN*m	Curva,LT - b	XLT = 1.00
Lcr,upp=1.05 m	Lam_LT = 0.22	fi,LT = 0.49	XLT,mod = 1.00

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:





Em torno do eixo y:




Em torno do eixo z:

Ly = 6.00 m	Lam_y = 0.69	Lz = 6.00 m	Lam_z = 0.20
Lcr,y = 6.00 m	Xy = 0.79	Lcr,z = 1.05 m	Xz = 1.00
Lamy = 59.69	kyy = 1.01	Lamz = 17.49	kzy = 0.52

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:

Verificação de resistência de seção:

N,Ed/Nc,Rd = 0.03 < 1.00 (6.2.4.(1))
My,Ed/My,c,Rd = 0.80 < 1.00 (6.2.5.(1))
Vz,Ed/Vz,c,Rd = 0.10 < 1.00 (6.2.6.(1))

Verificação de estabilidade global de membro:

Lambda,y = 59.69 < Lambda,max = 210.00 Lambda,z = 17.49 < Lambda,max = 210.00
ESTÁVEL
My,Ed,max/Mb,Rd = 0.80 < 1.00 (6.3.2.1.(1))
N,Ed/(Xy*N,Rk/gM1) + kyy*My,Ed,max/(XLT*My,Rk/gM1) = 0.84 < 1.00 (6.3.3.(4))
N,Ed/(Xz*N,Rk/gM1) + kzy*My,Ed,max/(XLT*My,Rk/gM1) = 0.45 < 1.00 (6.3.3.(4))

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 6 Pilares piso
MEMBRO: 31 Coluna_31 **PONTO:** 2 **COORDENADAS:** x = 0.50 L = 1.75 m

---

CARGAS:

Caso de carga atuante: 9 ULS /178/ 1*1.00 + 3*1.50 + 6*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00

MATERIAL:

S 275 (S 275) fy = 275.00 MPa



PARÂMETROS DA SEÇÃO: HEA 220

h=21.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=22.0 cm	Ay=53.70 cm2	Az=20.67 cm2	Ax=64.34 cm2
tw=0.7 cm	Iy=5409.70 cm4	Iz=1954.56 cm4	Ix=27.10 cm4
tf=1.1 cm	Wply=568.50 cm3	Wplz=270.60 cm3	

FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:

N,Ed = 190.12 kN	My,Ed = -41.19 kN*m	Mz,Ed = -0.00 kN*m	Vy,Ed = -0.00 kN
Nc,Rd = 1769.38 kN	My,Ed,max = -105.59 kN*m		Mz,Ed,max = -0.00 kN*m
	Vy,T,Rd = 852.62 kN		
Nb,Rd = 1247.63 kN	My,c,Rd = 156.34 kN*m	Mz,c,Rd = 74.41 kN*m	Vz,Ed = -36.80 kN
	MN,y,Rd = 156.34 kN*m	MN,z,Rd = 74.41 kN*m	Vz,T,Rd = 328.20 kN

Mb,Rd = 149.47 kN*m | Tt,Ed = -0.00 kN*m
Classe da seção = 1

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

z = 0.00 | Mcr = 481.14 kN*m | Curva,LT - b | XLT = 0.93
Lcr,low=3.50 m | Lam_LT = 0.57 | fi,LT = 0.65 | XLT,mod = 0.96

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

Em torno do eixo y:

Ly = 3.50 m | Lam_y = 0.44
Lcr,y = 3.50 m | Xy = 0.91
Lamy = 38.17 | kyy = 1.06

Em torno do eixo z:

Lz = 3.50 m | Lam_z = 0.73
Lcr,z = 3.50 m | Xz = 0.71
Lamz = 63.50 | kyz = 0.92

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:

Verificação de resistência de seção:

N,Ed/Nc,Rd = 0.11 < 1.00 (6.2.4.(1))
My,Ed/MN,y,Rd = 0.26 < 1.00 (6.2.9.1.(2))
Mz,Ed/MN,z,Rd = 0.00 < 1.00 (6.2.9.1.(2))
(My,Ed/MN,y,Rd)^ 2.00 + (Mz,Ed/MN,z,Rd)^1.00 = 0.07 < 1.00 (6.2.9.1.(6))
Vy,Ed/Vy,T,Rd = 0.00 < 1.00 (6.2.6-7)
Vz,Ed/Vz,T,Rd = 0.11 < 1.00 (6.2.6-7)
Tau,ty,Ed/(fy/(sqrt(3)*gM0)) = 0.00 < 1.00 (6.2.6)
Tau,tz,Ed/(fy/(sqrt(3)*gM0)) = 0.00 < 1.00 (6.2.6)

Verificação de estabilidade global de membro:

Lambda,y = 38.17 < Lambda,max = 210.00 Lambda,z = 63.50 < Lambda,max = 210.00
ESTÁVEL
My,Ed,max/Mb,Rd = 0.71 < 1.00 (6.3.2.1.(1))
N,Ed/(Xy*N,Rk/gM1) + kyy*My,Ed,max/(XLT*My,Rk/gM1) + kyz*Mz,Ed,max/(Mz,Rk/gM1) = 0.87 < 1.00 (6.3.3.(4))
N,Ed/(Xz*N,Rk/gM1) + kzy*My,Ed,max/(XLT*My,Rk/gM1) + kzz*Mz,Ed,max/(Mz,Rk/gM1) = 0.55 < 1.00 (6.3.3.(4))

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 7 Contrav. lateral
MEMBRO: 101 Contravent. Resist. lateral_101 **PONTO:** 1
COORDENADAS: x = 0.00 L = 0.00 m

CARGAS:

Caso de carga atuante: 9 ULS /5/ 1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 5*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35

MATERIAL:

S 275 (S 275) fy = 275.00 MPa



PARÂMETROS DA SEÇÃO: TRON 88x2.5

h=8.9 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
	Ay=4.32 cm2	Az=4.32 cm2	Ax=6.79 cm2
tw=0.2 cm	Iy=63.37 cm4	Iz=63.37 cm4	Ix=126.70 cm4
	Wply=18.67 cm3	Wplz=18.67 cm3	

FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:

N,Ed = -33.67 kN

Nt,Rd = 186.62 kN

Classe da seção = 1

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

Em torno do eixo y: Em torno do eixo z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:

Verificação de resistência de seção:

N,Ed/Nt,Rd = 0.18 < 1.00 (6.2.3.(1))

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

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

TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 8 Pilaretes

MEMBRO: 111 Coluna_111 **PONTO:** 2 **COORDENADAS:** x = 0.50 L = 3.50 m

---

CARGAS:

Caso de carga atuante: 9 ULS /131/ 1*1.35 + 3*1.50 + 7*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35

MATERIAL:

S 275 (S 275) fy = 275.00 MPa



PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 140

h=14.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=7.3 cm	Ay=11.15 cm2	Az=7.64 cm2	Ax=16.43 cm2
tw=0.5 cm	Iy=541.22 cm4	Iz=44.92 cm4	Ix=2.54 cm4
tf=0.7 cm	Wply=88.35 cm3	Wplz=19.25 cm3	

FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:

N,Ed = 10.66 kN	My,Ed = -15.68 kN*m	Mz,Ed = -0.01 kN*m	Vy,Ed = 0.00 kN
Nc,Rd = 451.71 kN	My,Ed,max = -15.68 kN*m		Mz,Ed,max = -0.01
kN*m	Vy,c,Rd = 177.07 kN		
Nb,Rd = 187.74 kN	My,c,Rd = 24.30 kN*m	Mz,c,Rd = 5.29 kN*m	Vz,Ed = 0.15 kN
	MN,y,Rd = 24.30 kN*m	MN,z,Rd = 5.29 kN*m	Vz,c,Rd = 121.34 kN
	Mb,Rd = 21.28 kN*m		
			Classe da seção = 1



PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

z = 1.00	Mcr = 44.49 kN*m	Curva,LT - b	XLT = 0.85
Lcr,low=1.20 m	Lam_LT = 0.74	fi,LT = 0.76	XLT,mod = 0.88

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:



Em torno do eixo y:



Em torno do eixo z:

Ly = 7.00 m	Lam_y = 1.40	Lz = 7.00 m	Lam_z = 0.84
Lcr,y = 7.00 m	Xy = 0.42	Lcr,z = 1.20 m	Xz = 0.70
Lamy = 121.95	kyy = 1.04	Lamz = 72.57	kyz = 0.98

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:

Verificação de resistência de seção:

N,Ed/Nc,Rd = 0.02 < 1.00 (6.2.4.(1))

My,Ed/MN,y,Rd = 0.65 < 1.00 (6.2.9.1.(2))

Mz,Ed/MN,z,Rd = 0.00 < 1.00 (6.2.9.1.(2))

(My,Ed/MN,y,Rd)^ 2.00 + (Mz,Ed/MN,z,Rd)^1.00 = 0.42 < 1.00 (6.2.9.1.(6))

Vy,Ed/Vy,c,Rd = 0.00 < 1.00 (6.2.6.(1))

Vz,Ed/Vz,c,Rd = 0.00 < 1.00 (6.2.6.(1))

Verificação de estabilidade global de membro:

Lambda,y = 121.95 < Lambda,max = 210.00 Lambda,z = 72.57 < Lambda,max = 210.00

ESTÁVEL

My,Ed,max/Mb,Rd = 0.74 < 1.00 (6.3.2.1.(1))

N,Ed/(Xy*N,Rk/gM1) + kyy*My,Ed,max/(XLT*My,Rk/gM1) + kyz*Mz,Ed,max/(Mz,Rk/gM1) = 0.82 < 1.00 (6.3.3.(4))

N,Ed/(Xz*N,Rk/gM1) + kzy*My,Ed,max/(XLT*My,Rk/gM1) + kzz*Mz,Ed,max/(Mz,Rk/gM1) = 0.46 < 1.00 (6.3.3.(4))

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 9 Madres cobertura
MEMBRO: 149 Madre resist._149 **PONTO:** 2
COORDENADAS: x = 0.50 L = 2.50 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 9 ULS /22/ 1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00

MATERIAL:
S 275 (S 275) fy = 275.00 MPa



PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 120

h=12.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=6.4 cm	Ay=9.10 cm2	Az=6.31 cm2	Ax=13.21 cm2
tw=0.4 cm	Iy=317.75 cm4	Iz=27.67 cm4	Ix=1.71 cm4
tf=0.6 cm	Wply=60.73 cm3	Wplz=13.58 cm3	

FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:

N,Ed = -1.36 kN	My,Ed = 6.85 kN*m	Mz,Ed = 0.68 kN*m	
Nt,Rd = 363.28 kN	My,pl,Rd = 16.70 kN*m	Mz,pl,Rd = 3.73 kN*m	
	My,c,Rd = 16.70 kN*m	Mz,c,Rd = 3.73 kN*m	
	MN,y,Rd = 16.70 kN*m	MN,z,Rd = 3.73 kN*m	
			Classe da seção = 1

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

Em torno do eixo y: Em torno do eixo z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Verificação de resistência de seção:
N,Ed/Nt,Rd = 0.00 < 1.00 (6.2.3.(1))
My,Ed/MN,y,Rd = 0.41 < 1.00 (6.2.9.1.(2))
Mz,Ed/MN,z,Rd = 0.18 < 1.00 (6.2.9.1.(2))
(My,Ed/MN,y,Rd)^ 2.00 + (Mz,Ed/MN,z,Rd)^1.00 = 0.35 < 1.00 (6.2.9.1.(6))

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 10 Madres piso
MEMBRO: 198 Madre resist._198 **PONTO:** 2
COORDENADAS: x = 0.50 L = 2.50 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 9 ULS /131/ 1*1.35 + 3*1.50 + 7*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35

MATERIAL:
S 275 (S 275) fy = 275.00 MPa



PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 160

h=16.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=8.2 cm	Ay=13.73 cm2	Az=9.66 cm2	Ax=20.09 cm2
tw=0.5 cm	Iy=869.29 cm4	Iz=68.31 cm4	Ix=3.53 cm4
tf=0.7 cm	Wply=123.87 cm3	Wplz=26.10 cm3	

FORÇAS INTERNAS E CAPACIDADES:
N,Ed = -0.00 kN
Nt,Rd = 552.51 kN
My,Ed = 18.06 kN*m
My,pl,Rd = 34.06 kN*m
My,c,Rd = 34.06 kN*m
MN,y,Rd = 34.06 kN*m

Classe da seção = 1

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

Em torno do eixo y: Em torno do eixo z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Verificação de resistência de seção:
N,Ed/Nt,Rd = 0.00 < 1.00 (6.2.3.(1))
My,Ed/My,c,Rd = 0.53 < 1.00 (6.2.5.(1))

Seção OK !!!

6.5 Lista de combinações ELU – Análise linear de 1ª ordem

Combinações/Comp.	Definição
ULS/1	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/2	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/3	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 4*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/4	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 4*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/5	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 5*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/6	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 5*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/7	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 6*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/8	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 6*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/9	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 7*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/10	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 7*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/11	1*1.35 + 2*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/12	1*1.35 + 2*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/13	1*1.35 + 2*1.50 + 4*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/14	1*1.35 + 2*1.50 + 4*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/15	1*1.35 + 2*1.50 + 5*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/16	1*1.35 + 2*1.50 + 5*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/17	1*1.35 + 2*1.50 + 6*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/18	1*1.35 + 2*1.50 + 6*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/19	1*1.35 + 2*1.50 + 7*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/20	1*1.35 + 2*1.50 + 7*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/21	1*1.35 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/22	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/23	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/24	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 4*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/25	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 4*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/26	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 5*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/27	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 5*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/28	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 6*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/29	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 6*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/30	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 7*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/31	1*1.35 + 2*1.50 + 3*1.50 + 7*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/32	1*1.35 + 2*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/33	1*1.35 + 2*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/34	1*1.35 + 2*1.50 + 4*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/35	1*1.35 + 2*1.50 + 4*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/36	1*1.35 + 2*1.50 + 5*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/37	1*1.35 + 2*1.50 + 5*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/38	1*1.35 + 2*1.50 + 6*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/39	1*1.35 + 2*1.50 + 6*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/40	1*1.35 + 2*1.50 + 7*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/41	1*1.35 + 2*1.50 + 7*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00

ULS/42	1*1.35 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/43	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/44	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/45	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 4*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/46	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 4*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/47	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 5*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/48	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 5*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/49	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 6*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/50	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 6*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/51	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 7*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/52	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 7*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/53	1*1.00 + 2*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/54	1*1.00 + 2*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/55	1*1.00 + 2*1.50 + 4*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/56	1*1.00 + 2*1.50 + 4*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/57	1*1.00 + 2*1.50 + 5*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/58	1*1.00 + 2*1.50 + 5*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/59	1*1.00 + 2*1.50 + 6*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/60	1*1.00 + 2*1.50 + 6*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/61	1*1.00 + 2*1.50 + 7*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/62	1*1.00 + 2*1.50 + 7*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/63	1*1.00 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/64	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/65	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/66	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 4*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/67	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 4*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/68	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 5*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/69	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 5*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/70	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 6*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/71	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 6*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/72	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 7*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/73	1*1.00 + 2*1.50 + 3*1.50 + 7*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/74	1*1.00 + 2*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/75	1*1.00 + 2*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/76	1*1.00 + 2*1.50 + 4*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/77	1*1.00 + 2*1.50 + 4*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/78	1*1.00 + 2*1.50 + 5*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/79	1*1.00 + 2*1.50 + 5*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/80	1*1.00 + 2*1.50 + 6*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00

ULS/81	1*1.00 + 2*1.50 + 6*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/82	1*1.00 + 2*1.50 + 7*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/83	1*1.00 + 2*1.50 + 7*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/84	1*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/85	1*1.35 + 3*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/86	1*1.35 + 3*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/87	1*1.35 + 3*1.50 + 4*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/88	1*1.35 + 3*1.50 + 4*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/89	1*1.35 + 3*1.50 + 5*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/90	1*1.35 + 3*1.50 + 5*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/91	1*1.35 + 3*1.50 + 6*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/92	1*1.35 + 3*1.50 + 6*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/93	1*1.35 + 3*1.50 + 7*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/94	1*1.35 + 3*1.50 + 7*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/95	1*1.35 + 3*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/96	1*1.35 + 3*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/97	1*1.35 + 3*1.50 + 4*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/98	1*1.35 + 3*1.50 + 4*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/99	1*1.35 + 3*1.50 + 5*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/100	1*1.35 + 3*1.50 + 5*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/101	1*1.35 + 3*1.50 + 6*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/102	1*1.35 + 3*1.50 + 6*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/103	1*1.35 + 3*1.50 + 7*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/104	1*1.35 + 3*1.50 + 7*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/105	1*1.00 + 3*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/106	1*1.00 + 3*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/107	1*1.00 + 3*1.50 + 4*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/108	1*1.00 + 3*1.50 + 4*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/109	1*1.00 + 3*1.50 + 5*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/110	1*1.00 + 3*1.50 + 5*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/111	1*1.00 + 3*1.50 + 6*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/112	1*1.00 + 3*1.50 + 6*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/113	1*1.00 + 3*1.50 + 7*0.90 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/114	1*1.00 + 3*1.50 + 7*0.90 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/115	1*1.00 + 3*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/116	1*1.00 + 3*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/117	1*1.00 + 3*1.50 + 4*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/118	1*1.00 + 3*1.50 + 4*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/119	1*1.00 + 3*1.50 + 5*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00

ULS/120	1*1.00 + 3*1.50 + 5*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/121	1*1.00 + 3*1.50 + 6*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/122	1*1.00 + 3*1.50 + 6*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/123	1*1.00 + 3*1.50 + 7*0.90 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/124	1*1.00 + 3*1.50 + 7*0.90 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/125	1*1.35 + 3*1.50 + 4*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/126	1*1.35 + 3*1.50 + 4*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/127	1*1.35 + 3*1.50 + 5*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/128	1*1.35 + 3*1.50 + 5*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/129	1*1.35 + 3*1.50 + 6*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/130	1*1.35 + 3*1.50 + 6*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/131	1*1.35 + 3*1.50 + 7*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/132	1*1.35 + 3*1.50 + 7*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/133	1*1.35 + 4*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/134	1*1.35 + 4*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/135	1*1.35 + 5*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/136	1*1.35 + 5*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/137	1*1.35 + 6*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/138	1*1.35 + 6*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/139	1*1.35 + 7*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/140	1*1.35 + 7*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/141	1*1.35 + 3*1.50 + 4*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/142	1*1.35 + 3*1.50 + 4*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/143	1*1.35 + 3*1.50 + 5*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/144	1*1.35 + 3*1.50 + 5*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/145	1*1.35 + 3*1.50 + 6*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/146	1*1.35 + 3*1.50 + 6*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/147	1*1.35 + 3*1.50 + 7*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/148	1*1.35 + 3*1.50 + 7*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/149	1*1.35 + 4*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/150	1*1.35 + 4*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/151	1*1.35 + 5*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/152	1*1.35 + 5*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/153	1*1.35 + 6*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/154	1*1.35 + 6*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/155	1*1.35 + 7*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/156	1*1.35 + 7*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/157	1*1.00 + 3*1.50 + 4*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/158	1*1.00 + 3*1.50 + 4*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35

ULS/159	1*1.00 + 3*1.50 + 5*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/160	1*1.00 + 3*1.50 + 5*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/161	1*1.00 + 3*1.50 + 6*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/162	1*1.00 + 3*1.50 + 6*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/163	1*1.00 + 3*1.50 + 7*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/164	1*1.00 + 3*1.50 + 7*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/165	1*1.00 + 4*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/166	1*1.00 + 4*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/167	1*1.00 + 5*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/168	1*1.00 + 5*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/169	1*1.00 + 6*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/170	1*1.00 + 6*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/171	1*1.00 + 7*1.50 + 8*0.75 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/172	1*1.00 + 7*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/173	1*1.00 + 3*1.50 + 4*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/174	1*1.00 + 3*1.50 + 4*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/175	1*1.00 + 3*1.50 + 5*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/176	1*1.00 + 3*1.50 + 5*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/177	1*1.00 + 3*1.50 + 6*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/178	1*1.00 + 3*1.50 + 6*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/179	1*1.00 + 3*1.50 + 7*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/180	1*1.00 + 3*1.50 + 7*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/181	1*1.00 + 4*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/182	1*1.00 + 4*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/183	1*1.00 + 5*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/184	1*1.00 + 5*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/185	1*1.00 + 6*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/186	1*1.00 + 6*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/187	1*1.00 + 7*1.50 + 8*0.75 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/188	1*1.00 + 7*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/189	1*1.35 + 3*1.50 + 8*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/190	1*1.35 + 3*1.50 + 4*0.90 + 8*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/191	1*1.35 + 3*1.50 + 5*0.90 + 8*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/192	1*1.35 + 3*1.50 + 6*0.90 + 8*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/193	1*1.35 + 3*1.50 + 7*0.90 + 8*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/194	1*1.35 + 8*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/195	1*1.35 + 4*0.90 + 8*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/196	1*1.35 + 5*0.90 + 8*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/197	1*1.35 + 6*0.90 + 8*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35

ULS/198	1*1.35 + 7*0.90 + 8*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/199	1*1.35 + 3*1.50 + 8*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/200	1*1.35 + 3*1.50 + 4*0.90 + 8*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/201	1*1.35 + 3*1.50 + 5*0.90 + 8*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/202	1*1.35 + 3*1.50 + 6*0.90 + 8*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/203	1*1.35 + 3*1.50 + 7*0.90 + 8*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/204	1*1.35 + 8*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/205	1*1.35 + 4*0.90 + 8*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/206	1*1.35 + 5*0.90 + 8*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/207	1*1.35 + 6*0.90 + 8*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/208	1*1.35 + 7*0.90 + 8*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/209	1*1.00 + 3*1.50 + 8*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/210	1*1.00 + 3*1.50 + 4*0.90 + 8*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/211	1*1.00 + 3*1.50 + 5*0.90 + 8*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/212	1*1.00 + 3*1.50 + 6*0.90 + 8*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/213	1*1.00 + 3*1.50 + 7*0.90 + 8*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/214	1*1.00 + 8*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/215	1*1.00 + 4*0.90 + 8*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/216	1*1.00 + 5*0.90 + 8*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/217	1*1.00 + 6*0.90 + 8*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/218	1*1.00 + 7*0.90 + 8*1.50 + 15*1.35 + 16*1.35
ULS/219	1*1.00 + 3*1.50 + 8*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/220	1*1.00 + 3*1.50 + 4*0.90 + 8*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/221	1*1.00 + 3*1.50 + 5*0.90 + 8*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/222	1*1.00 + 3*1.50 + 6*0.90 + 8*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/223	1*1.00 + 3*1.50 + 7*0.90 + 8*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/224	1*1.00 + 8*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/225	1*1.00 + 4*0.90 + 8*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/226	1*1.00 + 5*0.90 + 8*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/227	1*1.00 + 6*0.90 + 8*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00
ULS/228	1*1.00 + 7*0.90 + 8*1.50 + 15*1.00 + 16*1.00

6.6 Nota de cálculo ELS – Análise linear de 1ª ordem

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 1 Travamento pórticos
MEMBRO: 42 travam. porticos resist._42 **PONTO:**
COORDENADAS:



PARÂMETROS DA SEÇÃO: TRON 88x2.5

ht=8.9 cm

	Ay=4.07 cm2	Az=4.07 cm2	Ax=6.79 cm2
tw=0.2 cm	Iy=63.37 cm4	Iz=63.37 cm4	Ix=126.70 cm4
	Wely=14.26 cm3	Welz=14.26 cm3	

DESLOCAMENTOS DE LIMITE



Deflexãos (SISTEMA LOCAL):

uy = 0.0 cm < uy max = L/200.00 = 2.5 cm Verificado

Caso de carga atuante: 12 SLS /50/ 1*1.00 + 3*1.00 + 5*0.60 + 8*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00

uz = 0.0 cm < uz max = L/200.00 = 2.5 cm Verificado

Caso de carga atuante: 12 SLS /3/ 1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*0.60 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00



Deslocamentos (SISTEMA GLOBAL): *Não analisados*

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 2 Contrav. extrem.
MEMBRO: 61 Contravent. Resist. extrem._61 **PONTO:**
COORDENADAS:



PARÂMETROS DA SEÇÃO: TRON 88x2.5

ht=8.9 cm

	Ay=4.07 cm2	Az=4.07 cm2	Ax=6.79 cm2
tw=0.2 cm	Iy=63.37 cm4	Iz=63.37 cm4	Ix=126.70 cm4
	Wely=14.26 cm3	Welz=14.26 cm3	

DESLOCAMENTOS DE LIMITE



Deflexões (SISTEMA LOCAL):

uy = 0.0 cm < uy max = L/200.00 = 2.8 cm Verificado

Caso de carga atuante: 12 SLS /33/ 1*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00

uz = 0.0 cm < uz max = L/200.00 = 2.8 cm Verificado

Caso de carga atuante: 12 SLS /7/ 1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 6*0.60 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00



Deslocamentos (SISTEMA GLOBAL): *Não analisados*

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

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

TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 3 Vigas principais

MEMBRO: 21 Viga_21 **PONTO:** **COORDENADAS:**



PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 270

ht=27.0 cm

bf=13.5 cm	Ay=27.54 cm2	Az=17.82 cm2	Ax=45.94 cm2
tw=0.7 cm	Iy=5789.78 cm4	Iz=419.87 cm4	Ix=14.93 cm4
tf=1.0 cm	Wely=428.87 cm3	Welz=62.20 cm3	

DESLOCAMENTOS DE LIMITE



Deflexões (SISTEMA LOCAL):

uy = 0.0 cm < uy max = L/200.00 = 5.0 cm Verificado

Caso de carga atuante: 12 SLS /35/ 1*1.00 + 3*1.00 + 5*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00

uz = 2.3 cm < uz max = L/200.00 = 5.0 cm Verificado

Caso de carga atuante: 12 SLS /1/ 1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00



Deslocamentos (SISTEMA GLOBAL): *Não analisados*

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

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

TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 4 Vigas piso

MEMBRO: 34 Viga_34 **PONTO:** **COORDENADAS:**



PARÂMETROS DA SEÇÃO: HEB 240

ht=24.0 cm

bf=24.0 cm	Ay=81.60 cm2	Az=24.00 cm2	Ax=105.99 cm2
tw=1.0 cm	Iy=11259.30 cm4	Iz=3922.66 cm4	Ix=107.00 cm4
tf=1.7 cm	Wely=938.27 cm3	Welz=326.89 cm3	

DESLOCAMENTOS DE LIMITE



Deflexões (SISTEMA LOCAL):

uy = 0.0 cm < uy max = L/200.00 = 3.0 cm Verificado

Caso de carga atuante: 12 SLS /35/ 1*1.00 + 3*1.00 + 5*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00

uz = 2.4 cm < uz max = L/200.00 = 3.0 cm Verificado

Caso de carga atuante: 12 SLS /1/ 1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00



Deslocamentos (SISTEMA GLOBAL): *Não analisados*

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

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

TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 5 Pilares principais

MEMBRO: 11 Coluna_11 **PONTO:** **COORDENADAS:**



PARÂMETROS DA SEÇÃO: HEA 240

ht=23.0 cm

bf=24.0 cm	Ay=57.60 cm2	Az=17.25 cm2	Ax=76.84 cm2
tw=0.8 cm	Iy=7763.18 cm4	Iz=2768.81 cm4	Ix=38.20 cm4
tf=1.2 cm	Wely=675.06 cm3	Welz=230.73 cm3	

DESLOCAMENTOS DE LIMITE



Deflexões (SISTEMA LOCAL): *Não analisados*



Deslocamentos (SISTEMA GLOBAL):

vx = 1.6 cm < vx max = L/150.00 = 4.0 cm Verificado

Caso de carga atuante: 12 SLS /3/ 1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*0.60 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00

vy = 0.1 cm < vy max = L/150.00 = 4.0 cm Verificado

Caso de carga atuante: 12 SLS /35/ 1*1.00 + 3*1.00 + 5*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 6 Pilares piso
MEMBRO: 31 Coluna_31 **PONTO:** **COORDENADAS:**



PARÂMETROS DA SEÇÃO: HEA 220

ht=21.0 cm

bf=22.0 cm	Ay=48.40 cm2	Az=14.70 cm2	Ax=64.34 cm2
tw=0.7 cm	Iy=5409.70 cm4	Iz=1954.56 cm4	Ix=27.10 cm4
tf=1.1 cm	Wely=515.21 cm3	Welz=177.69 cm3	

DESLOCAMENTOS DE LIMITE



Deflexãos (SISTEMA LOCAL): *Não analisados*



Deslocamentos (SISTEMA GLOBAL):

vx = 1.7 cm < vx max = L/150.00 = 2.3 cm Verificado
Caso de carga atuante: 12 SLS /1/ 1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
vy = 0.0 cm < vy max = L/150.00 = 2.3 cm Verificado
Caso de carga atuante: 12 SLS /37/ 1*1.00 + 3*1.00 + 6*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

CÓDIGO: *EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 7 Contrav. lateral
MEMBRO: 103 Contravent. Resist. lateral_103 **PONTO:**
COORDENADAS:



PARÂMETROS DA SEÇÃO: TRON 88x2.5

ht=8.9 cm

	Ay=4.07 cm2	Az=4.07 cm2	Ax=6.79 cm2
tw=0.2 cm	Iy=63.37 cm4	Iz=63.37 cm4	Ix=126.70 cm4
	Wely=14.26 cm3	Welz=14.26 cm3	

DESLOCAMENTOS DE LIMITE



Deflexões (SISTEMA LOCAL):

uy = 0.0 cm < uy max = L/200.00 = 2.9 cm Verificado

Caso de carga atuante: 12 SLS /5/ 1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 5*0.60 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00

uz = 0.0 cm < uz max = L/200.00 = 2.9 cm Verificado

Caso de carga atuante: 12 SLS /5/ 1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 5*0.60 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00



Deslocamentos (SISTEMA GLOBAL): *Não analisados*

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

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

TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 8 Pilaretes

MEMBRO: 111 Coluna_111 **PONTO:** **COORDENADAS:**



PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 140

ht=14.0 cm

bf=7.3 cm	Ay=10.07 cm2	Az=6.58 cm2	Ax=16.43 cm2
tw=0.5 cm	Iy=541.22 cm4	Iz=44.92 cm4	Ix=2.54 cm4
tf=0.7 cm	Wely=77.32 cm3	Welz=12.31 cm3	

DESLOCAMENTOS DE LIMITE



Deflexões (SISTEMA LOCAL): *Não analisados*



Deslocamentos (SISTEMA GLOBAL):

vx = 0.4 cm < vx max = L/150.00 = 4.7 cm Verificado

Caso de carga atuante: 12 SLS /33/ 1*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00

vy = 0.5 cm < vy max = L/150.00 = 4.7 cm Verificado

Caso de carga atuante: 12 SLS /9/ 1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 7*0.60 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

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

TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 9 Madres cobertura

MEMBRO: 176 Madre resist._176 **PONTO:**

COORDENADAS:



PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 120

ht=12.0 cm

bf=6.4 cm	Ay=8.06 cm2	Az=5.28 cm2	Ax=13.21 cm2
tw=0.4 cm	Iy=317.75 cm4	Iz=27.67 cm4	Ix=1.71 cm4
tf=0.6 cm	Wely=52.96 cm3	Welz=8.65 cm3	

DESLOCAMENTOS DE LIMITE



Deflexões (SISTEMA LOCAL):

uy = 2.1 cm < uy max = L/200.00 = 2.5 cm Verificado

Caso de carga atuante: 12 SLS /1/ 1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00

uz = 1.8 cm < uz max = L/200.00 = 2.5 cm Verificado

Caso de carga atuante: 12 SLS /1/ 1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00



Deslocamentos (SISTEMA GLOBAL): *Não analisados*

Seção OK !!!

PROJETO DE AÇO

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

TIPO DE ANÁLISE: Verificação de grupo de códigos

GRUPO DE CÓDIGO: 10 Madres piso

MEMBRO: 199 Madre resist._199 **PONTO:**

COORDENADAS:



PARÂMETROS DA SEÇÃO: IPE 160

ht=16.0 cm

bf=8.2 cm	Ay=12.14 cm2	Az=8.00 cm2	Ax=20.09 cm2
tw=0.5 cm	Iy=869.29 cm4	Iz=68.31 cm4	Ix=3.53 cm4
tf=0.7 cm	Wely=108.66 cm3	Welz=16.66 cm3	

DESLOCAMENTOS DE LIMITE



Deflexões (SISTEMA LOCAL):

uy = 0.0 cm < uy max = L/200.00 = 2.5 cm Verificado

Caso de carga atuante: 12 SLS /3/ 1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*0.60 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00

uz = 1.7 cm < uz max = L/200.00 = 2.5 cm Verificado

Caso de carga atuante: 12 SLS /38/ 1*1.00 + 3*1.00 + 7*1.00 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00

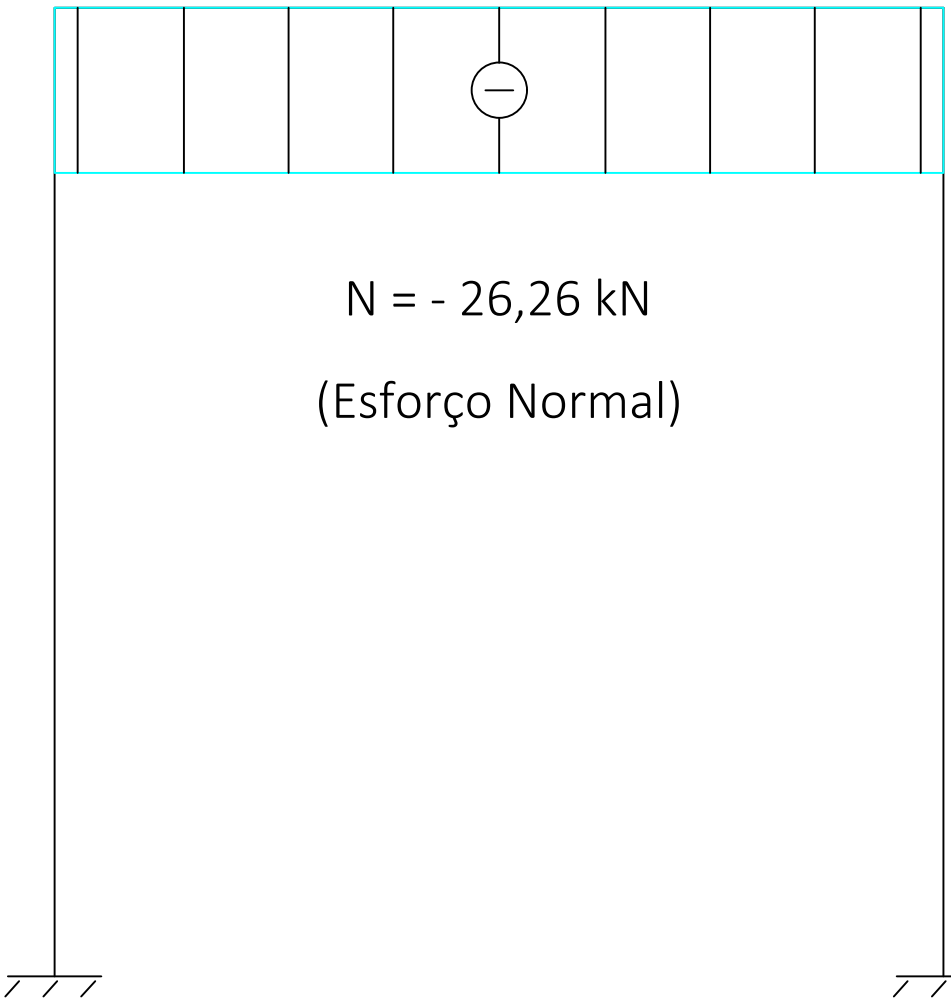


Deslocamentos (SISTEMA GLOBAL): *Não analisados*

6.7 Lista de combinações ELS – Análise linear de 1ª ordem

SLS:CHR/ 1	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 2	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 3	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*0.60 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 4	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*0.60 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 5	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 5*0.60 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 6	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 5*0.60 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 7	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 6*0.60 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 8	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 6*0.60 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 9	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 7*0.60 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 10	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 7*0.60 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 11	1*1.00 + 2*1.00 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 12	1*1.00 + 2*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 13	1*1.00 + 2*1.00 + 4*0.60 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 14	1*1.00 + 2*1.00 + 4*0.60 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 15	1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.60 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 16	1*1.00 + 2*1.00 + 5*0.60 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 17	1*1.00 + 2*1.00 + 6*0.60 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 18	1*1.00 + 2*1.00 + 6*0.60 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 19	1*1.00 + 2*1.00 + 7*0.60 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 20	1*1.00 + 2*1.00 + 7*0.60 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 21	1*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 22	1*1.00 + 3*1.00 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 23	1*1.00 + 3*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 24	1*1.00 + 3*1.00 + 4*0.60 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 25	1*1.00 + 3*1.00 + 4*0.60 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 26	1*1.00 + 3*1.00 + 5*0.60 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 27	1*1.00 + 3*1.00 + 5*0.60 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 28	1*1.00 + 3*1.00 + 6*0.60 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 29	1*1.00 + 3*1.00 + 6*0.60 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 30	1*1.00 + 3*1.00 + 7*0.60 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 31	1*1.00 + 3*1.00 + 7*0.60 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 32	1*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 33	1*1.00 + 3*1.00 + 4*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 34	1*1.00 + 3*1.00 + 5*1.00 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 35	1*1.00 + 3*1.00 + 5*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 36	1*1.00 + 3*1.00 + 6*1.00 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 37	1*1.00 + 3*1.00 + 6*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 38	1*1.00 + 3*1.00 + 7*1.00 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 39	1*1.00 + 3*1.00 + 7*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 40	1*1.00 + 4*1.00 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 41	1*1.00 + 4*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 42	1*1.00 + 5*1.00 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 43	1*1.00 + 5*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 44	1*1.00 + 6*1.00 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 45	1*1.00 + 6*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 46	1*1.00 + 7*1.00 + 8*0.50 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 47	1*1.00 + 7*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 48	1*1.00 + 3*1.00 + 8*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 49	1*1.00 + 3*1.00 + 4*0.60 + 8*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 50	1*1.00 + 3*1.00 + 5*0.60 + 8*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 51	1*1.00 + 3*1.00 + 6*0.60 + 8*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 52	1*1.00 + 3*1.00 + 7*0.60 + 8*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 53	1*1.00 + 8*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 54	1*1.00 + 4*0.60 + 8*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 55	1*1.00 + 5*0.60 + 8*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 56	1*1.00 + 6*0.60 + 8*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00
SLS:CHR/ 57	1*1.00 + 7*0.60 + 8*1.00 + 15*1.00 + 16*1.00

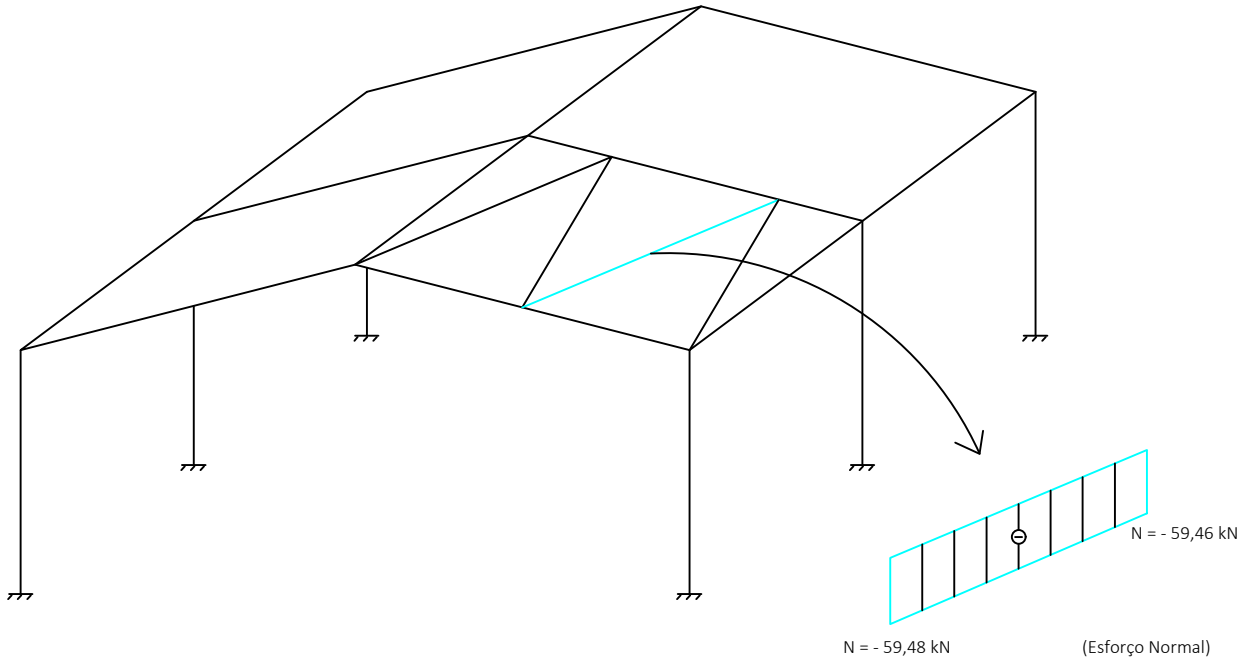
6.8 Diagramas de esforços – Análise linear de 1ª ordem



N = - 26,26 kN

(Esforço Normal)

Análise	**Análise linear de 1ª ordem - ELU**	**Diagrama**
Grupo	**1: Travamento de pórticos**	**01**

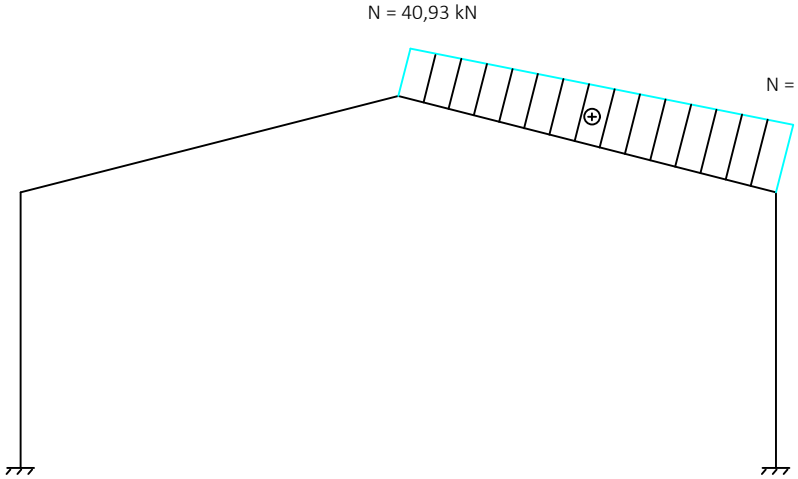


Análise **Análise linear de 1ª ordem - ELU**

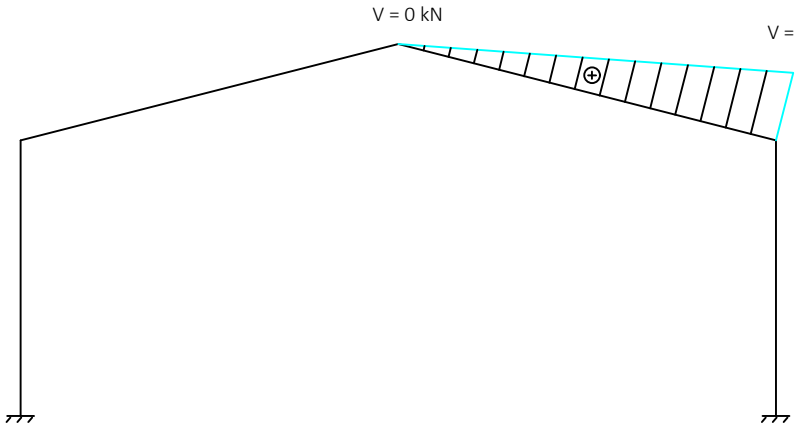
Grupo **2: Contraventamento de extremidade**

Diagrama

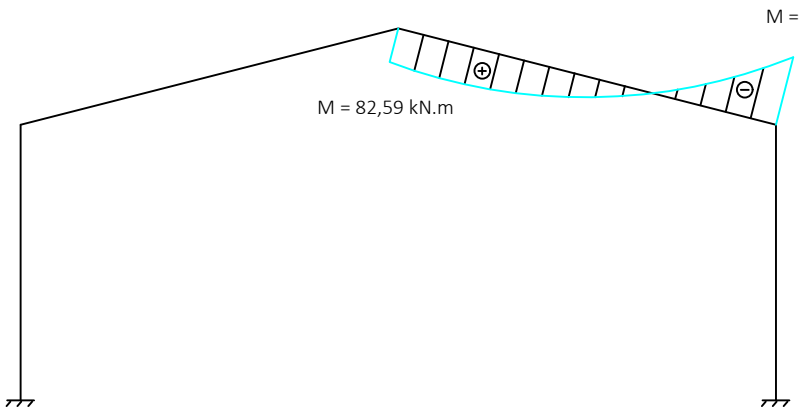
02



(Esforço Normal)

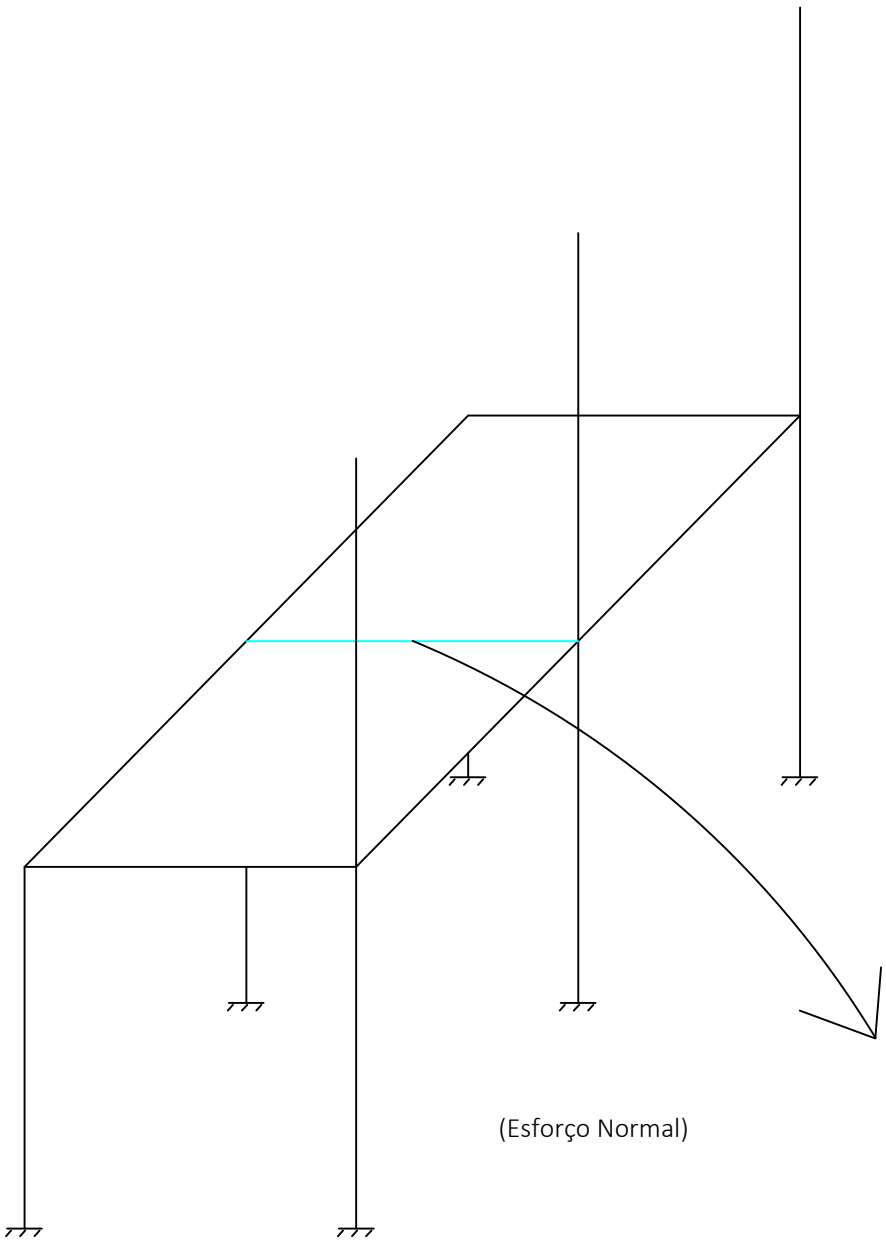


(Esforço Transverso)

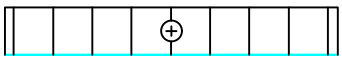


(Momento Fletor)

Análise	**Análise linear de 1ª ordem - ELU**	**Diagrama**
Grupo	**3: Vigas Principais**	**03**

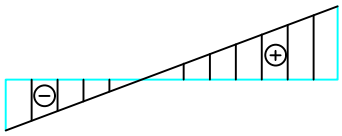


N = 11,99 kN



(Esforço Normal)

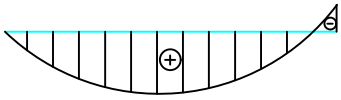
V = 179,49 kN



(Esforço Transverso)

V = -154,98 kN

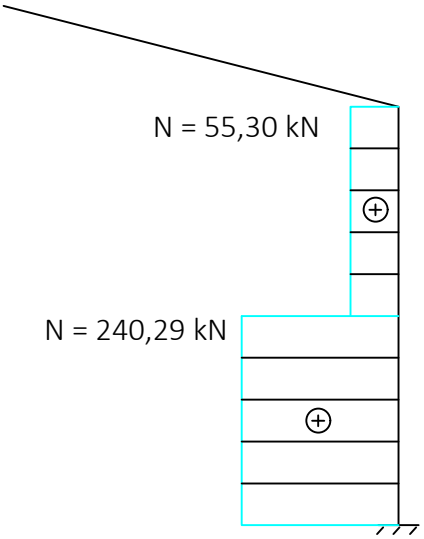
M = - 73,55 kN.m



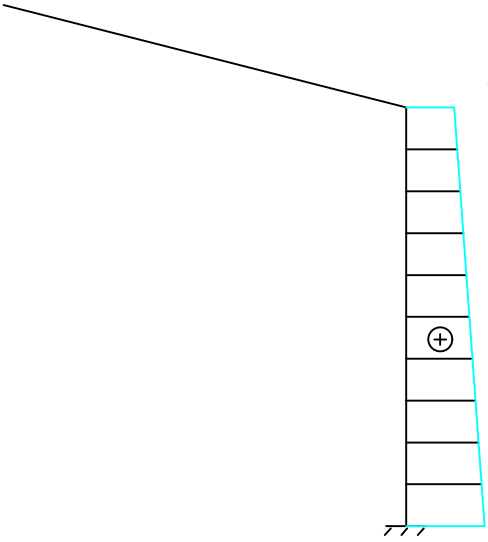
(Momento Fletor)

M = 235,26 kN.m

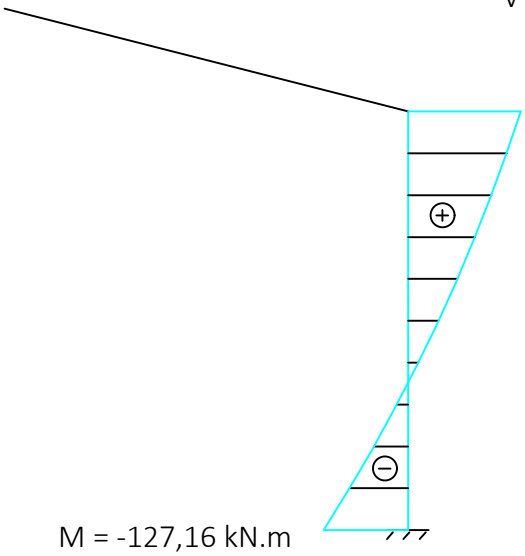
Análise	**Análise linear de 1ª ordem - ELU**	**Diagrama**
Grupo	**4: Vigas de Piso**	**04**



(Esforço Normal)

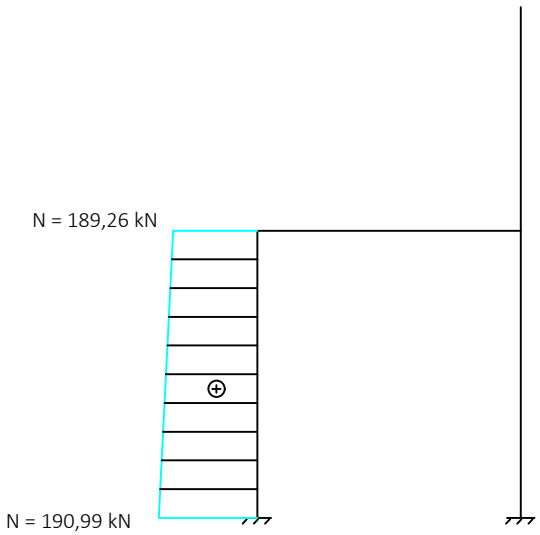


(Esforço Transverso)

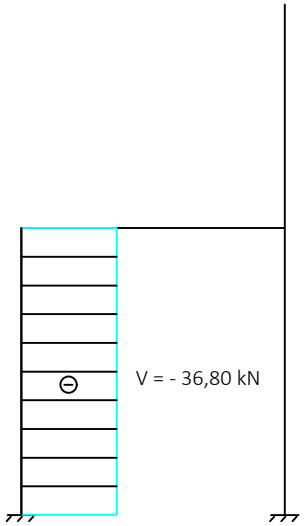


(Momento Fletor)

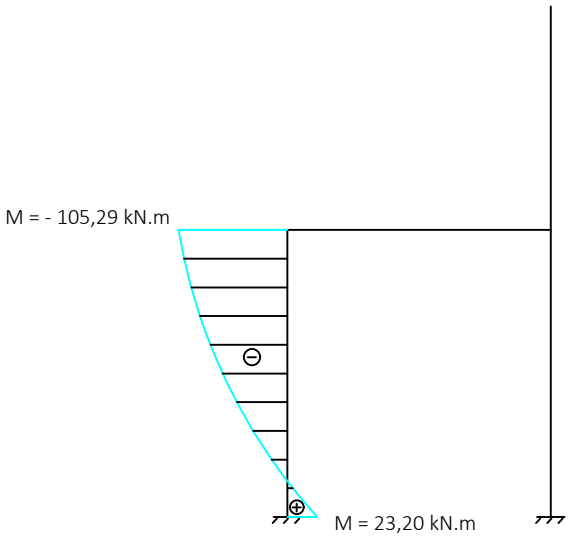
Análise	**Análise linear de 1ª ordem - ELU**	**Diagrama**
Grupo	**5: Pilares Principais**	**05**



(Esforço Normal)

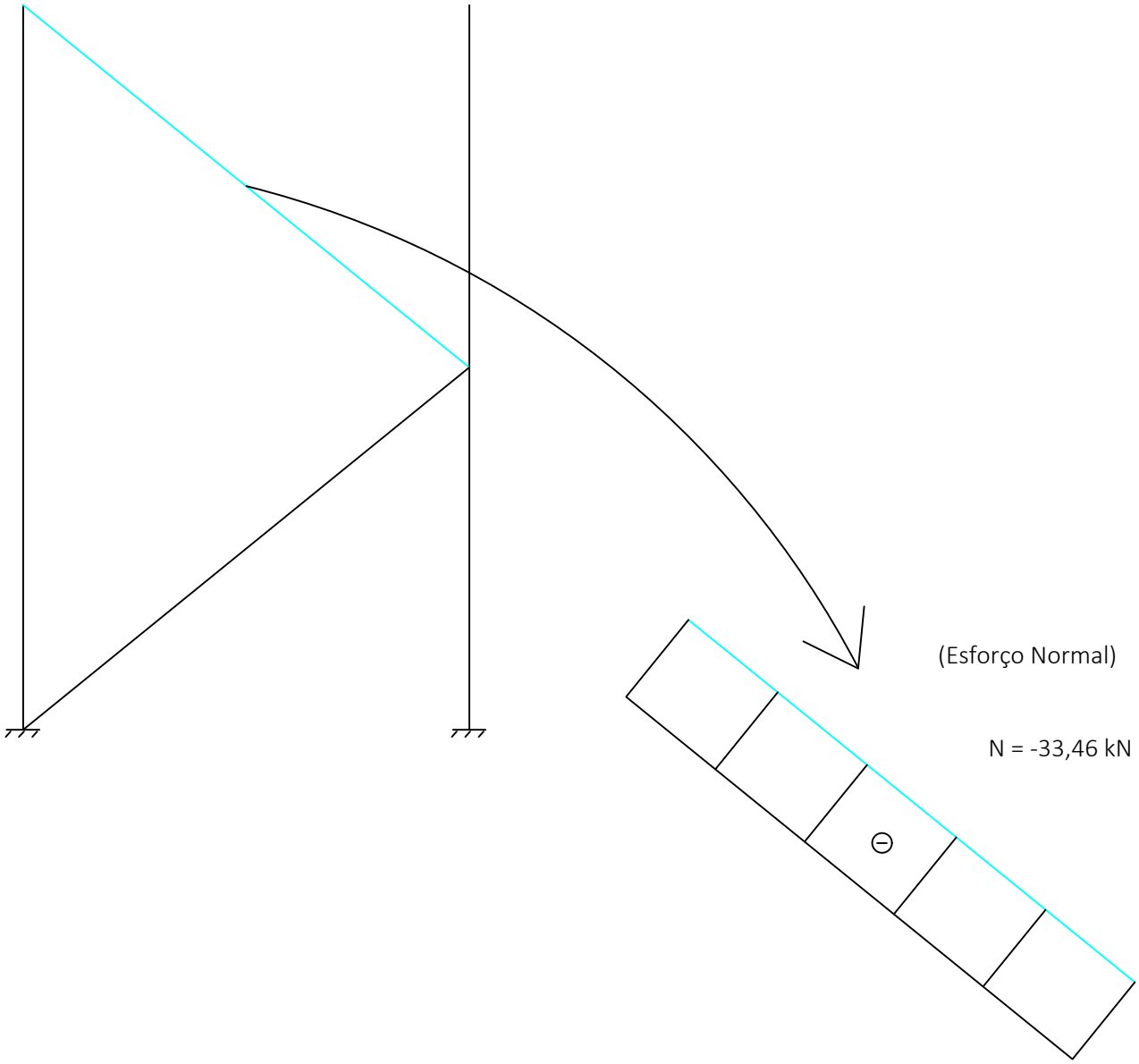


(Esforço Transverso)

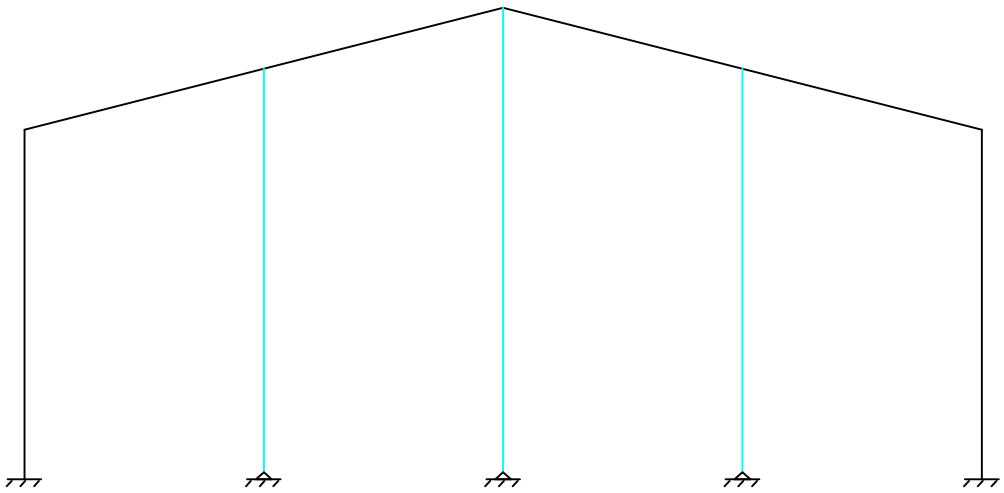


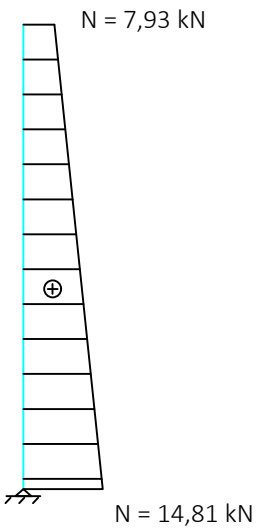
(Momento Fletor)

Análise	**Análise linear de 1ª ordem - ELU**	**Diagrama**
Grupo	**6: Pilares de Piso**	**06**

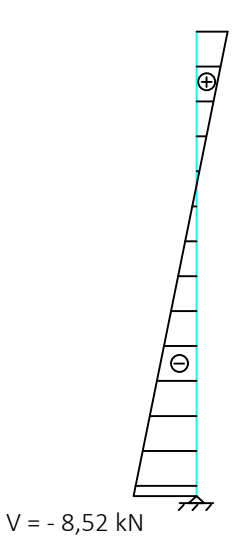


Análise	**Análise linear de 1ª ordem - ELU**	**Diagrama**
Grupo	**7: Contraventamento lateral**	**07**

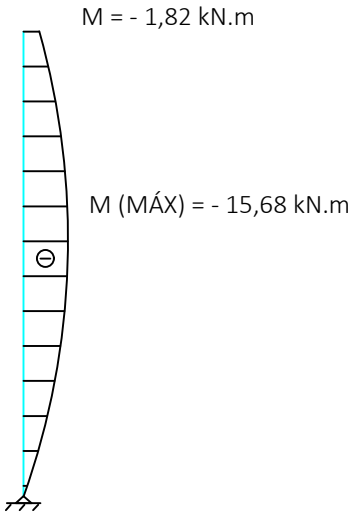




(Esforço Normal)

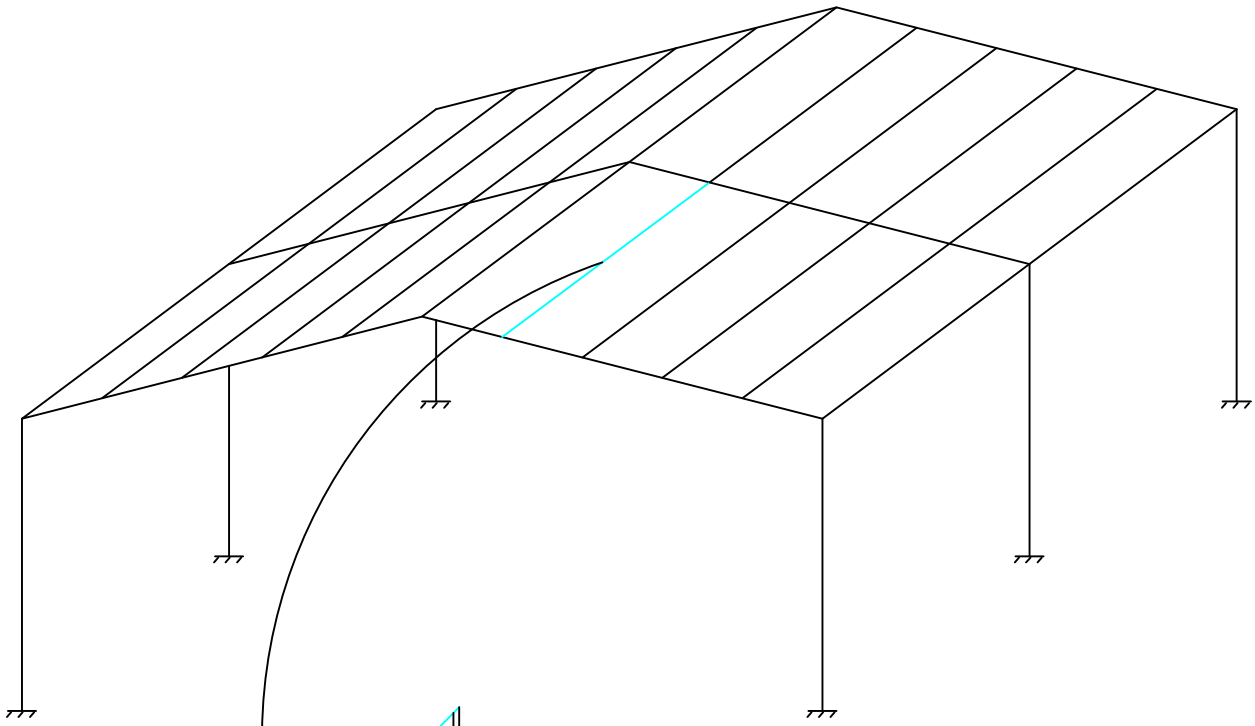


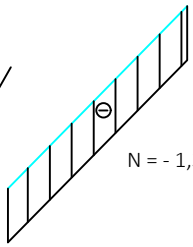
(Esforço Transverso)



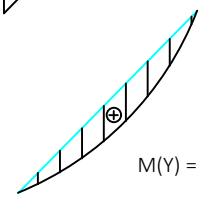
(Momento Fletor)

Análise	**Análise linear de 1ª ordem - ELU**	**Diagrama**
Grupo	**8: Pilaretes**	**08**

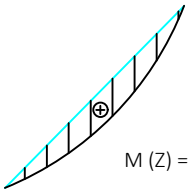




N = - 1,36 kN (Esforço Normal)

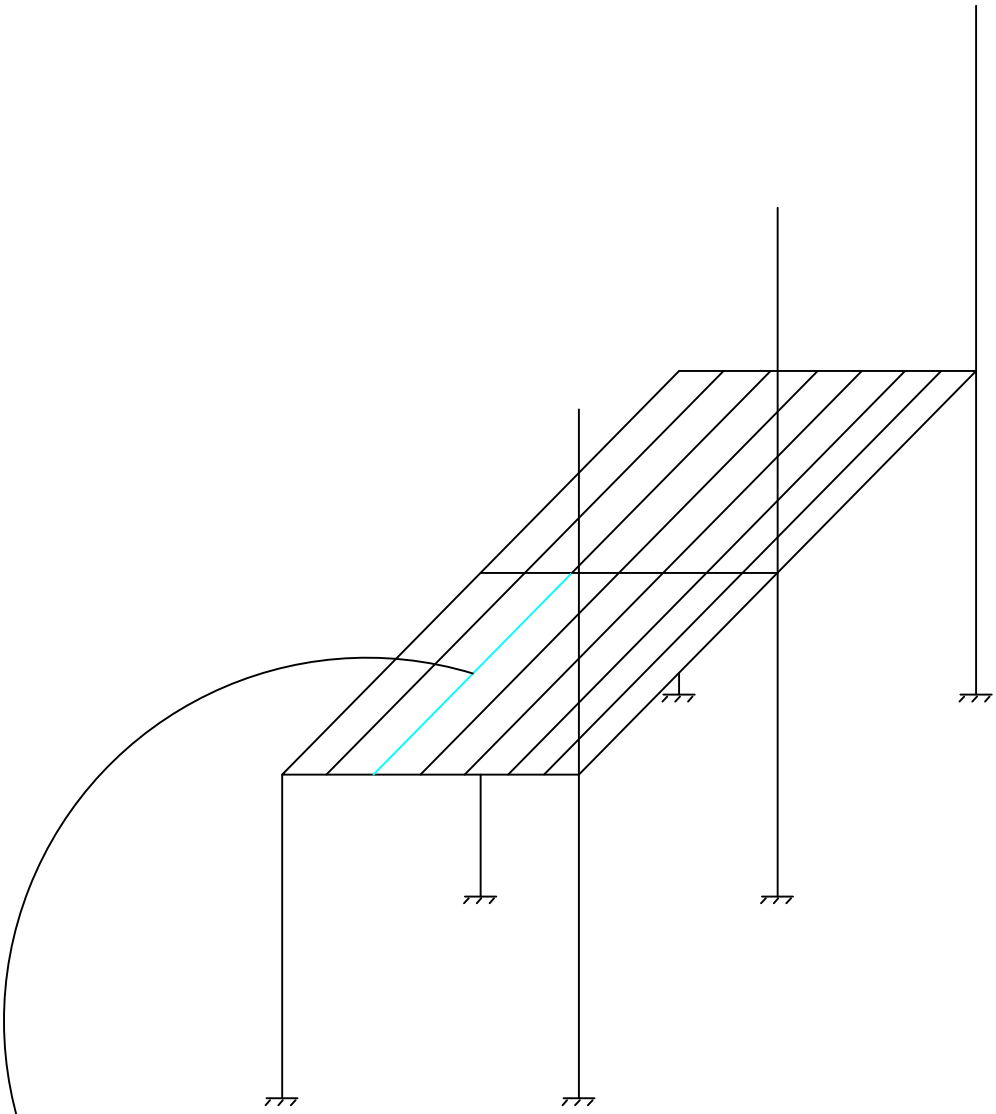


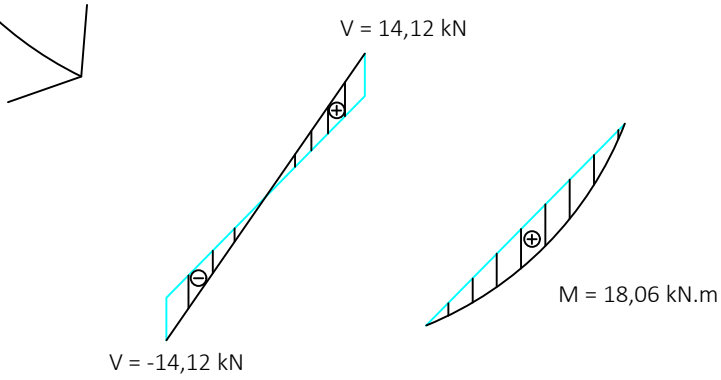
M(Y) = 6,85 kN.m (Momento Y)



M (Z) = 0,68 kN.m (Momento Z)

Análise	**Análise linear de 1ª ordem - ELU**	**Diagrama**
Grupo	**9: Madres de cobertura**	**09**

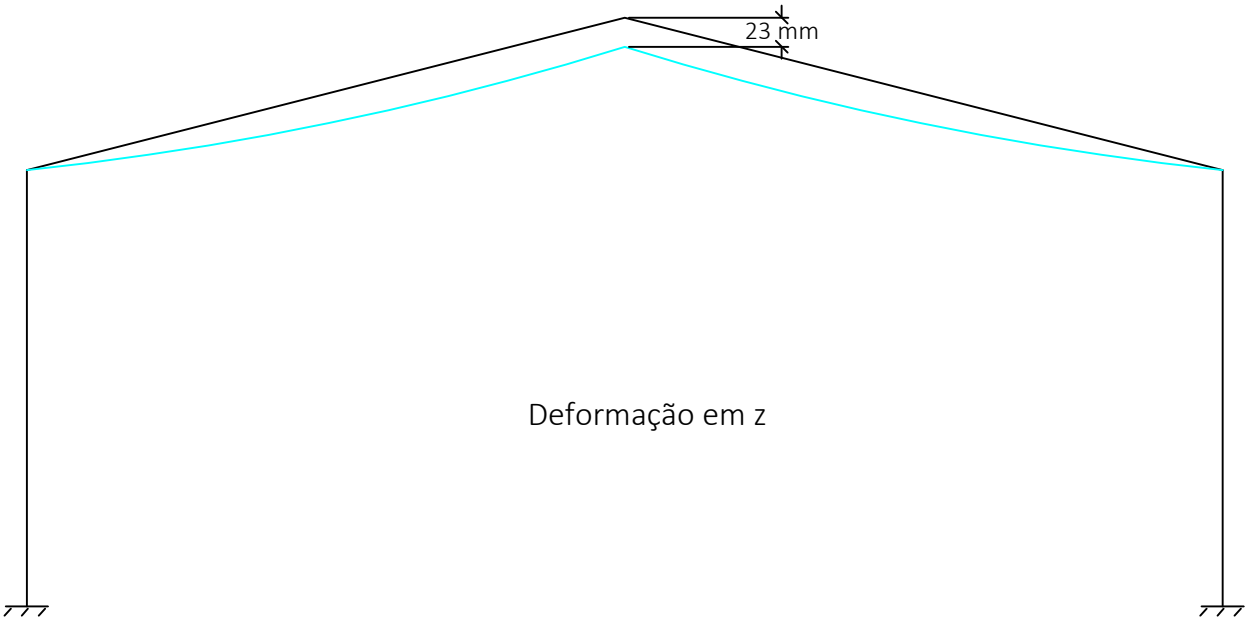




(Esforço Transverso) (Momento Fletor)

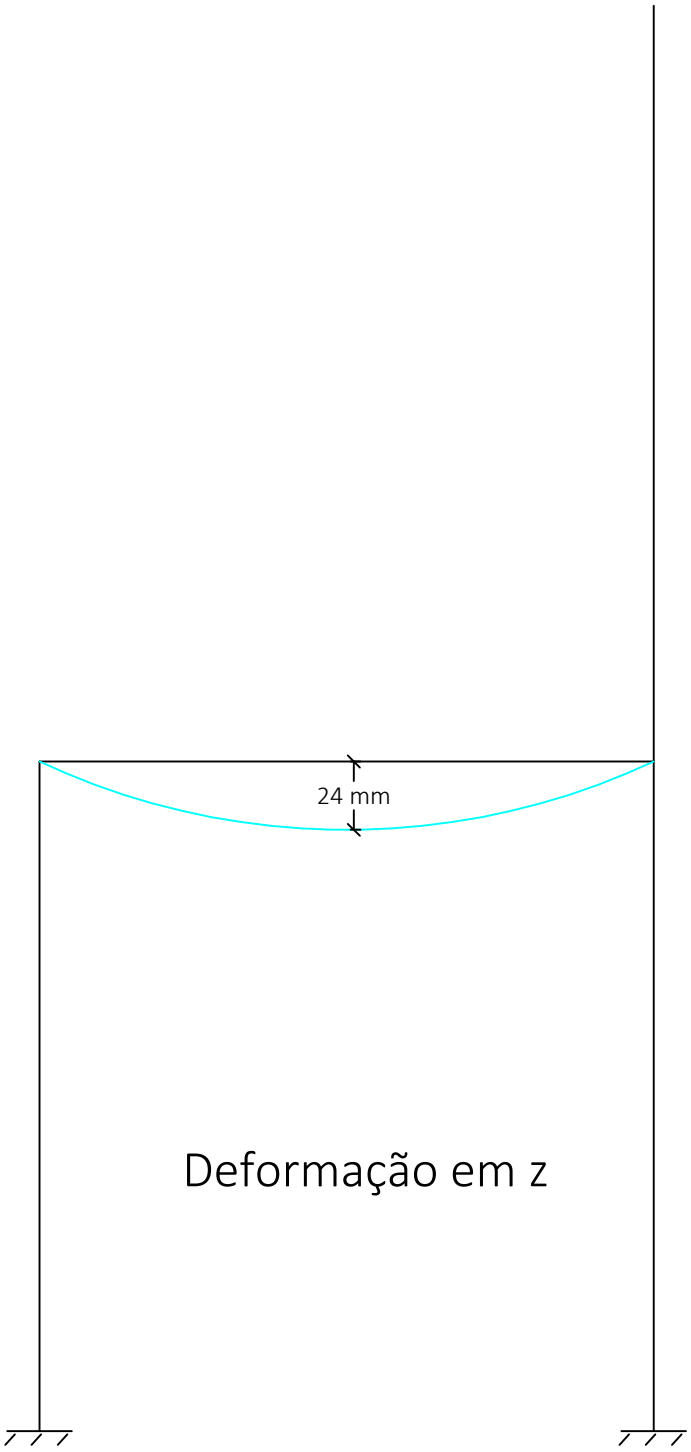
Análise	**Análise linear de 1ª ordem - ELU**	**Diagrama**
Grupo	**10: Madres de piso**	**10**

6.9 Diagramas de Deslocamentos de Deflexões – Análise linear de 1ª ordem



Deformação em z

Análise	**Análise linear de 1ª ordem - ELS**	**Diagrama**
Grupo	**3: Vigas Principais**	**01**



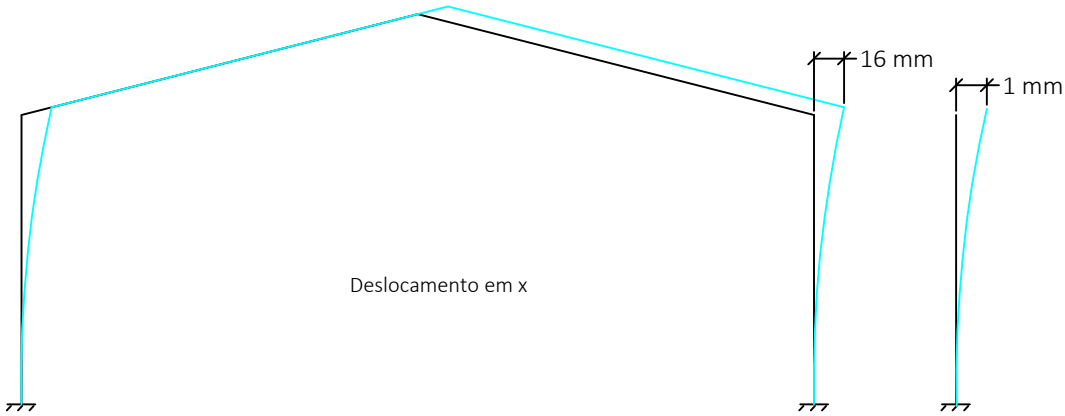
Deformação em z

Análise **Análise linear de 1ª ordem - ELS**

Grupo **4: Vigas de Piso**

Diagrama

02

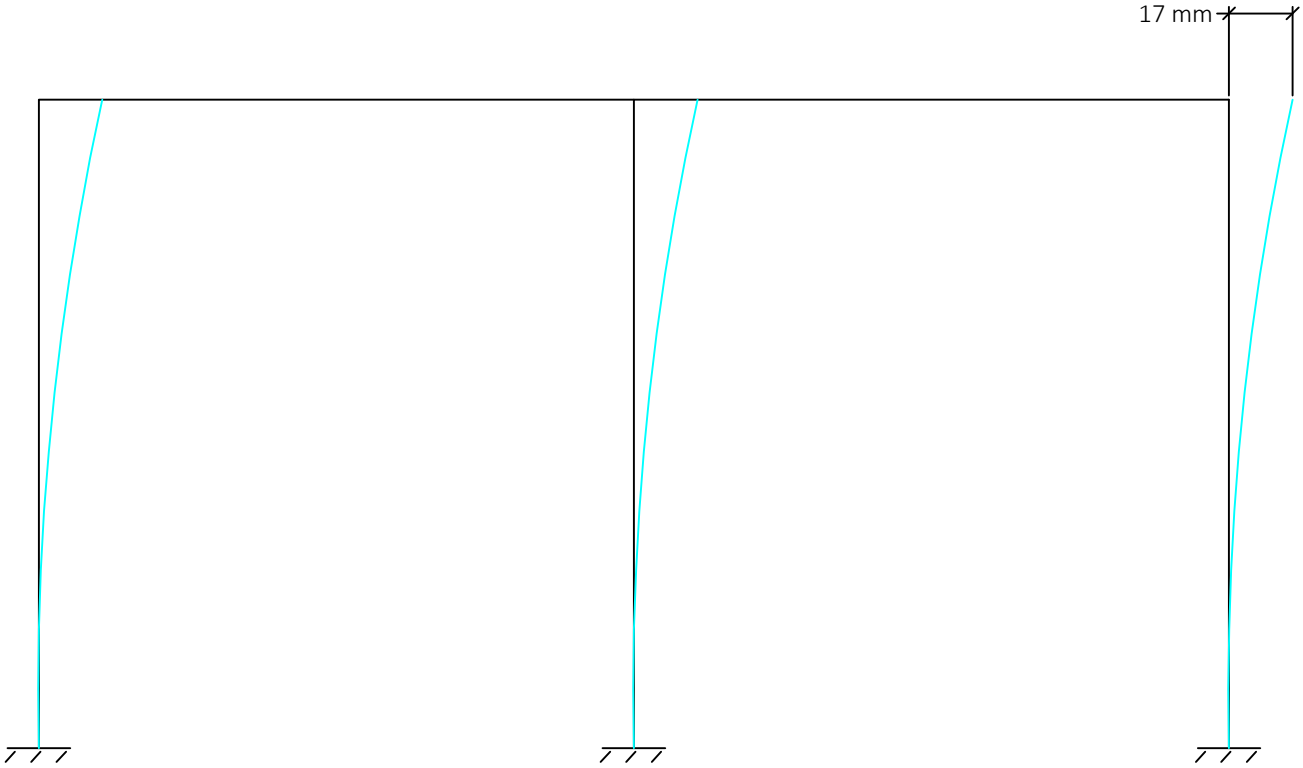


Análise **Análise linear de 1ª ordem - ELS**

Grupo **5: Pilares Principais**

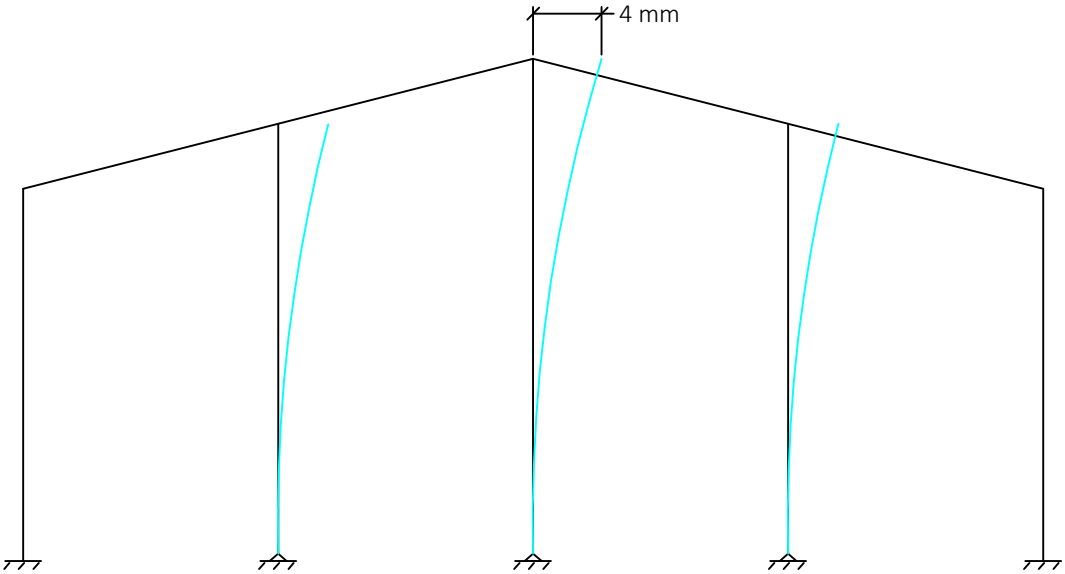
Diagrama

03

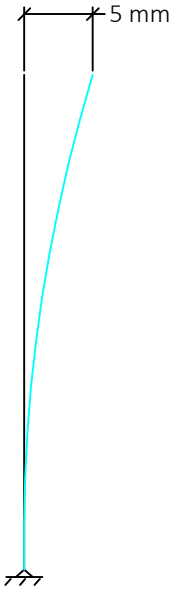


Deslocamento em x

Análise	**Análise linear de 1ª ordem - ELS**	**Diagrama**
Grupo	**6: Pilares de Piso**	**04**

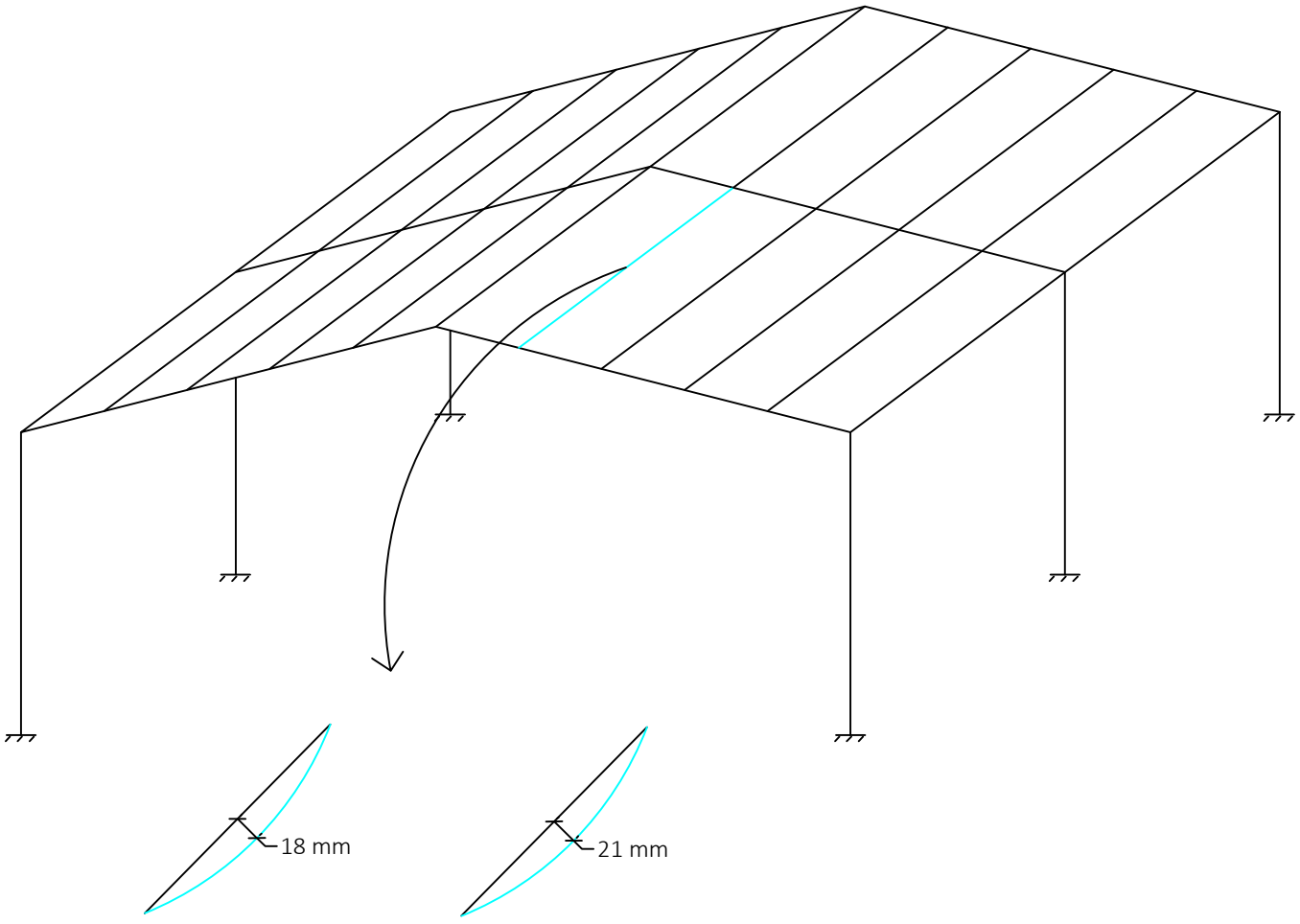


Deslocamento em x



Deslocamento em y

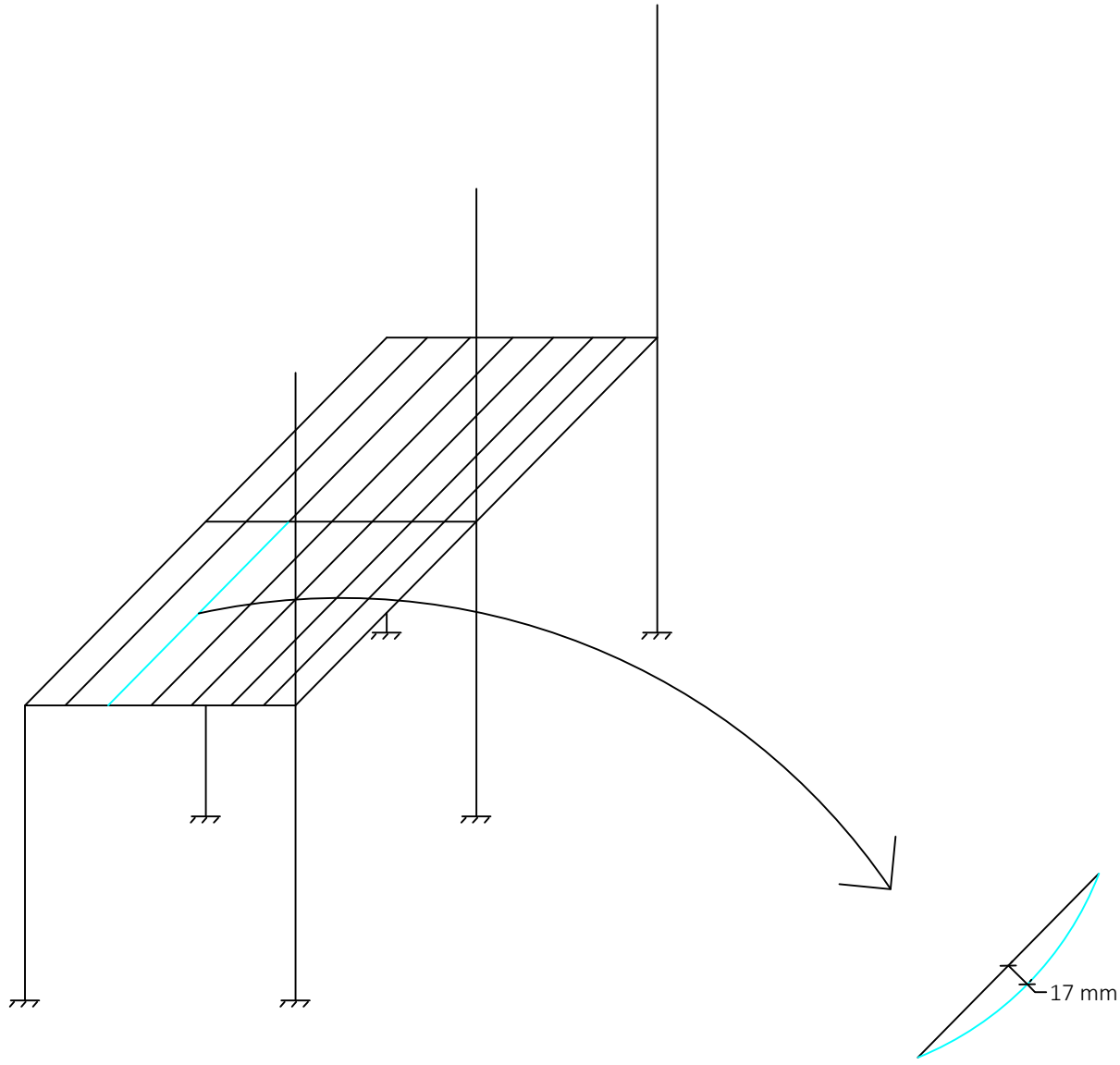
Análise	**Análise linear de 1ª ordem - ELS**	**Diagrama**
Grupo	**8: Pilaretes**	**05**



Deformação em z

Deformação em y

Análise	**Análise linear de 1ª ordem - ELS**	**Diagrama**
Grupo	**9: Madres de cobertura**	**06**



Deformação em z

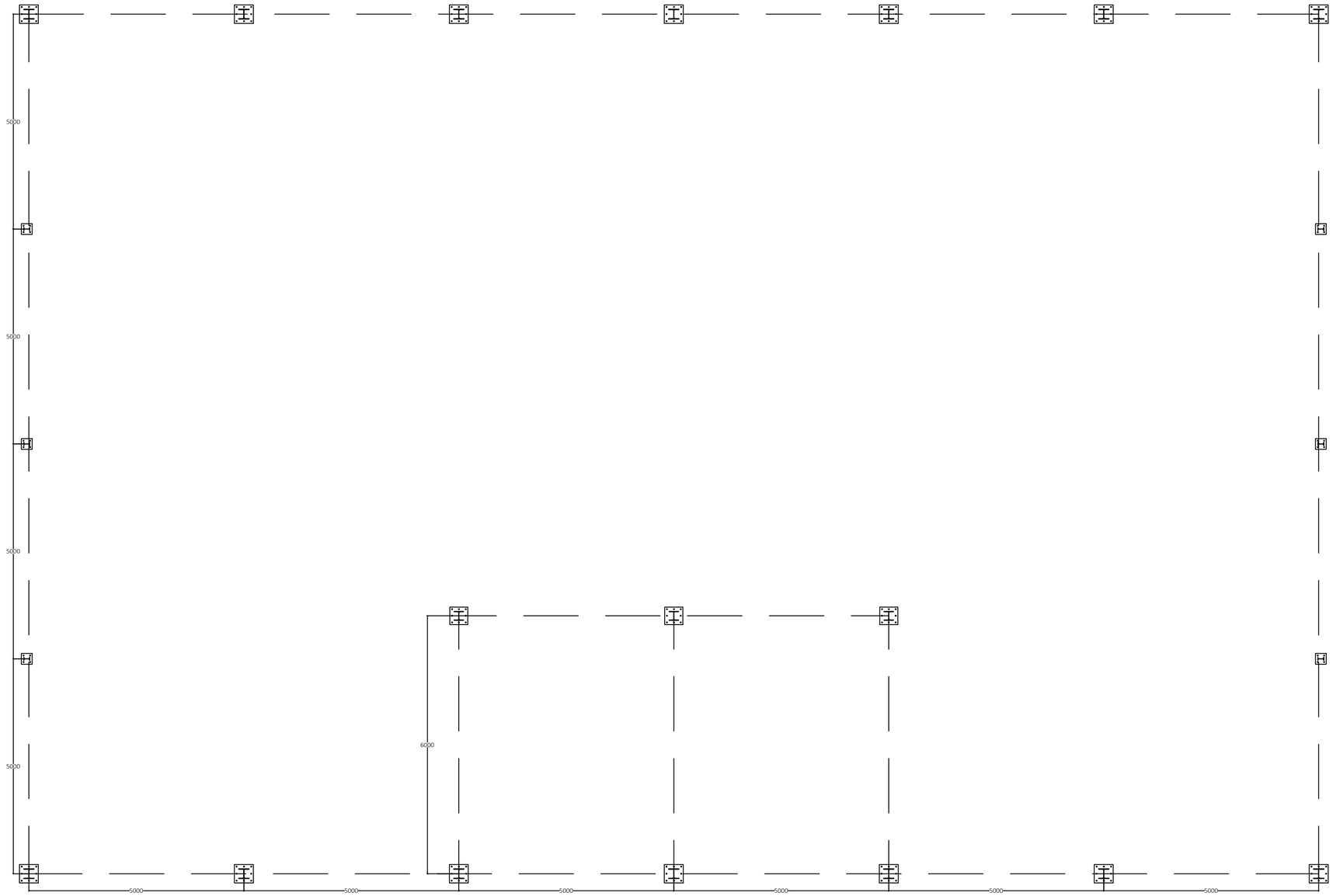
Análise **Análise linear de 1ª ordem - ELS**

Grupo **10: Madres de piso**

Diagrama

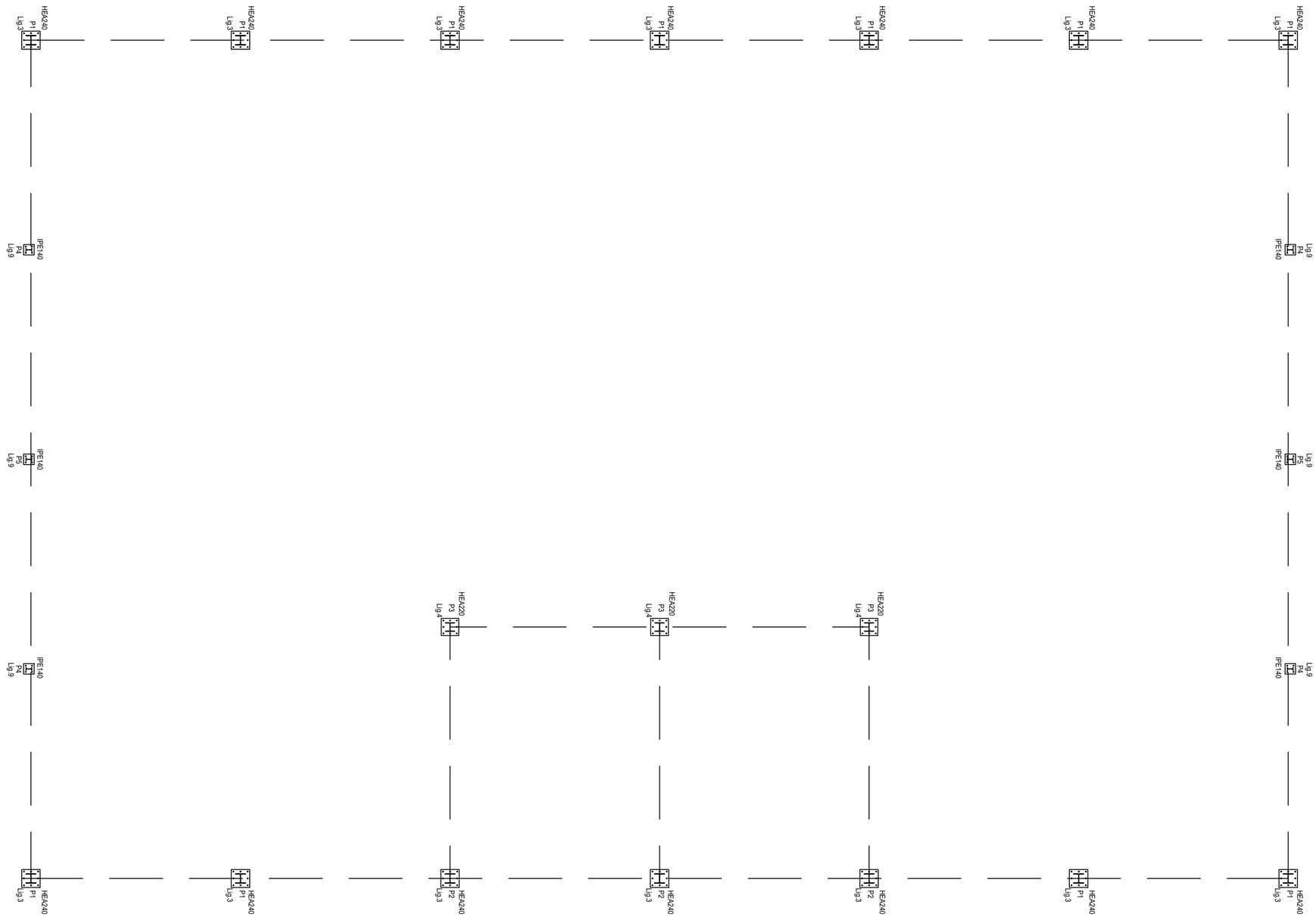
07

6.10 Desenhos de Projeto de Estrutura Metálica



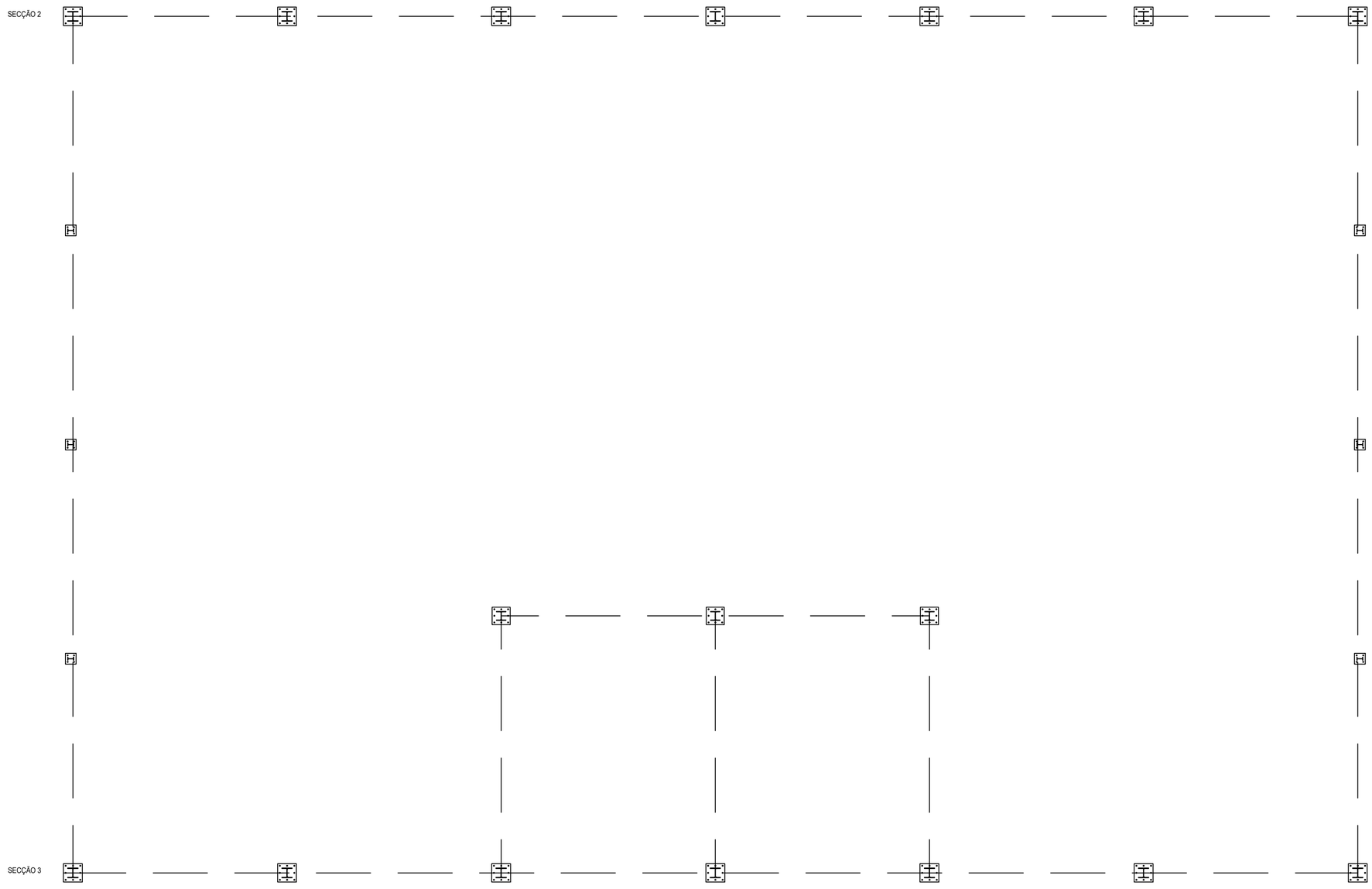
Projeto Dissertação

Requerente	**Cliente**
Morada	**Fornelos, Ponte de Lima**
Título	**Implantação - Planta**
Especialidade	**Estabilidade**
Projectou	**Bruna Sousa**
Desenho	**01**



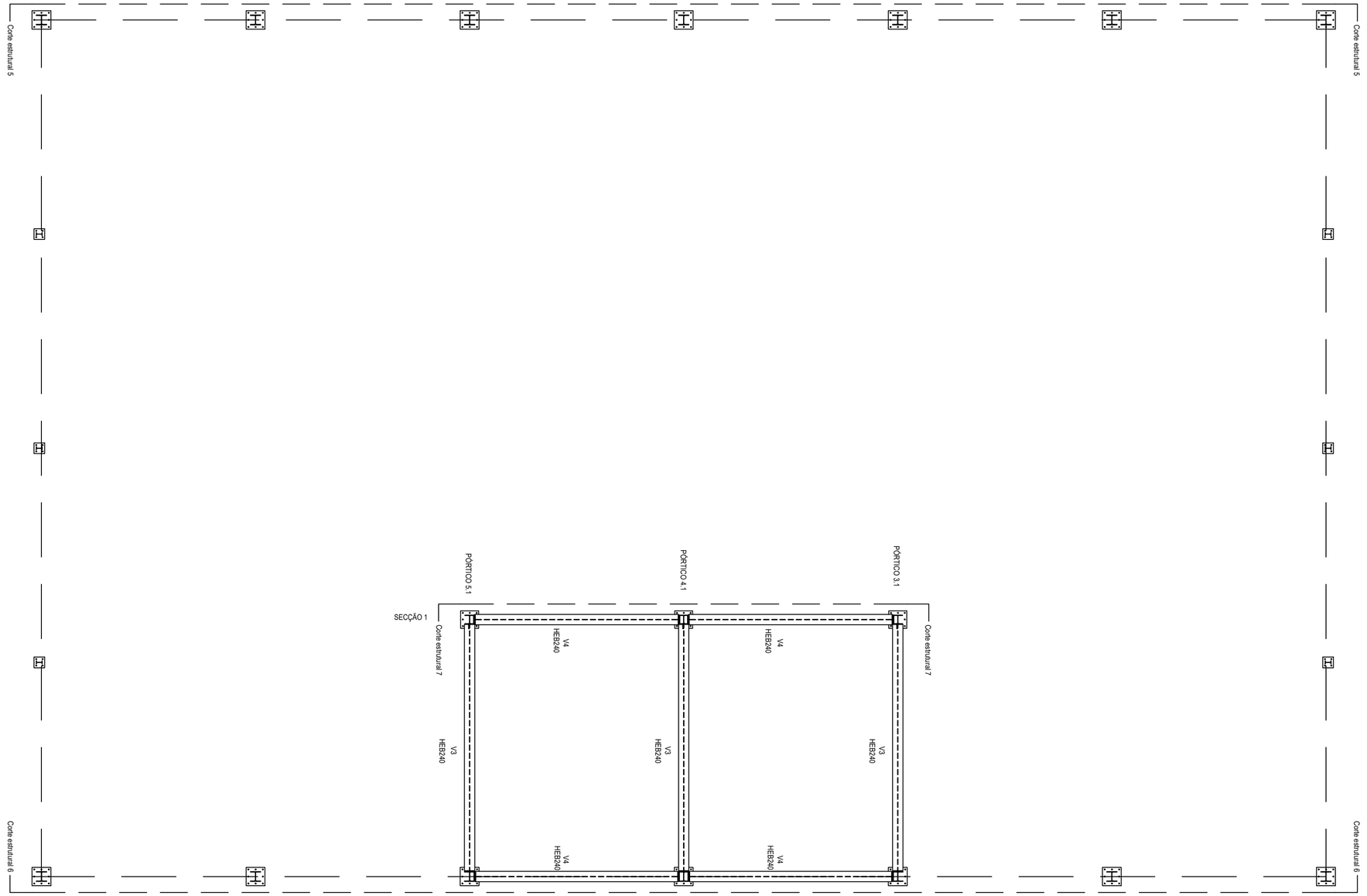
Projeto Dissertação

Requerente	**Cliente**
Morada	**Fornelos, Ponte de Lima**
Título	**Disposição de sapatas e pilares - Planta**
Especialidade	**Estabilidade**
Projectou	**Bruna Sousa**
Desenho	**02**



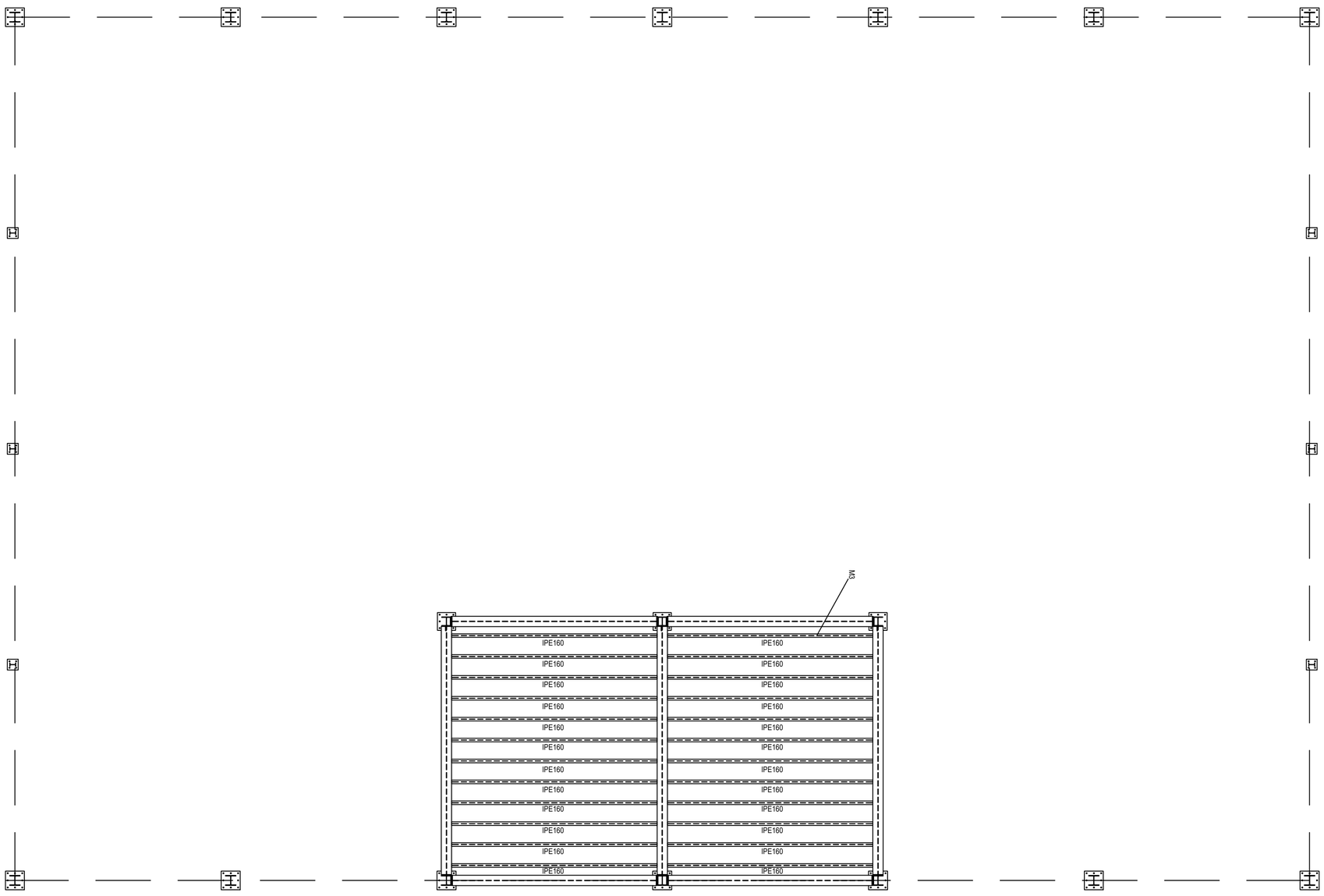
Projeto Dissertação

Requerente	**Cliente**
Morada	**Fornelos, Ponte de Lima**
Título	**Disposição de secções de fachada - Planta**
Especialidade	**Estabilidade**
Projectou	**Bruna Sousa**
Desenho	**03**



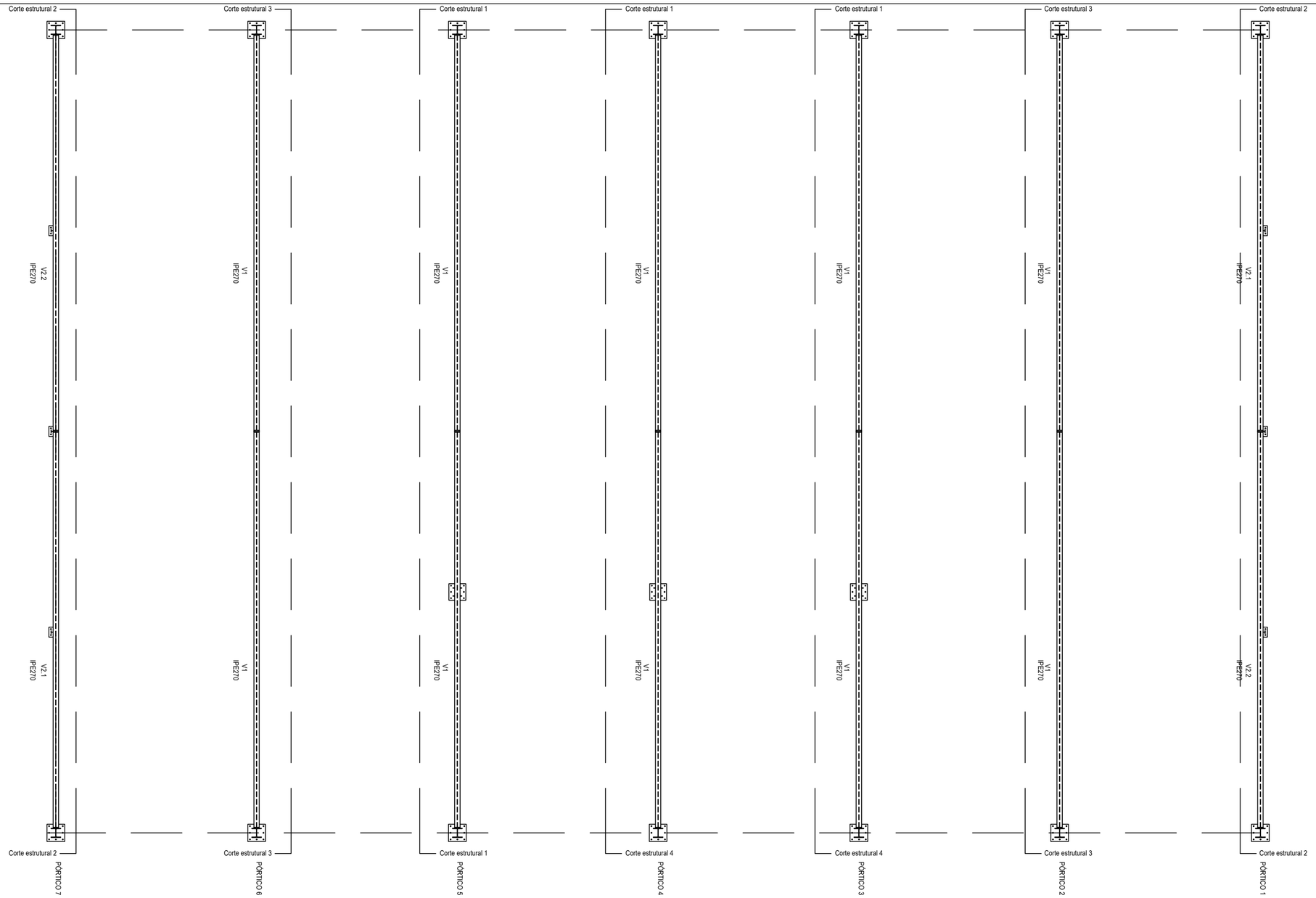
Projeto Dissertação

Requerente	**Cliente**
Morada	**Fornelos, Ponte de Lima**
Título	**Disposição vigas e pórticos de piso - Planta**
Especialidade	**Estabilidade**
Projectou	**Bruna Sousa**
Desenho	**04**



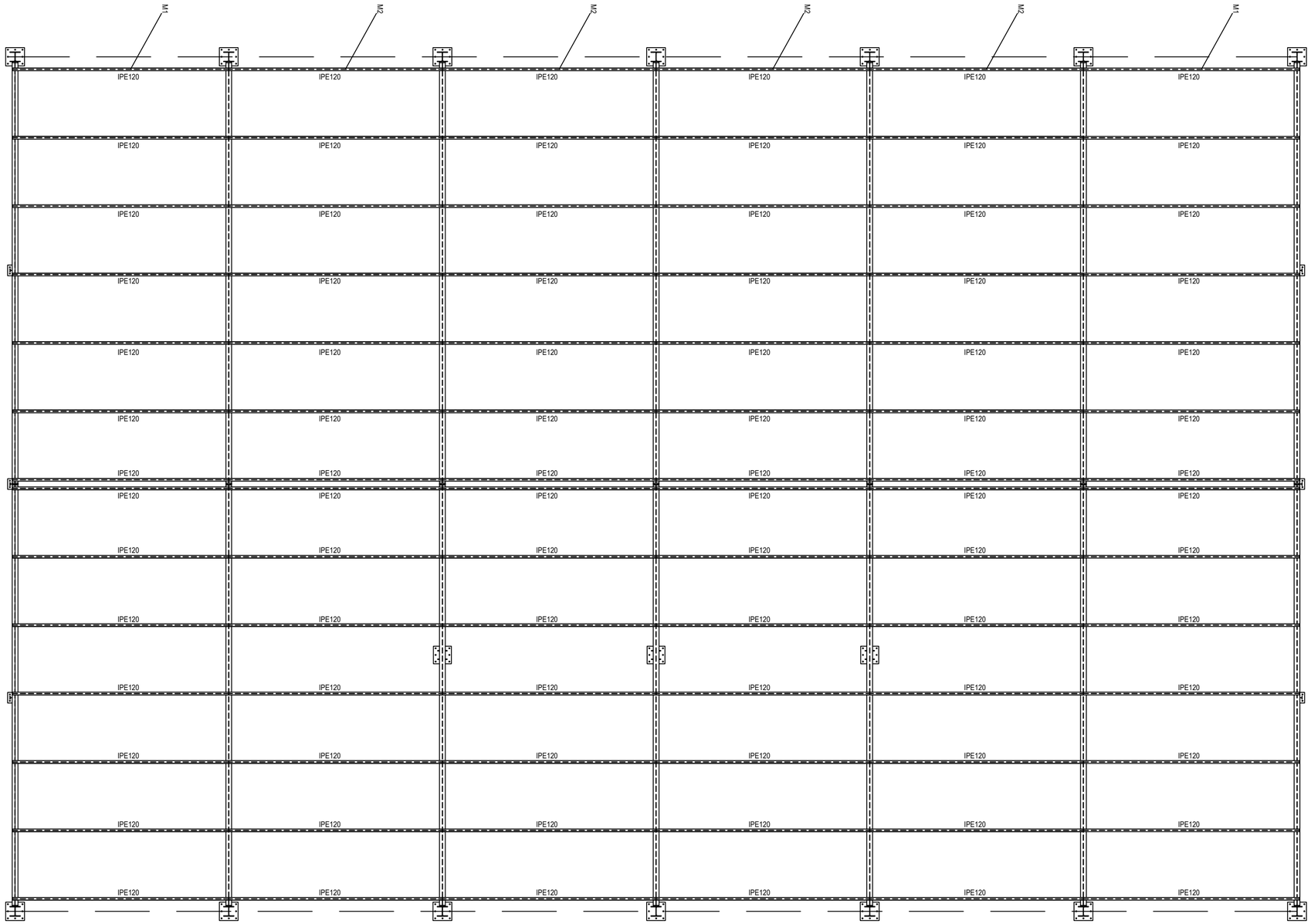
Projeto Dissertação

Requerente	**Cliente**
Morada	**Fornelos, Ponte de Lima**
Título	**Identificação madres piso intermédio - Planta**
Especialidade	**Estabilidade**
Projectou	**Bruna Sousa**
Desenho	**05**



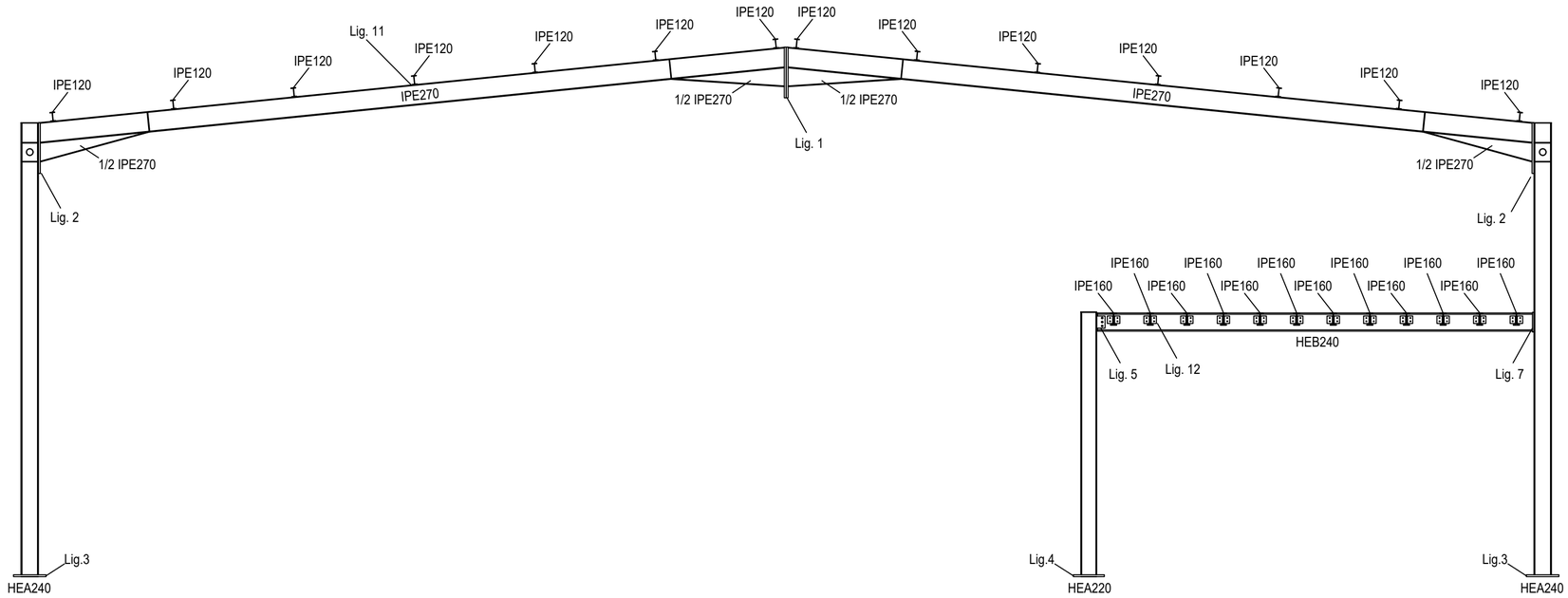
Projeto Dissertação

Requerente	**Cliente**
Morada	**Fornelos, Ponte de Lima**
Título	**Disposição asnas e pórticos - Planta**
Especialidade	**Estabilidade**
Projectou	**Bruna Sousa**
Desenho	**06**



Projeto Dissertação

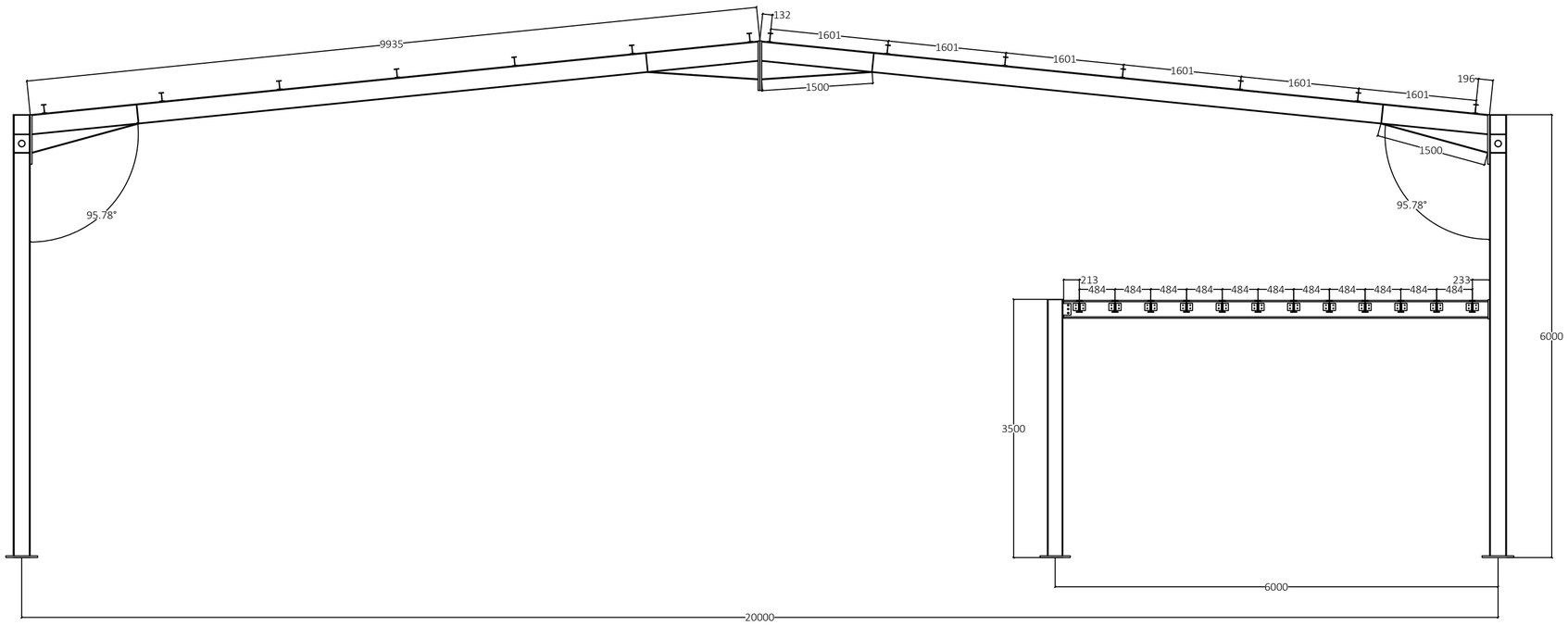
Requerente	**Cliente**
Morada	**Fornelos, Ponte de Lima**
Título	**Identificação madres de cobertura - Planta**
Especialidade	**Estabilidade**
Projectou	**Bruna Sousa**
Desenho	**07**



PÓRTICO 3 + 3.1
PÓRTICO 4 + 4.1

Projeto Dissertação

Requerente	**Cliente**
Morada	**Fornelos, Ponte de Lima**
Título	**Corte estrutural 1 - Legendas**
Especialidade	**Estabilidade**
Projectou	**Bruna Sousa**
Desenho	**08**



PÓRTICO 3 + 3.1
PÓRTICO 4 + 4.1
PÓRTICO 5 + 5.1

Projeto Dissertação

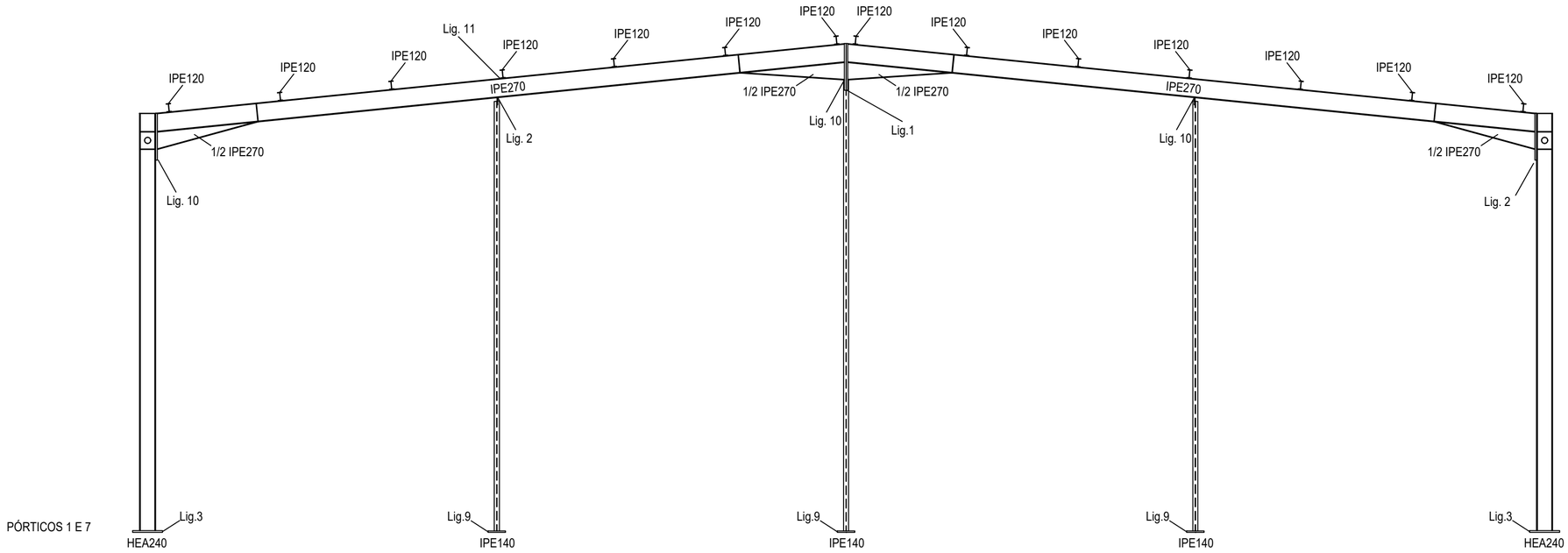
Requerente **Cliente**

Morada **Fornelos, Ponte de Lima**

Título **Corte estrutural 1 - Cotas**

Especialidade **Estabilidade** **Projectou** **Bruna Sousa** **Desenho**

09

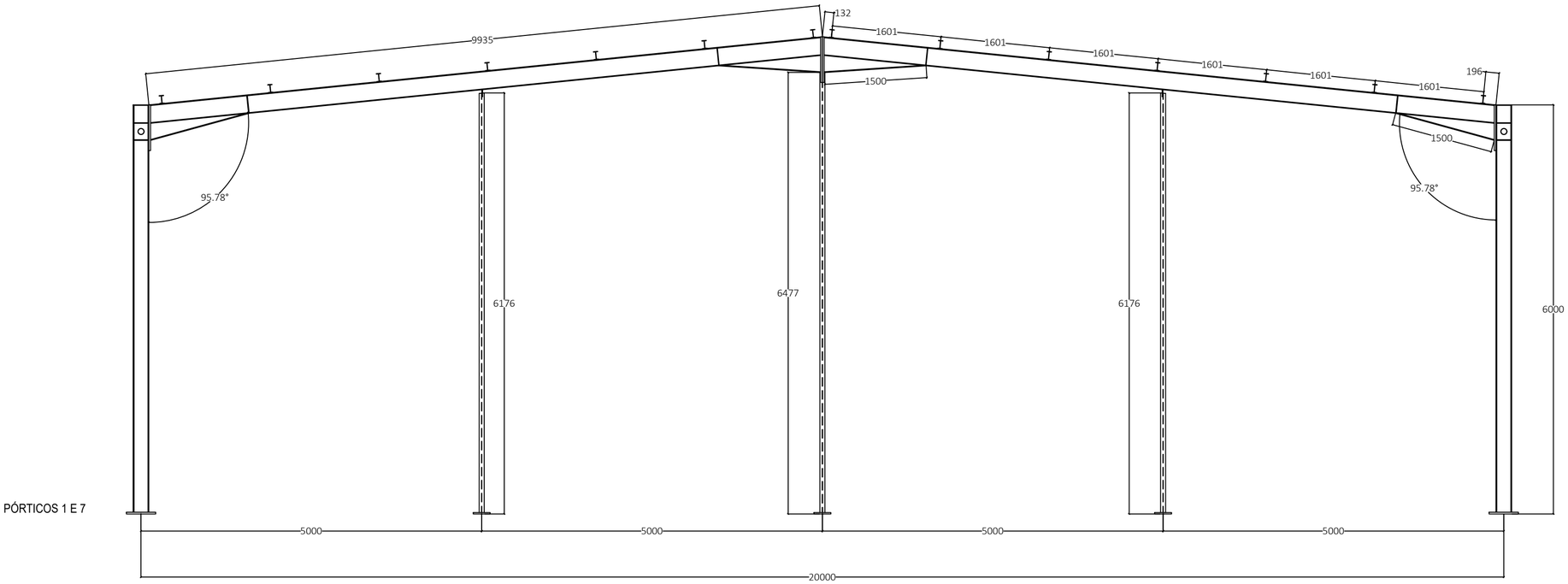


PÓRTICOS 1 E 7

Projeto Dissertação

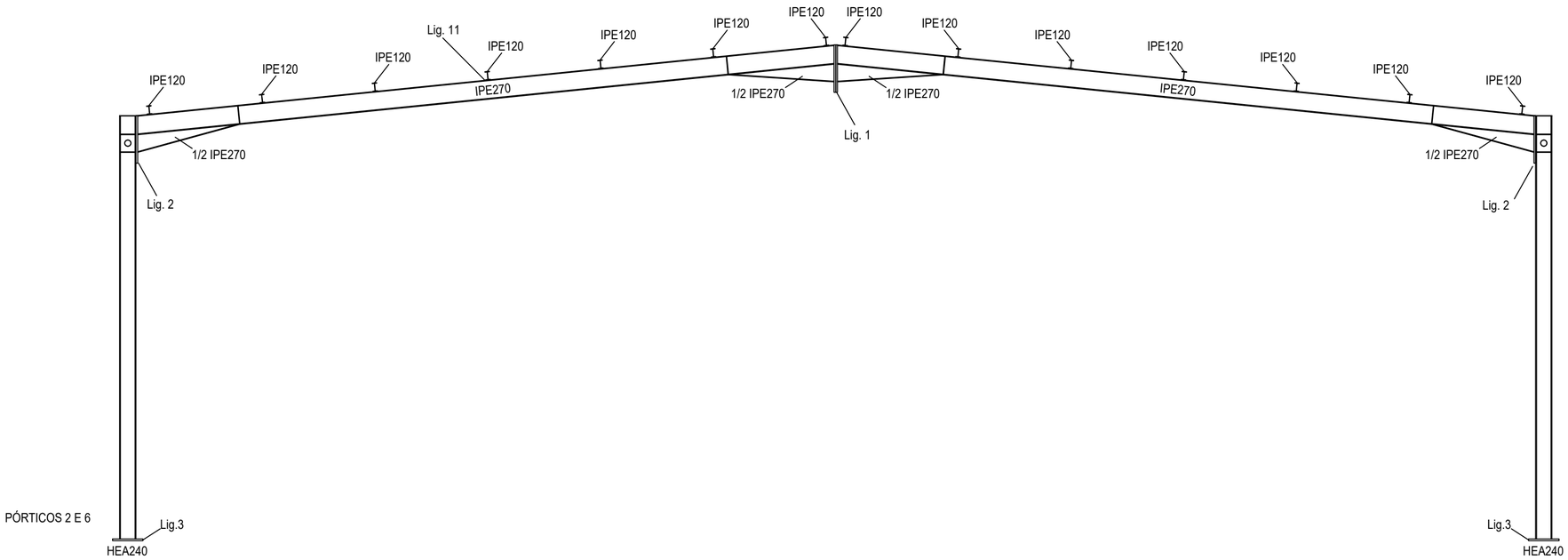
Requerente	**Cliente**
Morada	**Fornelos, Ponte de Lima**
Título	**Corte estrutural 2 - Legendas**
Especialidade	**Estabilidade**
Projectou	**Bruna Sousa**
Desenho	**10**

PÓRTICOS 1 E 7



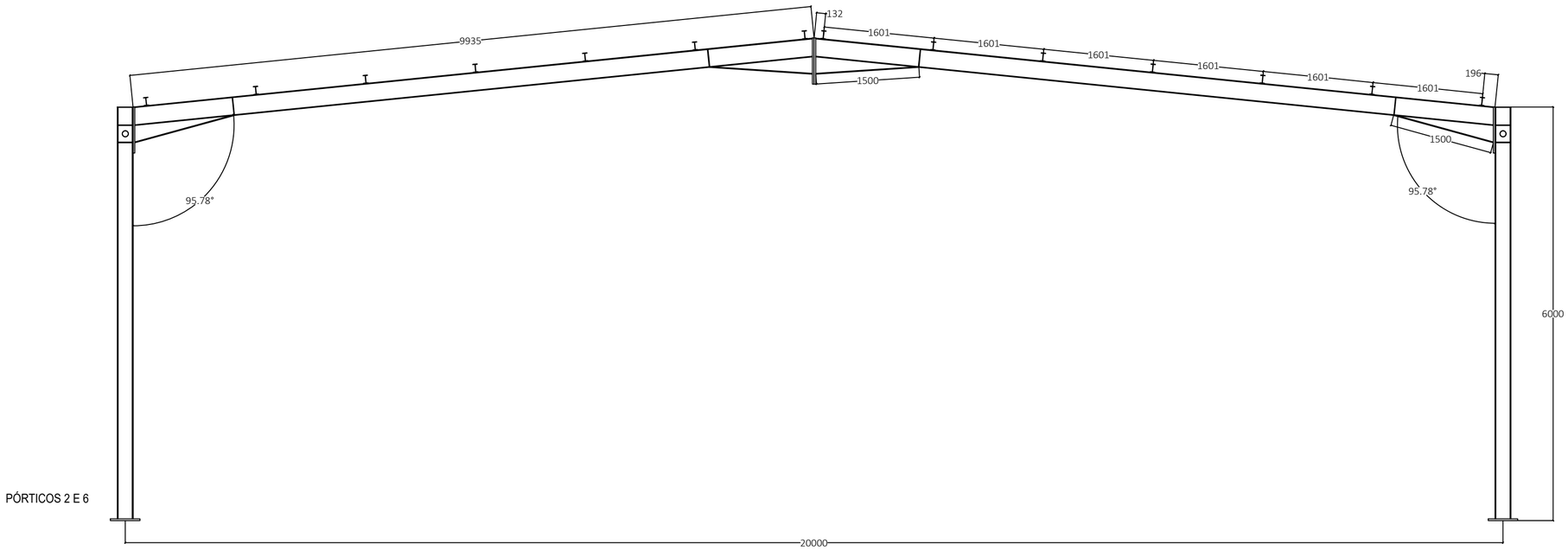
Projeto Dissertação

Requerente	**Cliente**
Morada	**Fornelos, Ponte de Lima**
Título	**Corte estrutural 2 - Cotas**
Especialidade	**Estabilidade**
Projectou	**Bruna Sousa**
Desenho	**11**



Projeto Dissertação

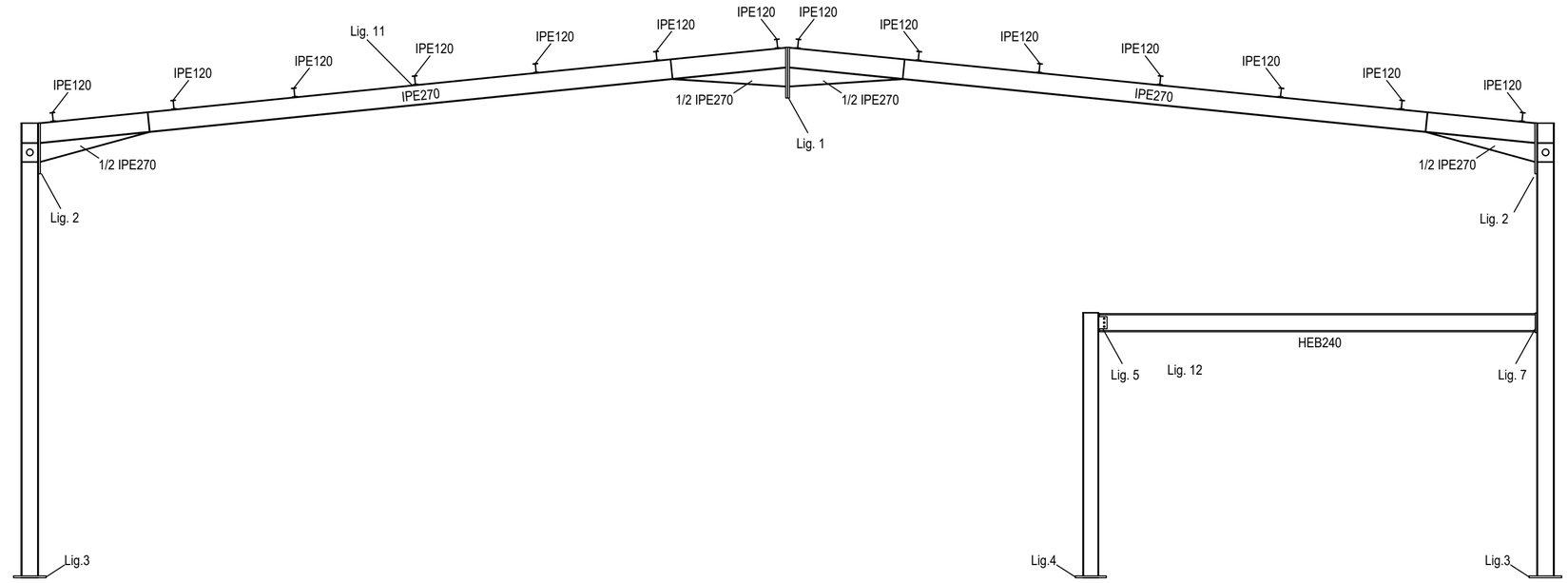
Requerente	**Cliente**
Morada	**Fornelos, Ponte de Lima**
Título	**Corte estrutural 3 - Legendas**
Especialidade	**Estabilidade**
Projectou	**Bruna Sousa**
Desenho	**12**



PÓRTICOS 2 E 6

Projeto Dissertação

Requerente	**Cliente**
Morada	**Fornelos, Ponte de Lima**
Título	**Corte estrutural 3 - Cotas**
Especialidade	**Estabilidade**
Projectou	**Bruna Sousa**
Desenho	**13**

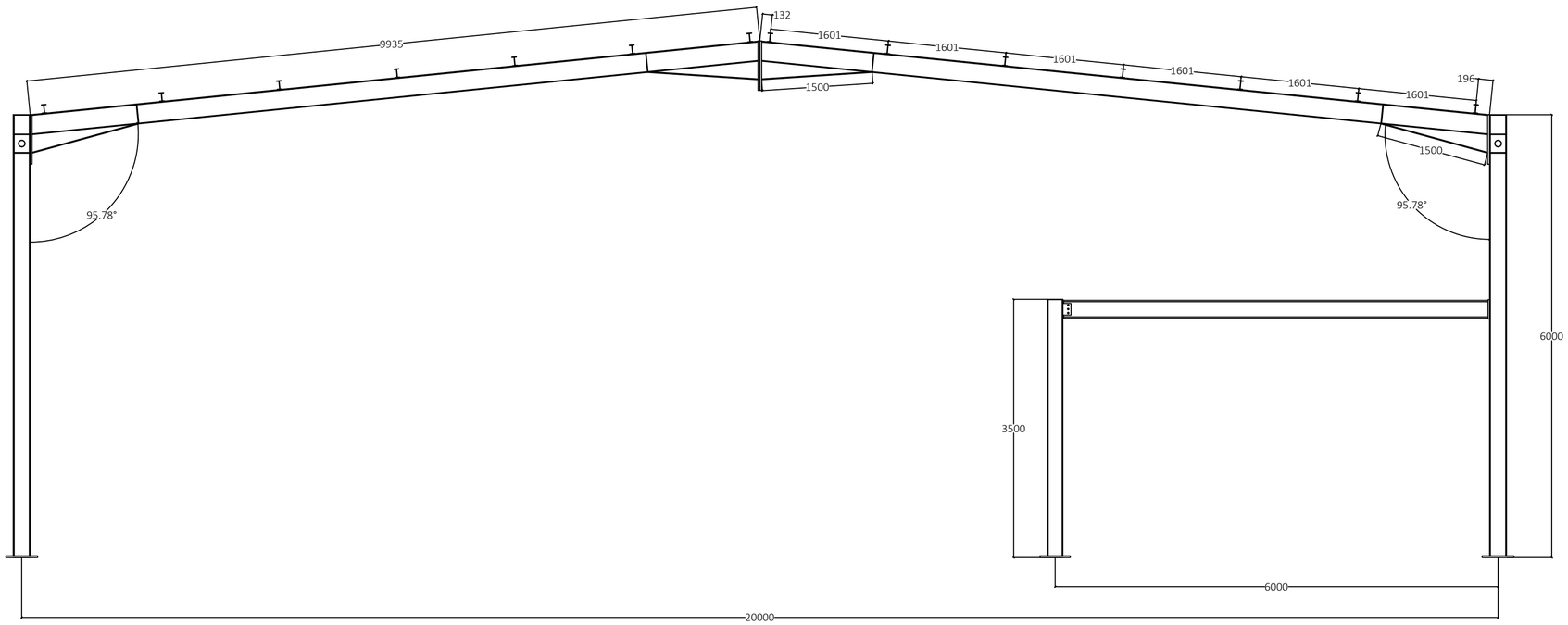


PÓRTICO 5 + 5.1

Projeto Dissertação

Requerente	**Cliente**
Morada	**Fornelos, Ponte de Lima**
Título	**Corte estrutural 4 - Legendas**
Especialidade	**Estabilidade**
Projectou	**Bruna Sousa**
Desenho	**14**

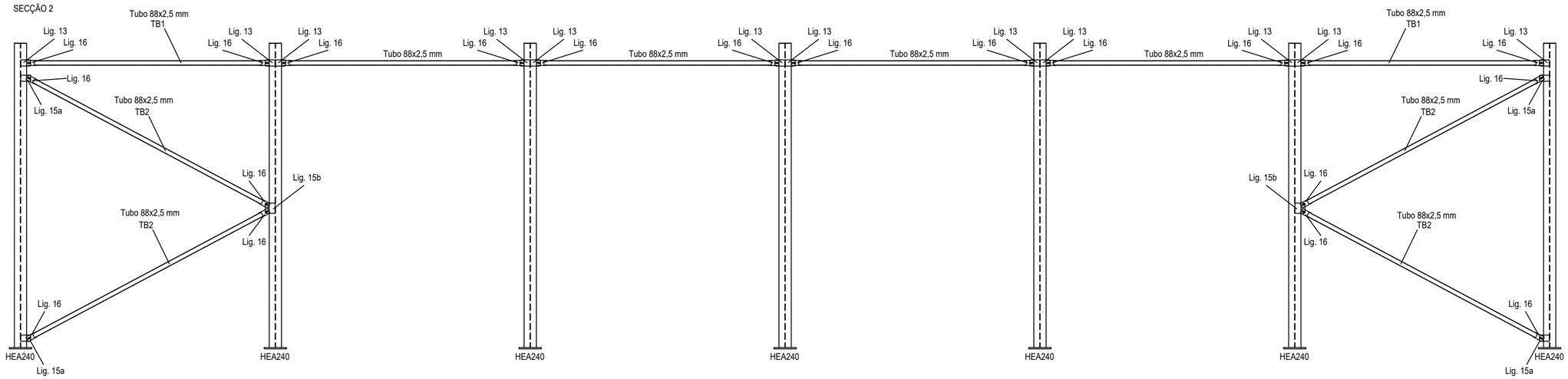
PÓRTICO 5 + 5.1



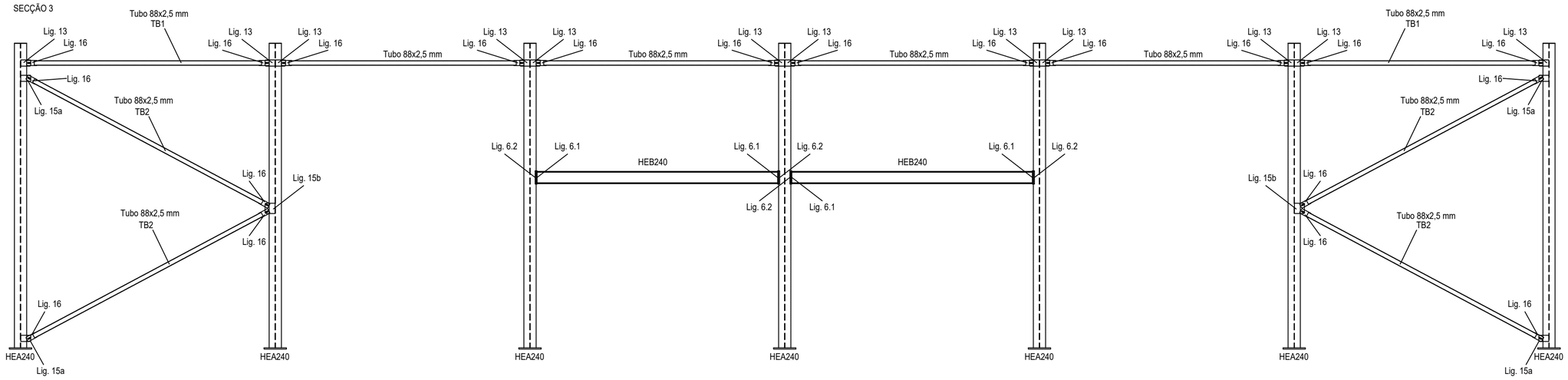
Projeto Dissertação

Requerente	**Cliente**
Morada	**Fornelos, Ponte de Lima**
Título	**Corte estrutural 4 - Cotas**
Especialidade	**Estabilidade**
Projectou	**Bruna Sousa**
Desenho	**15**

SECÇÃO 2



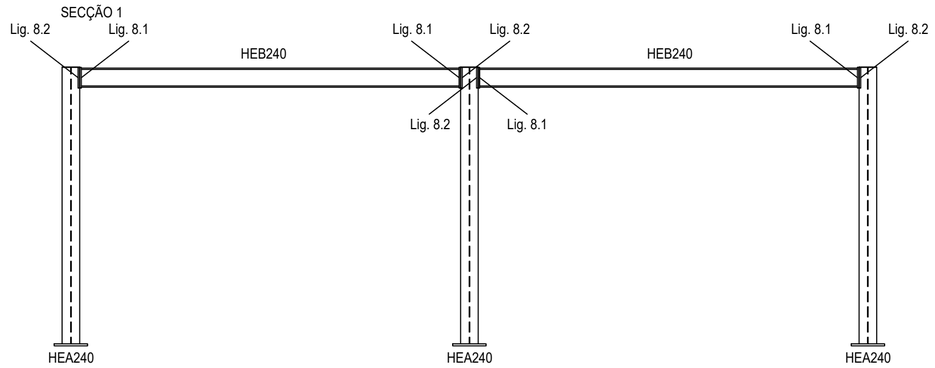
Projeto Dissertação			
Requerente	**Cliente**		
Morada	**Fornelos, Ponte de Lima**		
Título	**Corte estrutural 5**		
Especialidade	**Estabilidade**	**Projectou** **Bruna Sousa**	**Desenho**
			16



Projeto Dissertação

Requerente	**Cliente**			
Morada	**Fornelos, Ponte de Lima**			
Título	**Corte estrutural 6**			
Especialidade	**Estabilidade**	**Projectou**	**Bruna Sousa**	**Desenho**

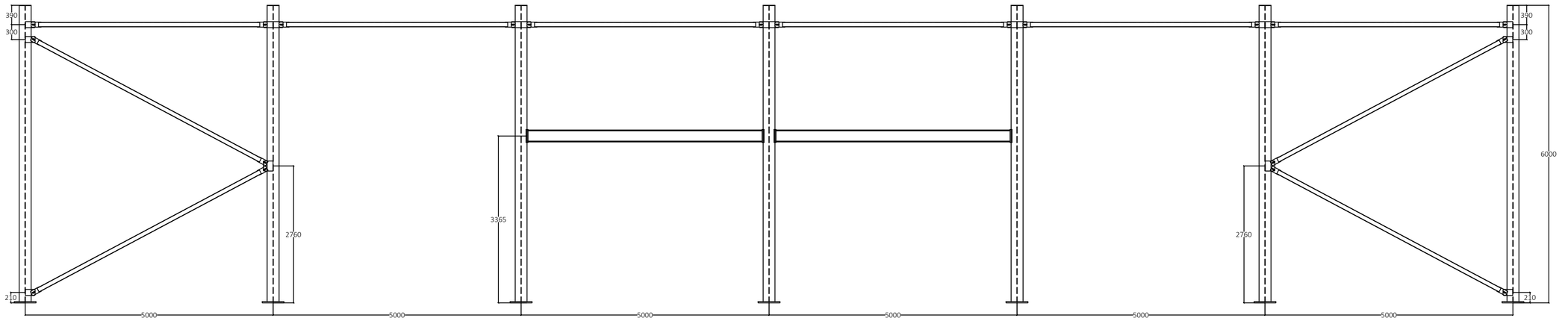
17



Projeto Dissertação

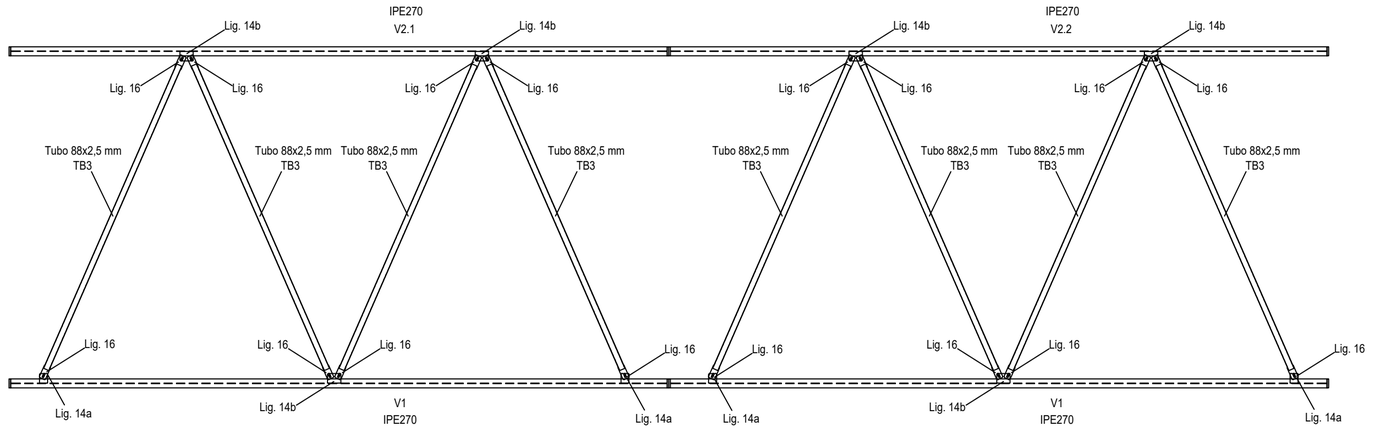
Requerente	**Cliente**			
Morada	**Fornelos, Ponte de Lima**			
Título	**Corte estrutural 7**			
Especialidade	**Estabilidade**	**Projectou**	**Bruna Sousa**	**Desenho**

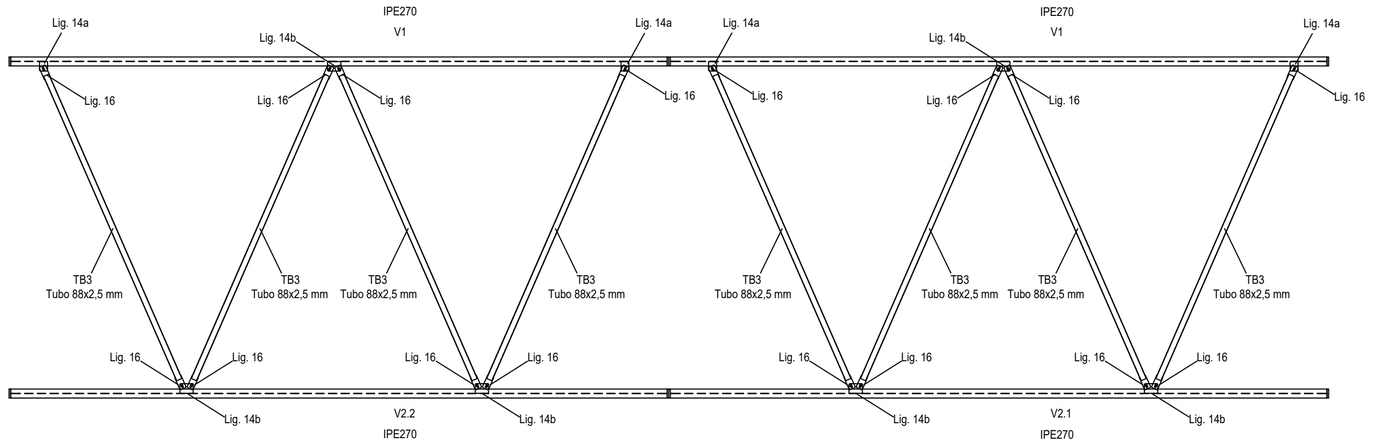
18

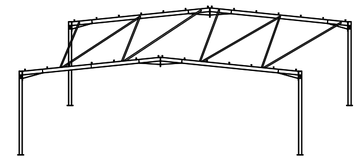


Projeto Dissertação

Requerente	**Cliente**
Morada	**Fornelos, Ponte de Lima**
Título	**Cotas de assemblagem de contraventamento lateral e piso intermédio**
Especialidade	**Estabilidade**
Projectou	**Bruna Sousa**
Desenho	**19**







Projeto Dissertação

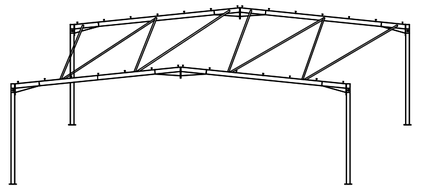
Requerente **Cliente**

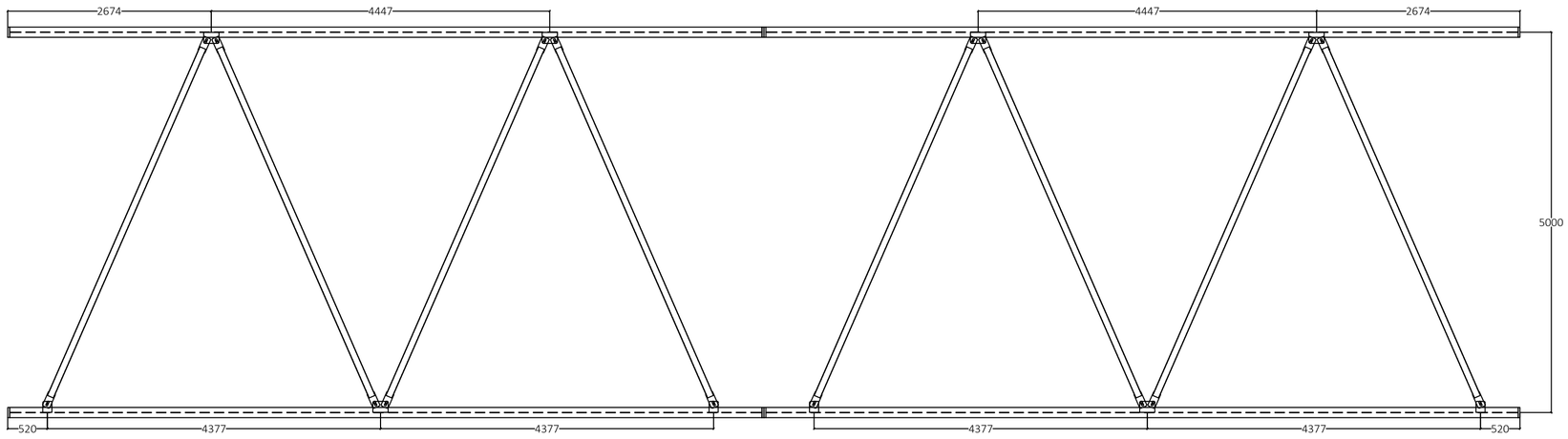
Morada **Fornelos, Ponte de Lima**

Título **Disposição contraventamento de extremidade**

Especialidade **Estabilidade** **Projectou** **Bruna Sousa** **Desenho**

20





Projeto Dissertação

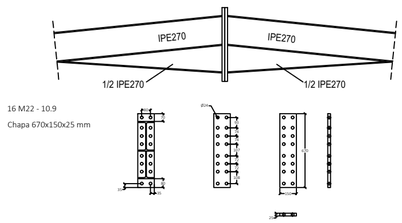
Requerente	**Cliente**
Morada	**Fornelos, Ponte de Lima**
Título	**Cotas de assemblagem de contraventamento de extremidade**
Especialidade	**Estabilidade**

Projectou **Bruna Sousa**

Desenho

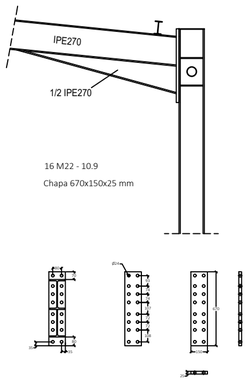
21

Ligação tipo 1



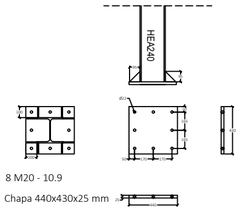
16 M22 - 10.9
Chapa 670x150x25 mm

Ligação tipo 2



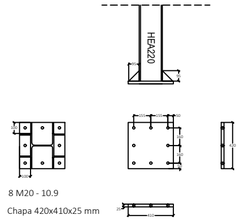
16 M22 - 10.9
Chapa 670x150x25 mm

Ligação tipo 3



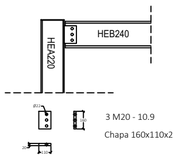
8 M20 - 10.9
Chapa 440x430x25 mm

Ligação tipo 4



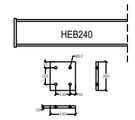
8 M20 - 10.9
Chapa 420x410x25 mm

Ligação tipo 5



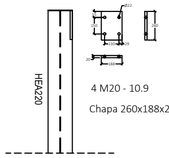
3 M20 - 10.9
Chapa 160x110x20 mm

Ligação tipo 6.1



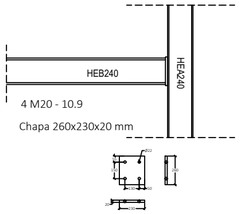
4 M20 - 10.9
Chapa 260x230x20 mm

Ligação tipo 6.2



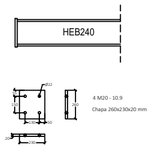
4 M20 - 10.9
Chapa 260x188x20 mm

Ligação tipo 7



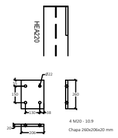
4 M20 - 10.9
Chapa 260x230x20 mm

Ligação tipo 8.1



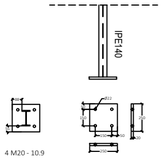
4 M20 - 10.9
Chapa 260x230x20 mm

Ligação tipo 8.2



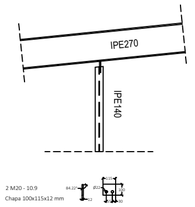
4 M20 - 10.9
Chapa 260x206x20 mm

Ligação tipo 9



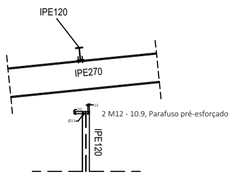
4 M20 - 10.9
Chapa 250x250x20 mm

Ligação tipo 10

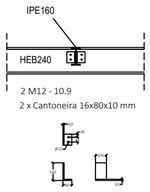


2 M20 - 10.9
Chapa 100x115x12 mm

Ligação tipo 11

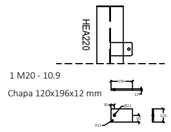


Ligação tipo 12



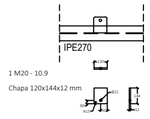
2 M12 - 10.9
2 x Cantoneira 16x80x10 mm

Ligação tipo 13



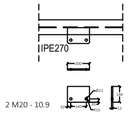
1 M20 - 10.9
Chapa 120x196x12 mm

Ligação tipo 14a



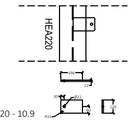
1 M20 - 10.9
Chapa 120x144x12 mm

Ligação tipo 14b



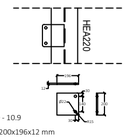
2 M20 - 10.9
Chapa 200x144x12 mm

Ligação tipo 15a



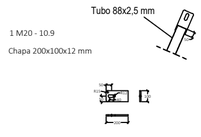
1 M20 - 10.9
Chapa 120x196x12 mm

Ligação tipo 15b



2 M20 - 10.9
Chapa 200x196x12 mm

Ligação tipo 16

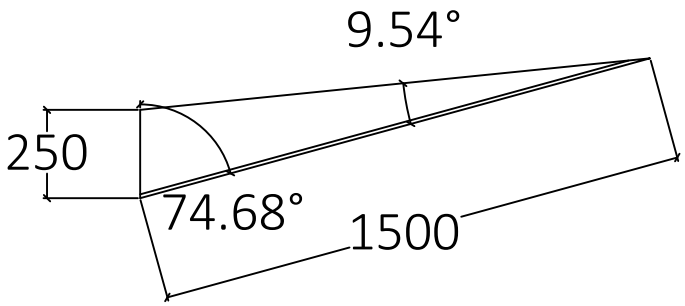


1 M20 - 10.9
Chapa 200x100x12 mm

Projeto Dissertação

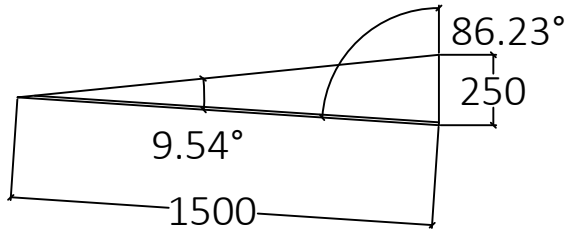
Requerente	**Cliente**
Morada	**Fornelos, Ponte de Lima**
Título	**Ligações metálicas**
Especialidade	**Estabilidade**
Projectou	**Bruna Sousa**
Desenho	**22**

6.11 Desenhos de Produção – Peças e conjuntos



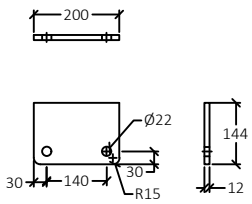
Ref:	Quant.	Descrição
B1	14	Perfil IPE270

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme Correcção	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação						Material S275JR	Comp. (mm) 1500	Nº Folha: 004/037
		1º Peça	Última	1º Peça	Última							
										Desenhou Bruna Sousa	Norma EN1090 - 2	Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
	Data											
	Nº Operador											
	Quantidade Fabricada											
	Soma Quantidade									Nº Desenho: 4	Obra nº Dissertação	



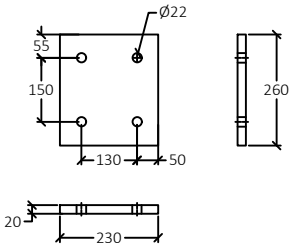
Ref:	Quant.	Descrição
B2	14	Perfil IPE270

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme Correcção	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação					Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
		1º Peça	Última	1º Peça	Última				S275JR	1500	005/037
	Data								Desenhou Bruna Sousa	Norma EN1090 - 2	Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
	Nº Operador										
	Quantidade Fabricada										
	Soma Quantidade								Nº Desenho: 5	Obra nº Dissertação	



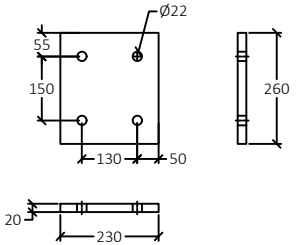
Ref:	Quant.	Descrição
Lig. 14b	12	Barra 200x12 mm

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme Correcção	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação					Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
		1º Peça	Última	1º Peça	Última				S275JR	144	034/037
									Desenhou Bruna Sousa		Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
	Data									Norma EN1090 - 2	
	Nº Operador										
	Quantidade Fabricada										
	Soma Quantidade								Nº Desenho: 34	Obra nº Dissertação	



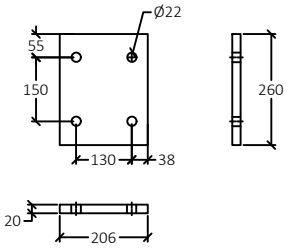
Ref:	Quant.	Descrição
Lig. 6.1	4	Barra 260x20 mm

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme Correcção	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação			Material	Comp. (mm)	Nº Folha:		
		1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR	230	024/037		
							Desenhou Bruna Sousa			Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐	
	Data										
	Nº Operador										
	Quantidade Fabricada							Norma EN1090 - 2			
	Soma Quantidade						Nº Desenho: 24	Obra nº Dissertação			



Ref:	Quant.	Descrição
Lig. 8.1	4	Barra 260x20 mm

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme Correcção	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação			Material	Comp. (mm)	Nº Folha:		
		1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR	230	027/037		
							Desenhou Bruna Sousa			Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐	
	Data										
	Nº Operador										
	Quantidade Fabricada							Norma EN1090 - 2			
	Soma Quantidade						Nº Desenho: 27	Obra nº Dissertação			



Ref:	Quant.	Descrição
Lig. 8.2	4	Barra 260x20 mm

Tolerância Geral	Operador:	Corte		Furação						
< 500 +- 1	_____	1º Peça	Última	1º Peça	Última					
<8000 +- 3	Controlo									
<12000 +- 4	Data									
<16000 +- 6	Nº Operador									
<=16000 +- 8	Quantidade Fabricada									
☐ - Conforme	Soma Quantidade									
☐ - Não Conforme										
Correcção										

Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
S275JR	206	028/037

Desenhou

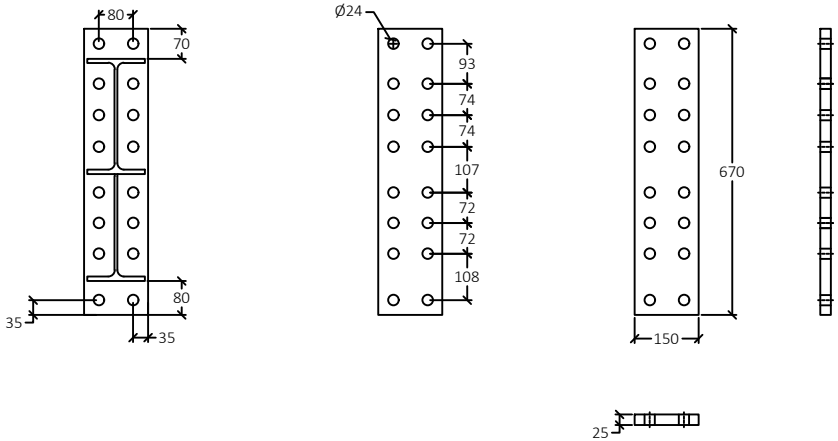
Bruna Sousa

Norma EN1090 - 2

Nº Desenho: 28

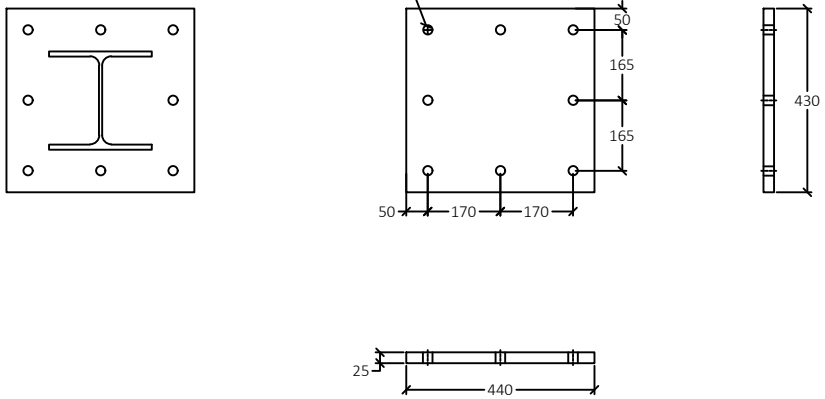
Obra nº Dissertação

Desenhos ☐
Soldadura ☐
Inspeção ☐
Corte ☐
Furação ☐
Quinagem ☐
_____ ☐



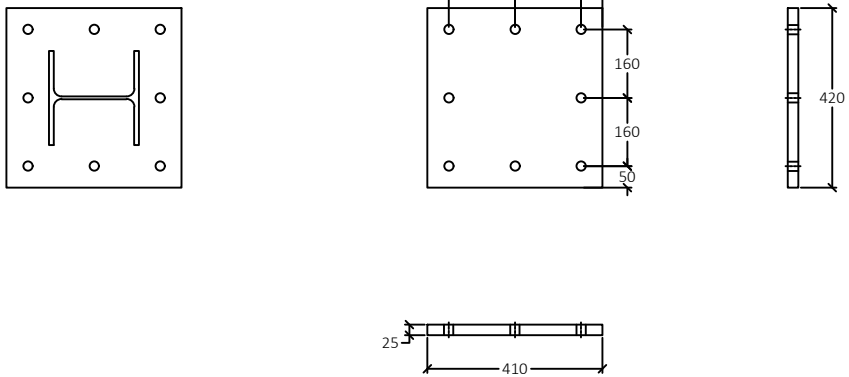
Ref:	Quant.	Descrição
Lig.2	14	Chapa 150x25 mm

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme Correcção	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação					Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
		1º Peça	Última	1º Peça	Última				S275JR	670	020/037
									Desenhou Bruna Sousa		Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
	Data									Norma EN1090 - 2	
	Nº Operador										
	Quantidade Fabricada										
	Soma Quantidade								Nº Desenho: 20	Obra nº Dissertação	



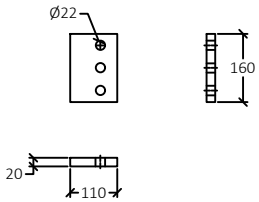
Ref:	Quant.	Descrição
Lig.3	14	Chapa 440x25 mm

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme Correcção	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação			Material	Comp. (mm)	Nº Folha:		
		1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR	430	021/037		
							Desenhou Bruna Sousa			Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐	
	Data								Norma EN1090 - 2		
	Nº Operador										
	Quantidade Fabricada										
	Soma Quantidade						Nº Desenho: 21		Obra nº Dissertação		



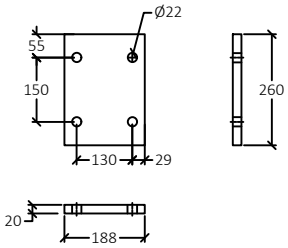
Ref:	Quant.	Descrição
Lig.4	3	Chapa 420x25 mm

Tolerância Geral	Operador:	Corte		Furação							Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
< 500 +- 1	_____	1º Peça	Última	1º Peça	Última						S275JR	410	022/037
<8000 +- 3	Controlo										Desenhou		
<12000 +- 4	Data										Bruna Sousa		
<16000 +- 6	Nº Operador											Norma EN1090 - 2	Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
<=16000 +- 8	Quantidade Fabricada												
☐ - Conforme	Soma Quantidade										Nº Desenho: 22	Obra nº Dissertação	
☐ - Não Conforme													
Correcção													



Ref:	Quant.	Descrição
Lig. 5	3	Barra 160x20 mm

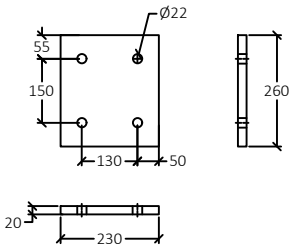
Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme Correcção	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação			Material	Comp. (mm)	Nº Folha:		
		1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR	110	023/037		
							Desenhou Bruna Sousa			Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐	
	Data								Norma EN1090 - 2		
	Nº Operador										
	Quantidade Fabricada										
	Soma Quantidade						Nº Desenho: 23		Obra nº Dissertação		



Ref:	Quant.	Descrição
Lig. 6.2	4	Barra 260x20 mm

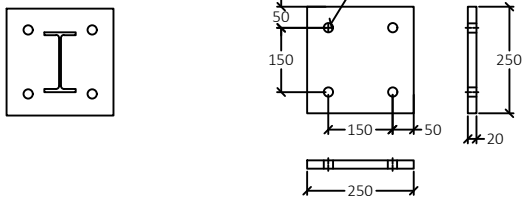
Tolerância Geral	Operador:	Corte		Furação							Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
< 500 +- 1	_____	1º Peça	Última	1º Peça	Última						S275JR	188	025/037
<8000 +- 3	Controlo										Desenhou		
<12000 +- 4	Data												
<16000 +- 6	Nº Operador										Bruna Sousa		
<=16000 +- 8	Quantidade Fabricada											Norma EN1090 - 2	
☐ - Conforme	Soma Quantidade										Nº Desenho: 25	Obra nº Dissertação	
☐ - Não Conforme													
Correcção													

Desenhos ☐
Soldadura ☐
Inspeção ☐
Corte ☐
Furação ☐
Quinagem ☐
_____ ☐



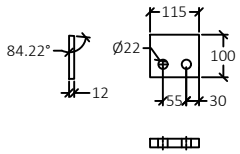
Ref:	Quant.	Descrição
Lig. 7	3	Barra 260x20 mm

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme Correcção	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação			Material	Comp. (mm)	Nº Folha:		
		1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR	230	026/037		
							Desenhou Bruna Sousa			Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐	
	Data								Norma EN1090 - 2		
	Nº Operador										
	Quantidade Fabricada										
	Soma Quantidade						Nº Desenho: 26		Obra nº Dissertação		



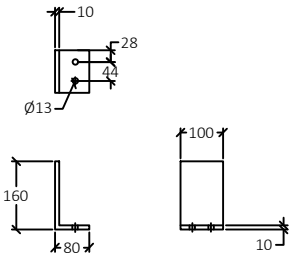
Ref:	Quant.	Descrição
Lig. 9	6	Barra 250x20 mm

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme Correcção	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação			Material	Comp. (mm)	Nº Folha:		
		1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR	250	029/037		
							Desenhou Bruna Sousa			Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐	
	Data										
	Nº Operador										
	Quantidade Fabricada							Norma EN1090 - 2			
	Soma Quantidade						Nº Desenho: 29	Obra nº Dissertação			



Ref:	Quant.	Descrição
Lig. 10	6	Barra 100x12 mm

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme Correcção	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação			Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
		1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR	115	030/037
							Desenhou Bruna Sousa		Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
	Data							Norma EN1090 - 2	
	Nº Operador								
	Quantidade Fabricada								
	Soma Quantidade						Nº Desenho: 30	Obra nº Dissertação	

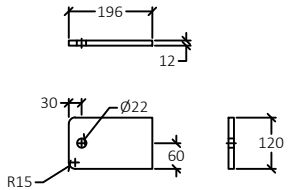


Ref:	Quant.	Descrição
Lig. 12	96	L160x80x10

Tolerância Geral	Operador:	Corte		Furação						
< 500 +- 1	_____	1º Peça	Última	1º Peça	Última					
<8000 +- 3	Controlo									
<12000 +- 4	Data									
<16000 +- 6	Nº Operador									
<=16000 +- 8	Quantidade Fabricada									
☐ - Conforme	Soma Quantidade									
☐ - Não Conforme										
Correcção										

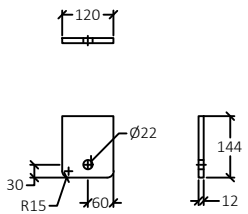
Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
S275JR	100	031/037

Desenhou		Desenhos ☐
Bruna Sousa	Norma EN1090 - 2	Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
Nº Desenho: 31	Obra nº Dissertação	



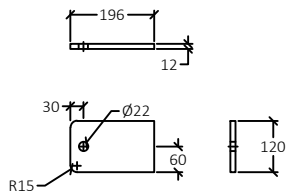
Ref:	Quant.	Descrição
Lig. 13	24	Barra 120x12 mm

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme Correcção	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação			Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
		1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR	196	032/037
							Desenhou Bruna Sousa		Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
	Data							Norma EN1090 - 2	
	Nº Operador								
	Quantidade Fabricada								
	Soma Quantidade						Nº Desenho: 32	Obra nº Dissertação	



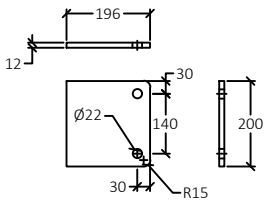
Ref:	Quant.	Descrição
Lig. 14a	8	Barra 120x12 mm

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme Correcção	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação			Material	Comp. (mm)	Nº Folha:	
		1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR	144	033/037	
							Desenhou Bruna Sousa			Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
	Data									
	Nº Operador							Norma EN1090 - 2		
	Quantidade Fabricada									
	Soma Quantidade						Nº Desenho: 33	Obra nº Dissertação		



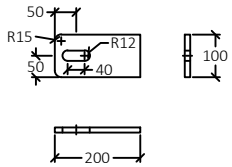
Ref:	Quant.	Descrição
Lig. 15a	8	Barra 120x12 mm

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme Correcção	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação			Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
		1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR	196	035/037
	Data						Desenhou Bruna Sousa		Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
	Nº Operador							Norma EN1090 - 2	
	Quantidade Fabricada								
	Soma Quantidade						Nº Desenho: 35	Obra nº Dissertação	



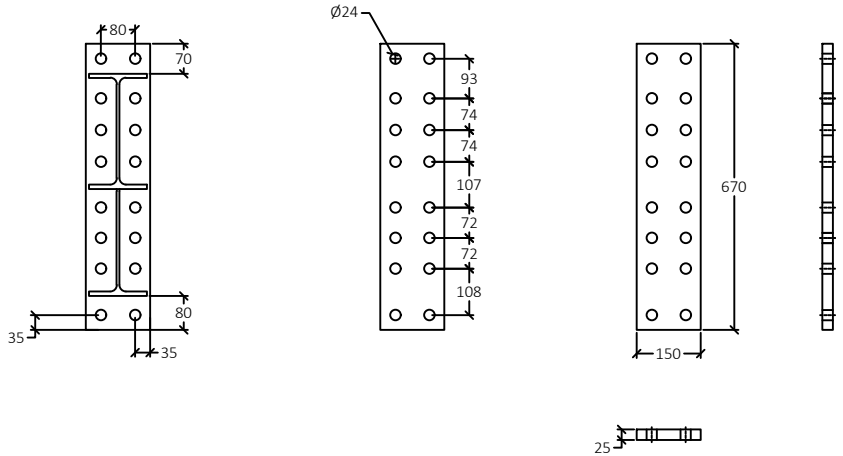
Ref:	Quant.	Descrição
Lig. 15b	4	Barra 200x12 mm

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme Correcção	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação			Material	Comp. (mm)	Nº Folha:		
		1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR	196	036/037		
							Desenhou Bruna Sousa			Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐	
	Data								Norma EN1090 - 2		
	Nº Operador										
	Quantidade Fabricada										
	Soma Quantidade						Nº Desenho: 36		Obra nº Dissertação		



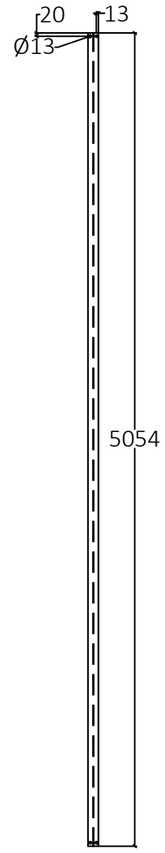
Ref:	Quant.	Descrição
Lig. 16	72	Barra 200x12 mm

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme Correcção	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação			Material	Comp. (mm)	Nº Folha:	
		1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR	100	037/037	
							Desenhou Bruna Sousa			Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
	Data									
	Nº Operador							Norma EN1090 - 2		
	Quantidade Fabricada									
	Soma Quantidade						Nº Desenho: 37	Obra nº Dissertação		



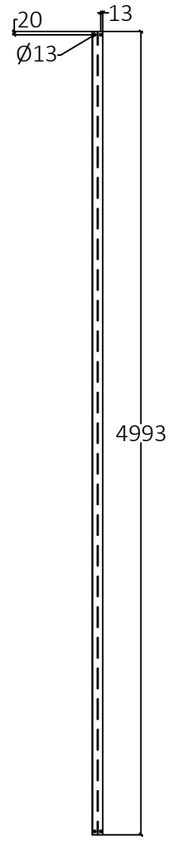
Ref:	Quant.	Descrição
Lig. 1	14	Chapa 150x25mm

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme Correcção	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação			Material	Comp. (mm)	Nº Folha:		
		1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR	670	019/037		
							Desenhou Bruna Sousa			Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐	
	Data										
	Nº Operador										
	Quantidade Fabricada							Norma EN1090 - 2			
	Soma Quantidade						Nº Desenho: 19	Obra nº Dissertação			



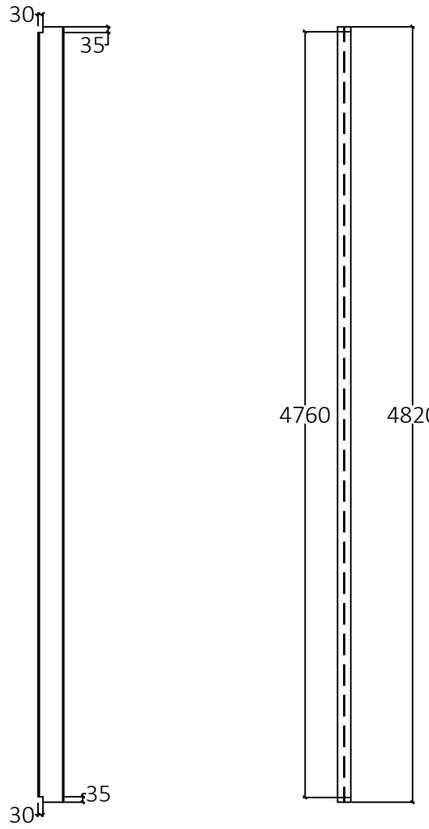
Ref:	Quant.	Descrição
M1	28	Perfil IPE120

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação						Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
		1º Peça	Última	1º Peça	Última					S275JR	5054	016/037
										Desenhou Bruna Sousa	Norma EN1090 - 2	Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
	Data											
	Nº Operador											
	Quantidade Fabricada											
Correcção	Soma Quantidade									Nº Desenho: 16	Obra nº Dissertação	



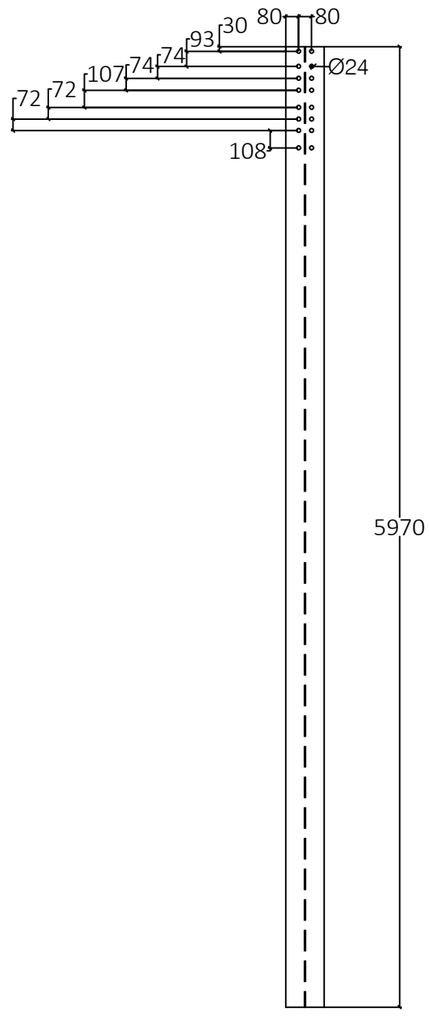
Ref:	Quant.	Descrição
M2	56	Perfil IPE160

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação					Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
		1º Peça	Última	1º Peça	Última				S275JR	4993	017/037
									Desenhou Bruna Sousa	Norma EN1090 - 2	Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
Correcção	Data										
	Nº Operador										
	Quantidade Fabricada										
	Soma Quantidade								Nº Desenho: 17	Obra nº Dissertação	



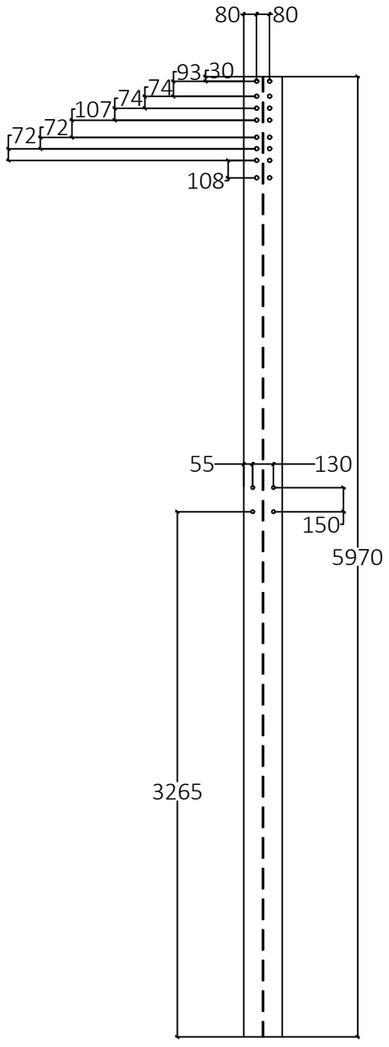
Ref:	Quant.	Descrição
M3	24	Perfil IPE160

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação					Material S275JR	Comp. (mm) 4820	Nº Folha: 018/037
		1º Peça	Última	1º Peça	Última						
									Desenhou Bruna Sousa	Norma EN1090 - 2	Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
Correcção	Data										
	Nº Operador										
	Quantidade Fabricada										
	Soma Quantidade								Nº Desenho: 18	Obra nº Dissertação	



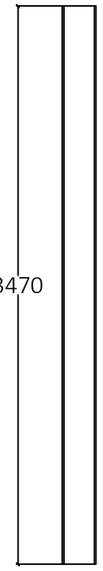
Ref:	Quant.	Descrição
P1	11	Perfil HEA240

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação					Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
		1º Peça	Última	1º Peça	Última				S275JR	5970	008/037
									Desenhou Bruna Sousa	Norma EN1090 - 2	Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
	Data										
	Nº Operador										
	Quantidade Fabricada										
Correcção	Soma Quantidade								Nº Desenho: 8	Obra nº Dissertação	



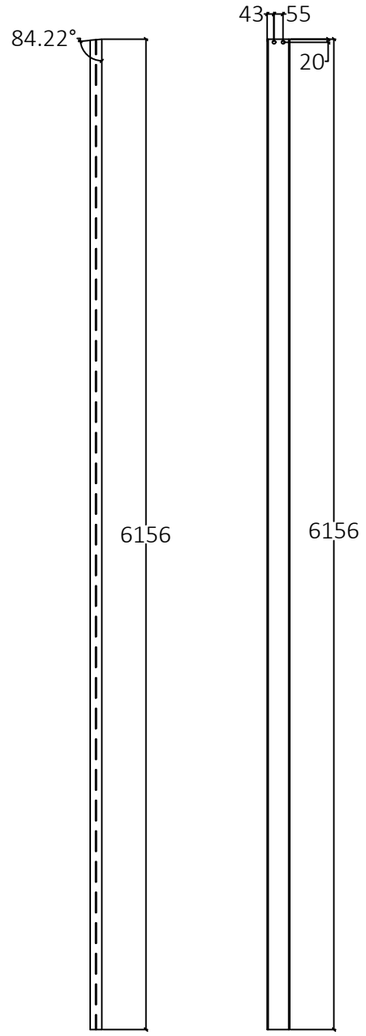
Ref:	Quant.	Descrição
P2	3	Perfil HEA240

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação					Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
		1º Peça	Última	1º Peça	Última				S275JR	5970	009/037
									Desenhou Bruna Sousa	Norma EN1090 - 2	Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
	Data										
	Nº Operador										
	Quantidade Fabricada										
Correcção	Soma Quantidade								Nº Desenho: 9	Obra nº Dissertação	



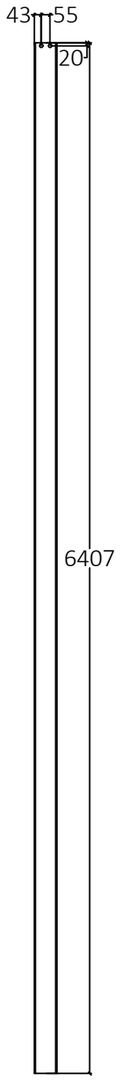
Ref:	Quant.	Descrição
P3	3	Perfil HEA220

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação						Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
		1º Peça	Última	1º Peça	Última					S275JR	3470	010/037
										Desenhou Bruna Sousa	Norma EN1090 - 2	Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
Correcção	Data											
	Nº Operador											
	Quantidade Fabricada											
	Soma Quantidade									Nº Desenho: 10	Obra nº Dissertação	



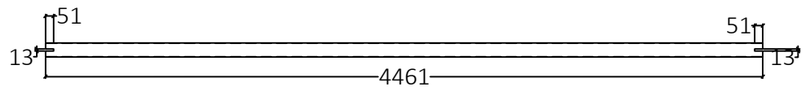
Ref:	Quant.	Descrição
P4	4	Perfil IPE140

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme	Operador: _____	Corte		Furação					Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
		1º Peça	Última	1º Peça	Última				S275JR	6156	014/037
Correcção	Controlo								Desenhou Bruna Sousa	Norma EN1090 - 2	Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
	Data										
	Nº Operador										
	Quantidade Fabricada										
	Soma Quantidade								Nº Desenho: 14	Obra nº Dissertação	



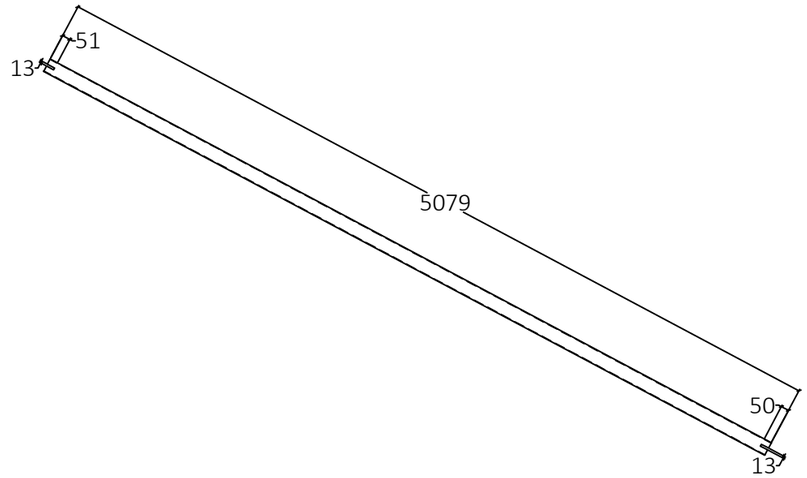
Ref:	Quant.	Descrição
P5	2	Perfil IPE140

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação					Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
		1º Peça	Última	1º Peça	Última				S275JR	6407	015/037
									Desenhou Bruna Sousa	Norma EN1090 - 2	Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
Correcção	Data										
	Nº Operador										
	Quantidade Fabricada										
	Soma Quantidade								Nº Desenho: 15	Obra nº Dissertação	



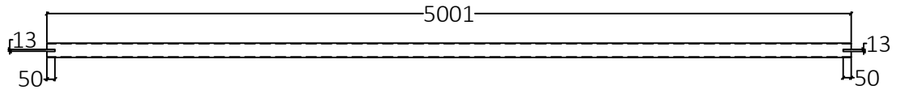
Ref:	Quant.	Descrição
TB1	12	Tubo 88x2.5mm

Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação					Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
		1º Peça	Última	1º Peça	Última				S275JR	4461	011/037
									Desenhou Bruna Sousa	Norma EN1090 - 2	Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
Correcção	Data										
	Nº Operador										
	Quantidade Fabricada										
	Soma Quantidade								Nº Desenho: 11	Obra nº Dissertação	



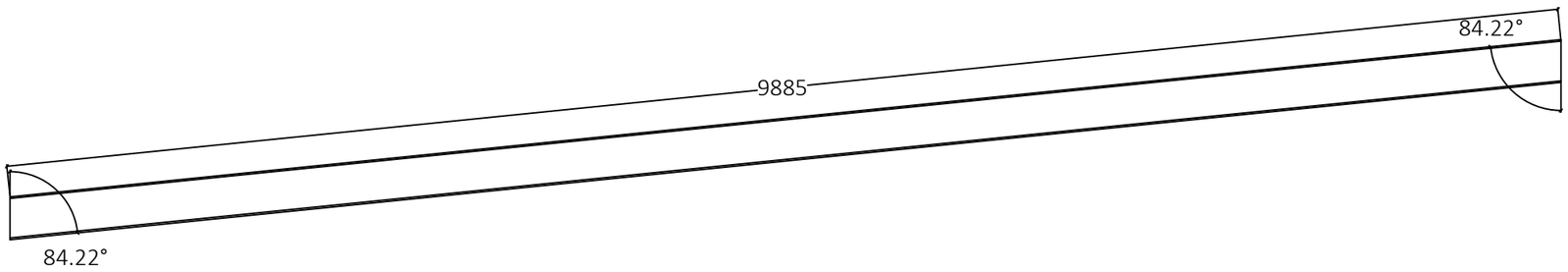
Ref:	Quant.	Descrição
TB2	8	Tubo 88x2.5mm

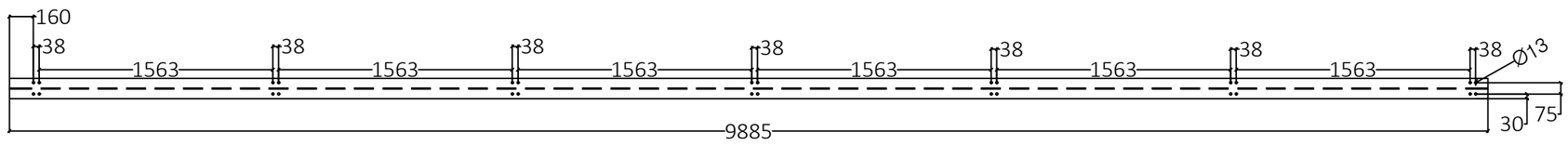
Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação						Material: S275JR	Comp. (mm): 5079	Nº Folha: 012/037
		1º Peça	Última	1º Peça	Última							
										Desenhou: Bruna Sousa	Norma EN1090 - 2	Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
Correcção	Data											
	Nº Operador									Nº Desenho: 12	Obra nº Dissertação	
	Quantidade Fabricada											
	Soma Quantidade											



Ref:	Quant.	Descrição
TB3	16	Tubo 88x2.5mm

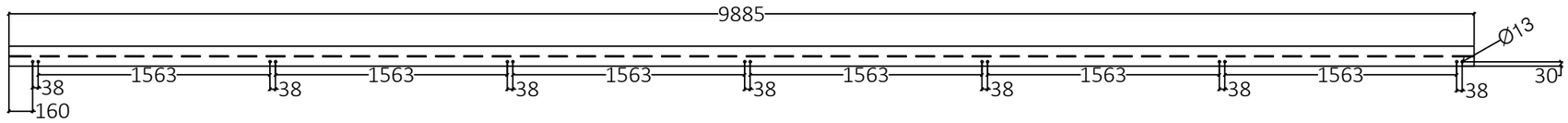
Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação					Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
		1º Peça	Última	1º Peça	Última				S275JR	5001	013/037
									Desenhou Bruna Sousa	Norma EN1090 - 2	Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
Correcção	Data										
	Nº Operador										
	Quantidade Fabricada										
	Soma Quantidade								Nº Desenho: 13	Obra nº Dissertação	

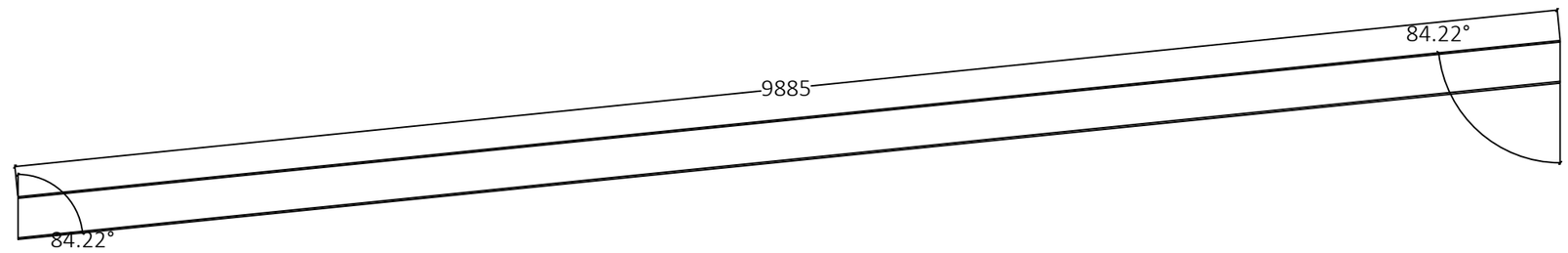




Ref:	Quant.	Descrição
V1	10	Perfil IPE270

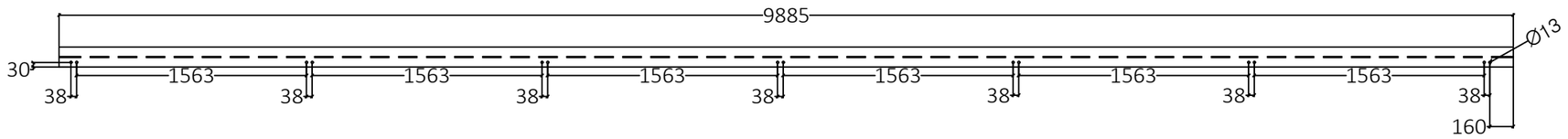
Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação					Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
		1º Peça	Última	1º Peça	Última				S275JR	9885	001/037
									Desenhou Bruna Sousa		Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
	Data										
	Nº Operador									Norma EN1090 - 2	
Correcção	Quantidade Fabricada										
	Soma Quantidade								Nº Desenho: 1	Obra nº Dissertação	

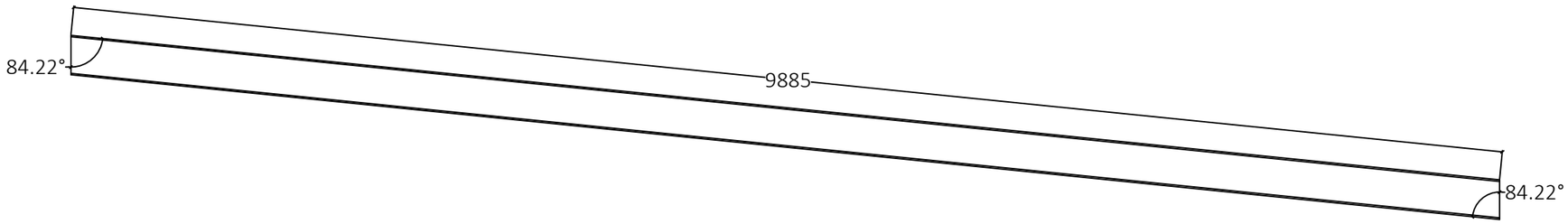




Ref:	Quant.	Descrição
V2.1	2	Perfil IPE270

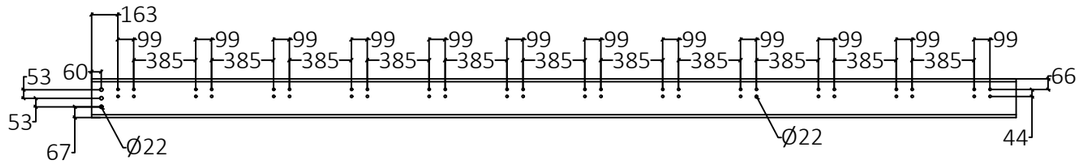
Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme	Operador: _____	Corte		Furação						Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
		1º Peça	Última	1º Peça	Última					S275JR	9885	002/037
Correcção	Controlo									Desenhou Bruna Sousa		Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
	Data										Norma EN1090 - 2	
	Nº Operador											
	Quantidade Fabricada											
	Soma Quantidade									Nº Desenho: 2	Obra nº Dissertação	

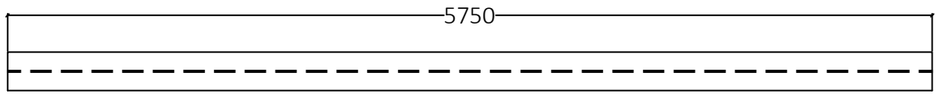




Ref:	Quant.	Descrição
V2.2	2	Perfil IPE270

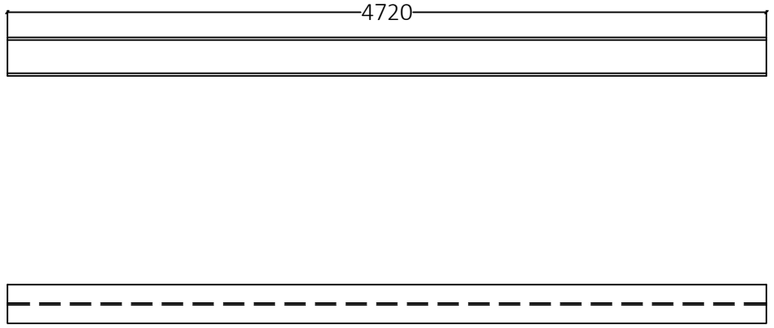
Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação					Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
		1º Peça	Última	1º Peça	Última				S275JR	9885	003/037
									Desenhou Bruna Sousa		Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
Correcção	Data									Norma EN1090 - 2	
	Nº Operador										
	Quantidade Fabricada										
	Soma Quantidade								Nº Desenho: 3	Obra nº Dissertação	





Ref:	Quant.	Descrição
V3	3	Perfil HEB240

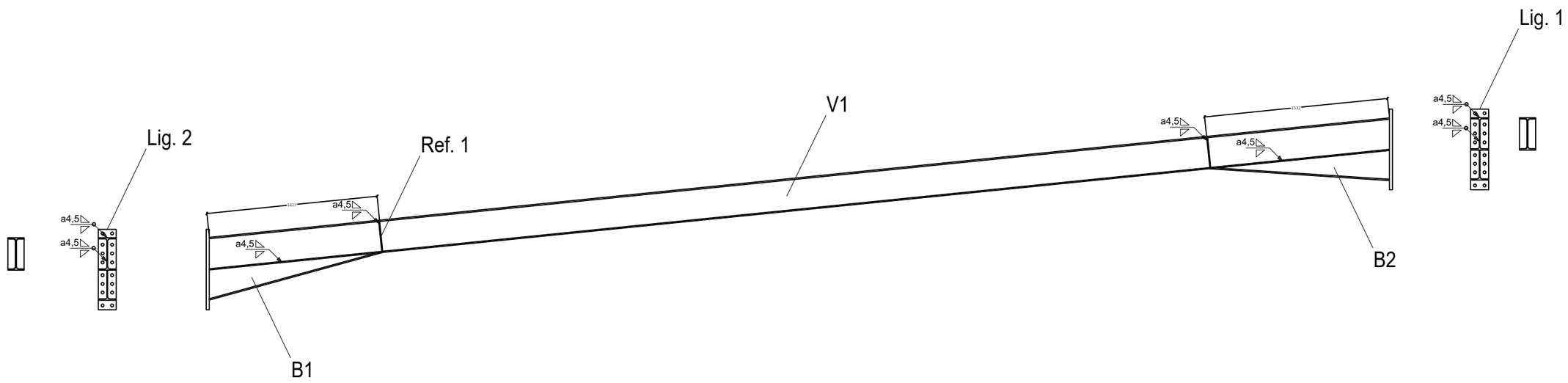
Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação					Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
		1º Peça	Última	1º Peça	Última				S275JR	5750	006/037
									Desenhou Bruna Sousa	Norma EN1090 - 2	Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐
Correcção	Data										
	Nº Operador										
	Quantidade Fabricada										
	Soma Quantidade								Nº Desenho: 6	Obra nº Dissertação	



Ref:	Quant.	Descrição
V4	4	Perfil HEB240

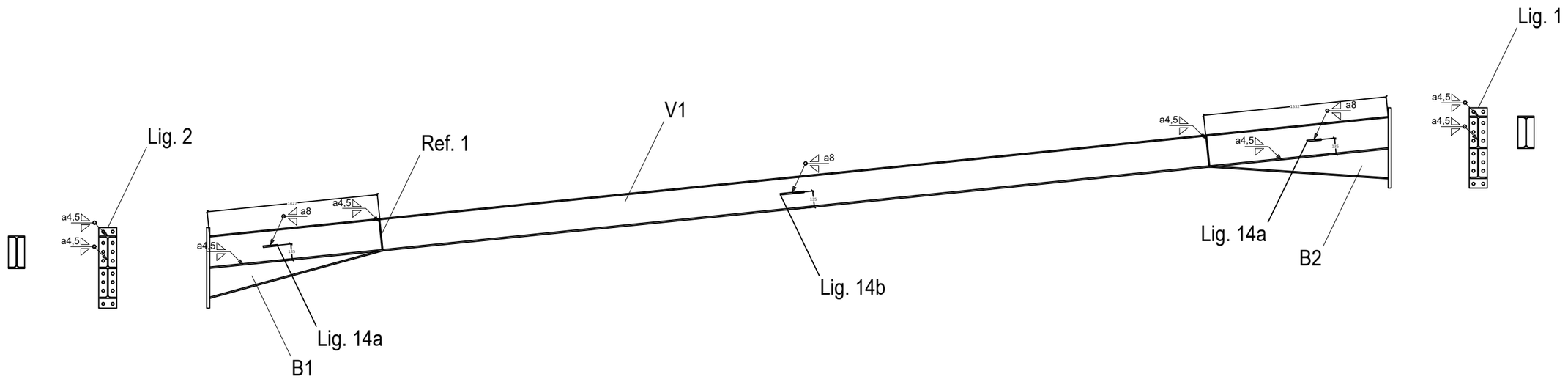
Tolerância Geral	Operador:	Corte		Furação						Material	Comp. (mm)	Nº Folha:
< 500 +- 1		1º Peça	Última	1º Peça	Última					S275JR	4720	007/037
<8000 +- 3	_____											
<12000 +- 4	Controlo									Desenhou		Desenhos ☐
<16000 +- 6	Data									Bruna Sousa		Soldadura ☐
<=16000 +- 8	Nº Operador											Inspeção ☐
☐ - Conforme	Quantidade Fabricada										Norma EN1090 - 2	Corte ☐
☐ - Não Conforme	Soma Quantidade									Nº Desenho: 7	Obra nº Dissertação	Furação ☐
Correcção												Quinagem ☐
												_____ ☐

Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
V1	6	IPE270
Ref. 1	24	Barra 60x8 mm
B1	6	IPE270
B2	6	IPE270
Lig. 1	6	Chapa 25 mm
Lig. 2	6	Chapa 25 mm



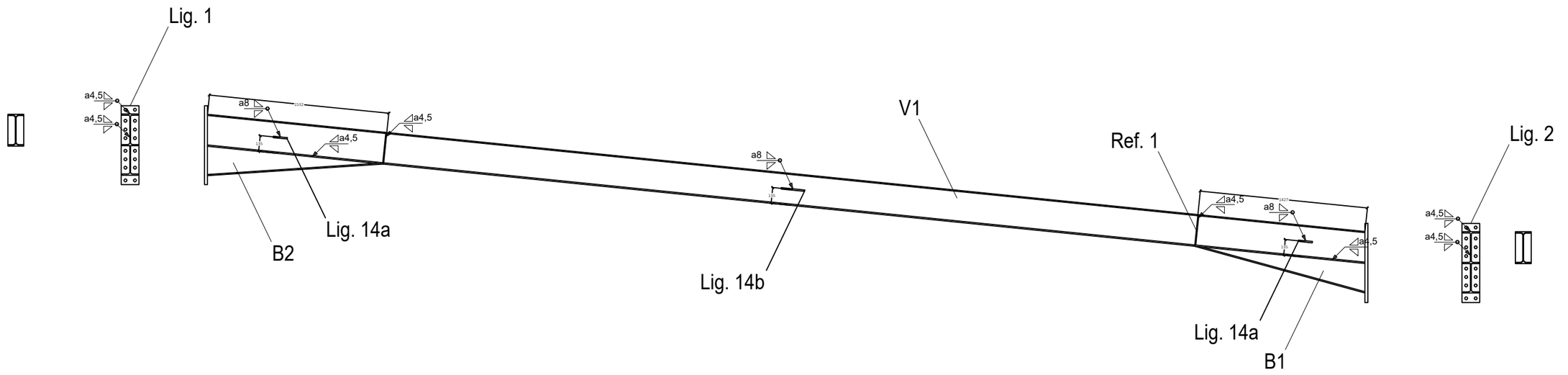
Tolerância Geral	Operador:	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar		Comentários	Material	Norma EN1090 - 2		Nº Folha:
< 500 +- 1	_____	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR			001/024
<8000 +- 3	Controlo												Desenhou	Bruna Sousa		Desenhos ☐
<12000 +- 4	Data												Verificou			Soldadura ☐
<16000 +- 6	Nº Operador												Designação			Inspeção ☐
<=16000 +- 8	Quantidade Fabricada															Corte ☐
☐ - Conforme	Soma Quantidade												Nº Desenho : 1		Obra nº Dissertação	Furação ☐
☐ - Não Conforme																Quinagem ☐
Correcção																_____ ☐

Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
V1	2	IPE270
Ref. 1	8	Barra 60x8 mm
B1	2	IPE270
B2	2	IPE270
Lig. 1	2	Chapa 25 mm
Lig. 2	2	Chapa 25 mm
Lig. 14a	4	Barra 120x12 mm
Lig. 14b	2	Barra 200x12 mm



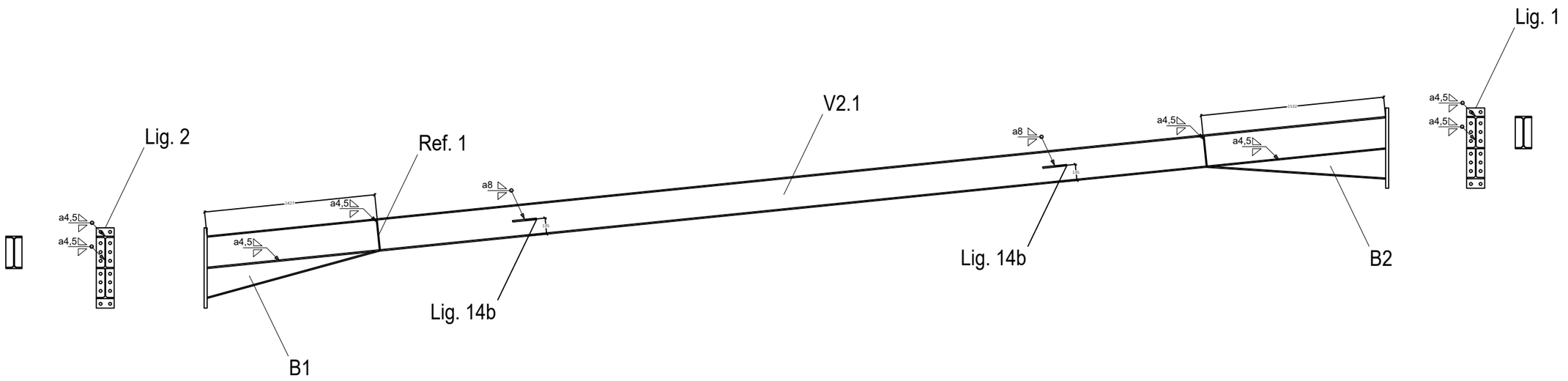
Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme	Operador: _____	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar		Comentários	Material	Norma EN1090 - 2		Nº Folha:	
		1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR			002/024	
Correcção	Controlo												Desenhou	Bruna Sousa		Desenhos ☐	
	Data												Verificou			Soldadura ☐ Inspeção ☐	
	Nº Operador												Designação			Corte ☐ Furação ☐	
	Quantidade Fabricada															Quinagem ☐	
	Soma Quantidade												Nº Desenho : 2		Obra nº Dissertação	_____ ☐	

Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
V1	2	IPE270
Ref. 1	8	Barra 60x8 mm
B1	2	IPE270
B2	2	IPE270
Lig. 1	2	Chapa 25 mm
Lig. 2	2	Chapa 25 mm
Lig. 14a	4	Barra 120x12 mm
Lig. 14b	2	Barra 200x12 mm



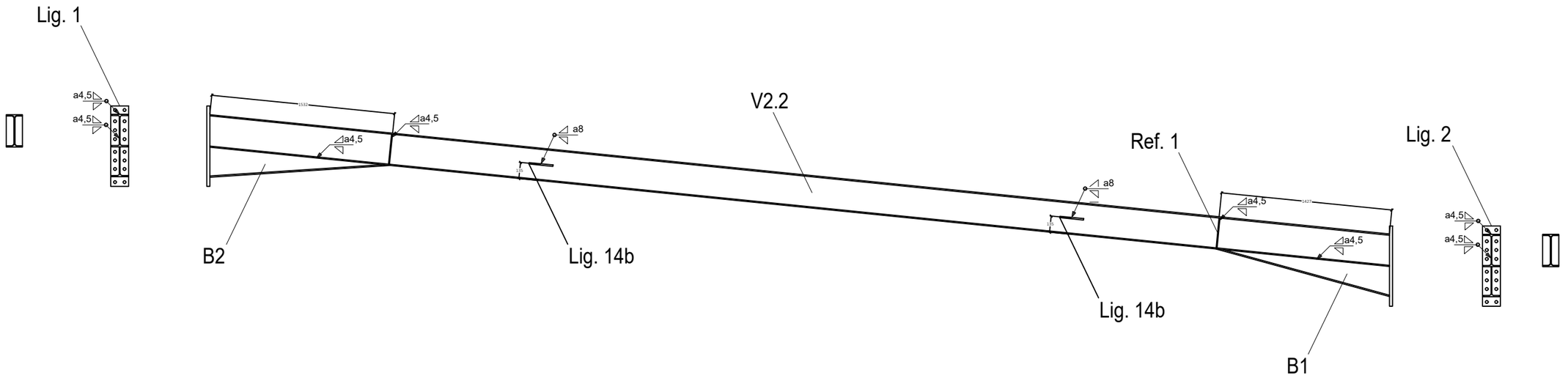
Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme Correcção	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar		Comentários	Material	Norma EN1090 - 2		Nº Folha:	
		1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR			003/024	
													Desenhou	Bruna Sousa		Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐	
	Data												Verificou				
	Nº Operador												Designação				
	Quantidade Fabricada												Nº Desenho : 3		Obra nº Dissertação		
	Soma Quantidade																

Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
V2.1	2	IPE270
Ref. 1	8	Barra 60x8 mm
B1	2	IPE270
B2	2	IPE270
Lig. 1	2	Chapa 25 mm
Lig. 2	2	Chapa 25 mm
Lig. 14b	4	Barra 200x12 mm



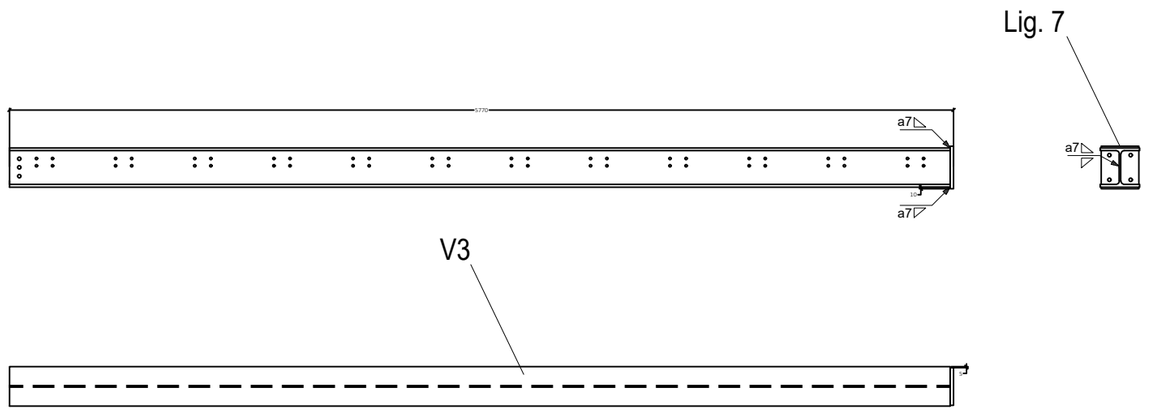
Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme	Operador: _____	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar		Comentários	Material	Norma EN1090 - 2		Nº Folha:	
		1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR			004/024	
Correcção	Controlo												Desenhou	Bruna Sousa		Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐	
	Data												Verificou				
	Nº Operador												Designação				
	Quantidade Fabricada												Nº Desenho : 4		Obra nº Dissertação		
	Soma Quantidade																

Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
V2.2	2	IPE270
Ref. 1	8	Barra 60x8 mm
B1	2	IPE270
B2	2	IPE270
Lig. 1	2	Chapa 25 mm
Lig. 2	2	Chapa 25 mm
Lig. 14b	4	Barra 200x12 mm



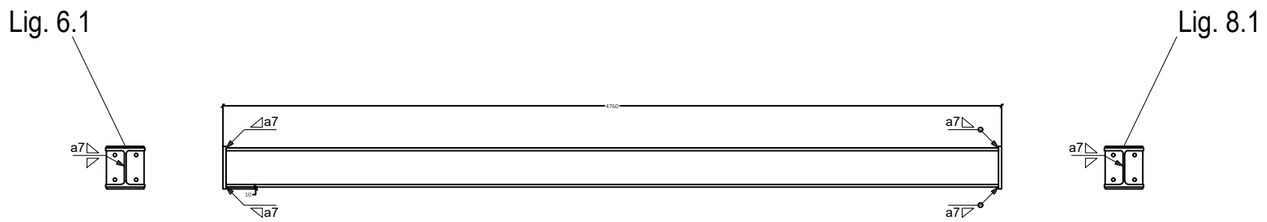
Tolerância Geral	Operador:	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar		Comentários	Material	Norma EN1090 - 2		Nº Folha:
< 500 +- 1	_____	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR			005/024
<8000 +- 3	Controlo												Desenhou	Bruna Sousa		Desenhos ☐
<12000 +- 4	Data												Verificou			Soldadura ☐
<16000 +- 6	Nº Operador												Designação			Inspeção ☐
<=16000 +- 8	Quantidade Fabricada															Corte ☐
☐ - Conforme	Soma Quantidade												Nº Desenho : 5		Obra nº Dissertação	Furação ☐
☐ - Não Conforme																Quinagem ☐
Correcção																_____ ☐

Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
V3	3	HEB240
Lig. 7	3	Barra 260x20 mm

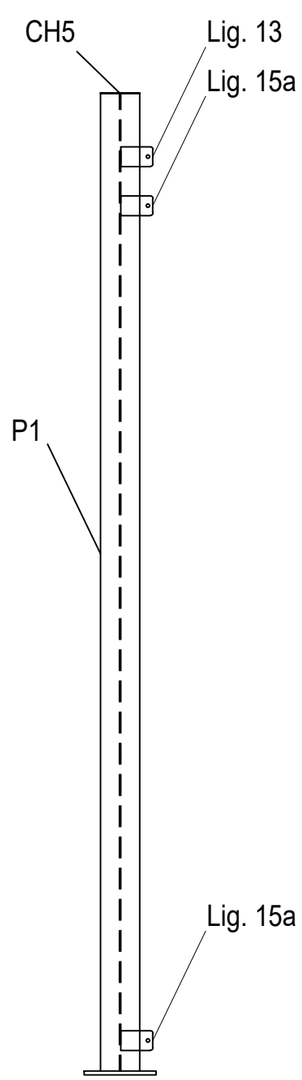


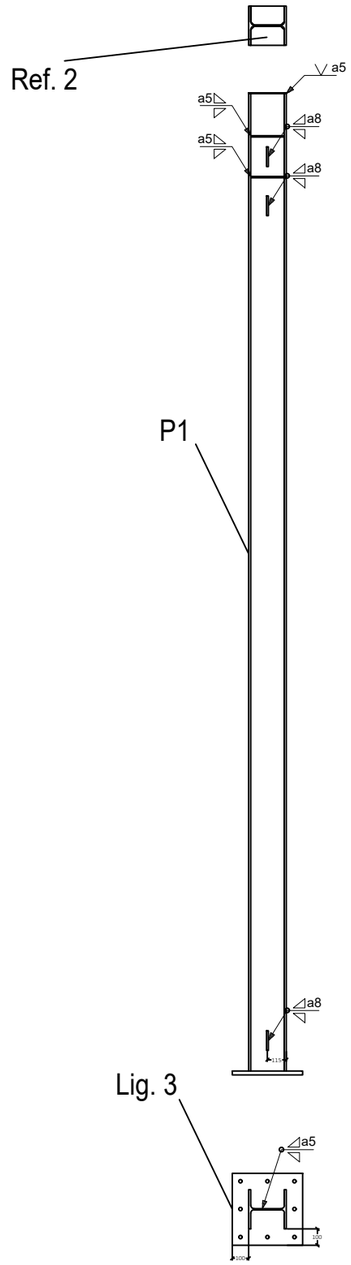
Tolerância Geral	Operador:	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar		Comentários	Material	Norma EN1090 - 2		Nº Folha:
< 500 +- 1	_____	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR			006/024
<8000 +- 3	Controlo												Desenhou	Bruna Sousa		Desenhos ☐
<12000 +- 4	Data												Verificou			Soldadura ☐
<16000 +- 6	Nº Operador												Designação			Inspeção ☐
<=16000 +- 8	Quantidade Fabricada															Corte ☐
☐ - Conforme	Soma Quantidade												Nº Desenho : 6		Obra nº Dissertação	Furação ☐
☐ - Não Conforme																Quinagem ☐
Correcção																_____ ☐

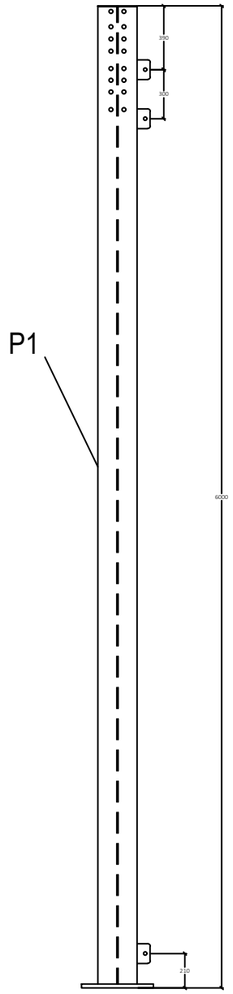
Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
V4	4	HEB240
Lig. 6.1	4	Barra 260x20 mm
Lig. 8.1	4	Barra 260x20 mm



Tolerância Geral	Operador:	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar		Comentários	Material	Norma EN1090 - 2		Nº Folha:
< 500 +- 1		1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR			007/024
<8000 +- 3	Controlo												Desenhou	Bruna Sousa		Desenhos ☐
<12000 +- 4	Data												Verificou			Soldadura ☐
<16000 +- 6	Nº Operador												Designação			Inspeção ☐
<=16000 +- 8	Quantidade Fabricada															Corte ☐
☐ - Conforme	Soma Quantidade												Nº Desenho : 7		Obra nº Dissertação	Furação ☐
☐ - Não Conforme																Quinagem ☐
Correcção																_____ ☐







Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
P1	2	HEA240
Lig. 3	2	Chapa 25 mm
Lig. 13	2	Barra 120x12 mm
Lig. 15a	4	Barra 120x12 mm
Ref. 2	8	Barra 70x8 mm
CH5	2	Chapa 5 mm

Tolerância Geral
< 500 +- 1
<8000 +- 3
<12000 +- 4
<16000 +- 6
<=16000 +- 8

☐ - Conforme
☐ - Não Conforme

Correcção

Operador: _____

Controlo

	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar	
	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última
Data										
Nº Operador										
Quantidade Fabricada										
Soma Quantidade										

Comentários

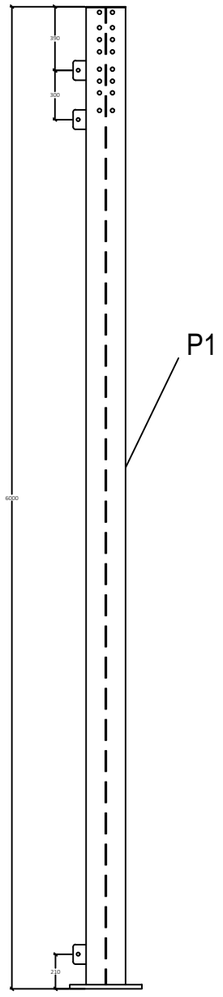
Material: S275JR

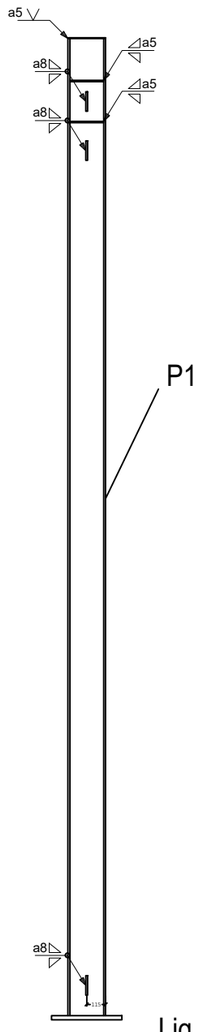
Norma EN1090 - 2

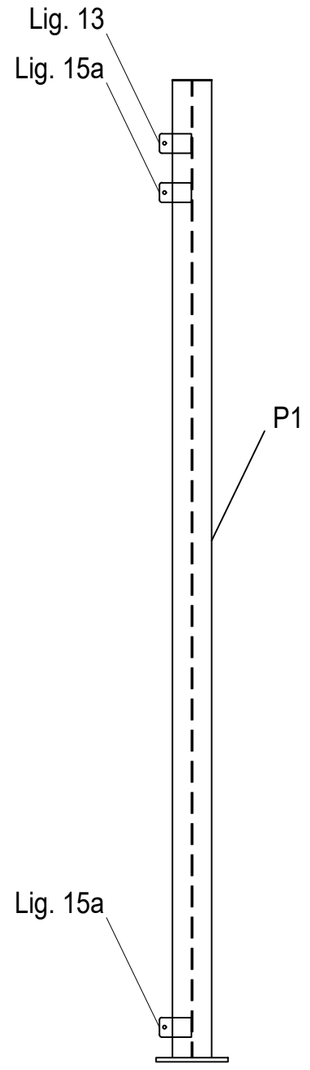
Nº Folha: 008/024

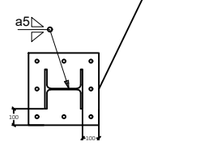
Desenhou	Bruna Sousa	
Verificou		
Designação		
Nº Desenho : 8		Obra nº Dissertação

Desenhos ☐
Soldadura ☐
Inspeção ☐
Corte ☐
Furação ☐
Quinagem ☐
_____ ☐









Assemblagem

Ref:	Quant.	Descrição
P1	2	HEA240
Lig. 3	2	Chapa 25 mm
Lig. 13	2	Barra 120x12 mm
Lig. 15a	4	Barra 120x12 mm
Ref. 2	8	Barra 70x8 mm
CH5	2	Chapa 5 mm

Tolerância Geral
< 500 +- 1
<8000 +- 3
<12000 +- 4
<16000 +- 6
<=16000 +- 8

☐ - Conforme
☐ - Não Conforme

Correcção

Operador: _____

Controlo

	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar	
	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última
Data										
Nº Operador										
Quantidade Fabricada										
Soma Quantidade										

Comentários

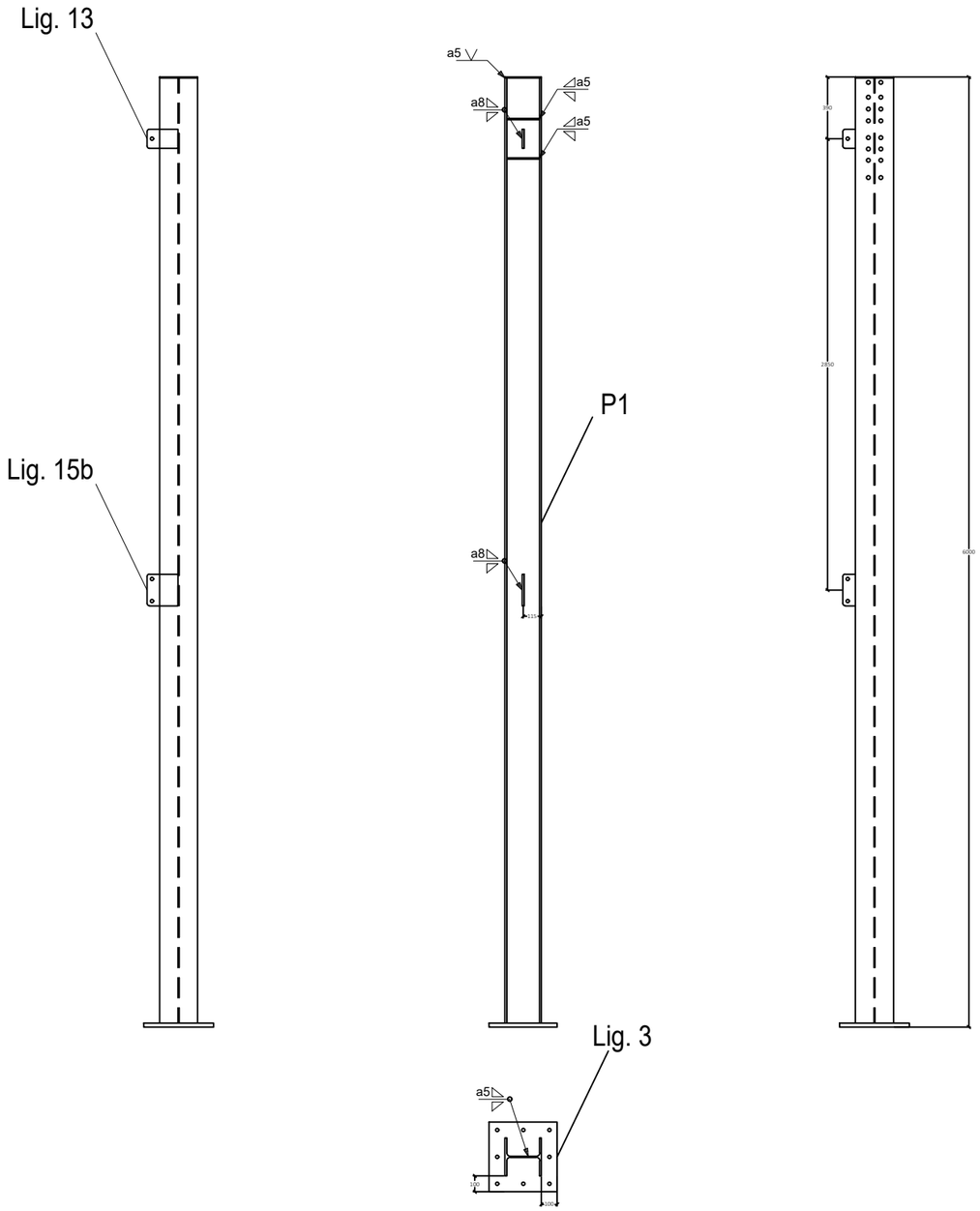
Material: S275JR

Norma EN1090 - 2

Nº Folha: 009/024

Desenhou	Bruna Sousa	
Verificou		
Designação		
Nº Desenho : 9		Obra nº Dissertação

Desenhos ☐
Soldadura ☐
Inspeção ☐
Corte ☐
Furação ☐
Quinagem ☐
_____ ☐



Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
P1	2	HEA240
Lig. 3	2	Chapa 25 mm
Lig. 13	2	Barra 120x12 mm
Lig. 15b	2	Barra 120x12 mm
Ref. 2	8	Barra 70x8 mm
CH5	2	Chapa 5 mm

Tolerância Geral
< 500 +- 1
<8000 +- 3
<12000 +- 4
<16000 +- 6
<=16000 +- 8

☐ - Conforme
☐ - Não Conforme

Correcção

Operador: _____

Controlo

Data

Nº Operador

Quantidade Fabricada

Soma Quantidade

	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar	
	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última
Controlo										
Data										
Nº Operador										
Quantidade Fabricada										
Soma Quantidade										

Comentários

Material: S275JR

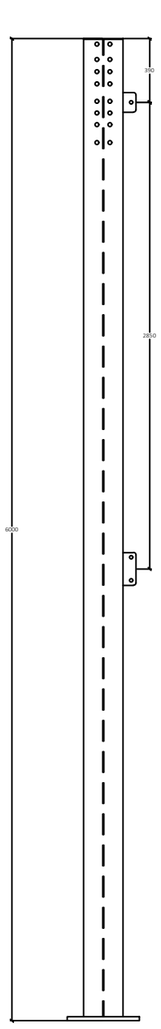
Norma EN1090 - 2

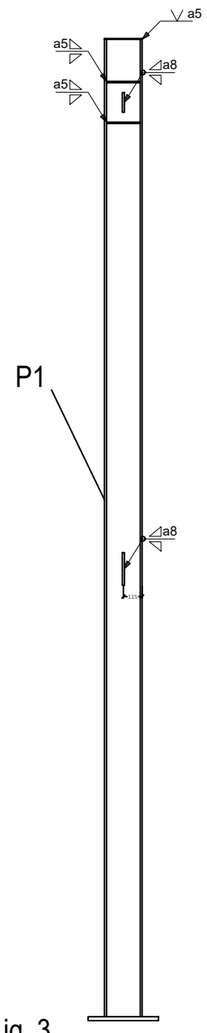
Nº Folha: 010/024

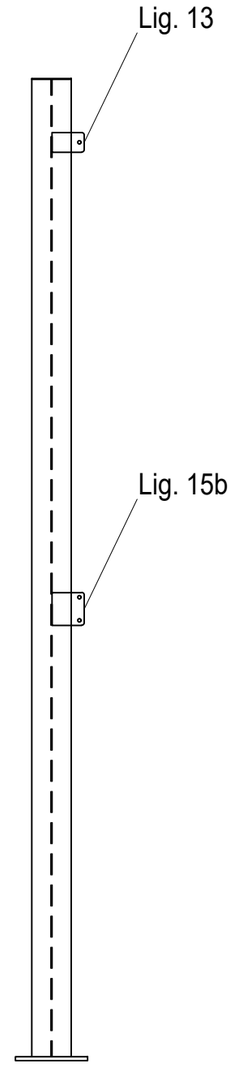
Desenhou	Bruna Sousa	
Verificou		
Designação		
Nº Desenho : 10		Obra nº Dissertação

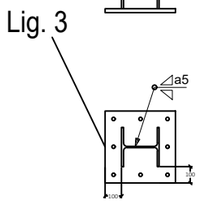
Desenhos ☐
Soldadura ☐
Inspeção ☐
Corte ☐
Furação ☐
Quinagem ☐
_____ ☐

Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
P1	2	HEA240
Lig. 3	2	Chapa 25 mm
Lig. 13	2	Barra 120x12 mm
Lig. 15b	2	Barra 120x12 mm
Ref. 2	8	Barra 70x8 mm
CH5	2	Chapa 5 mm

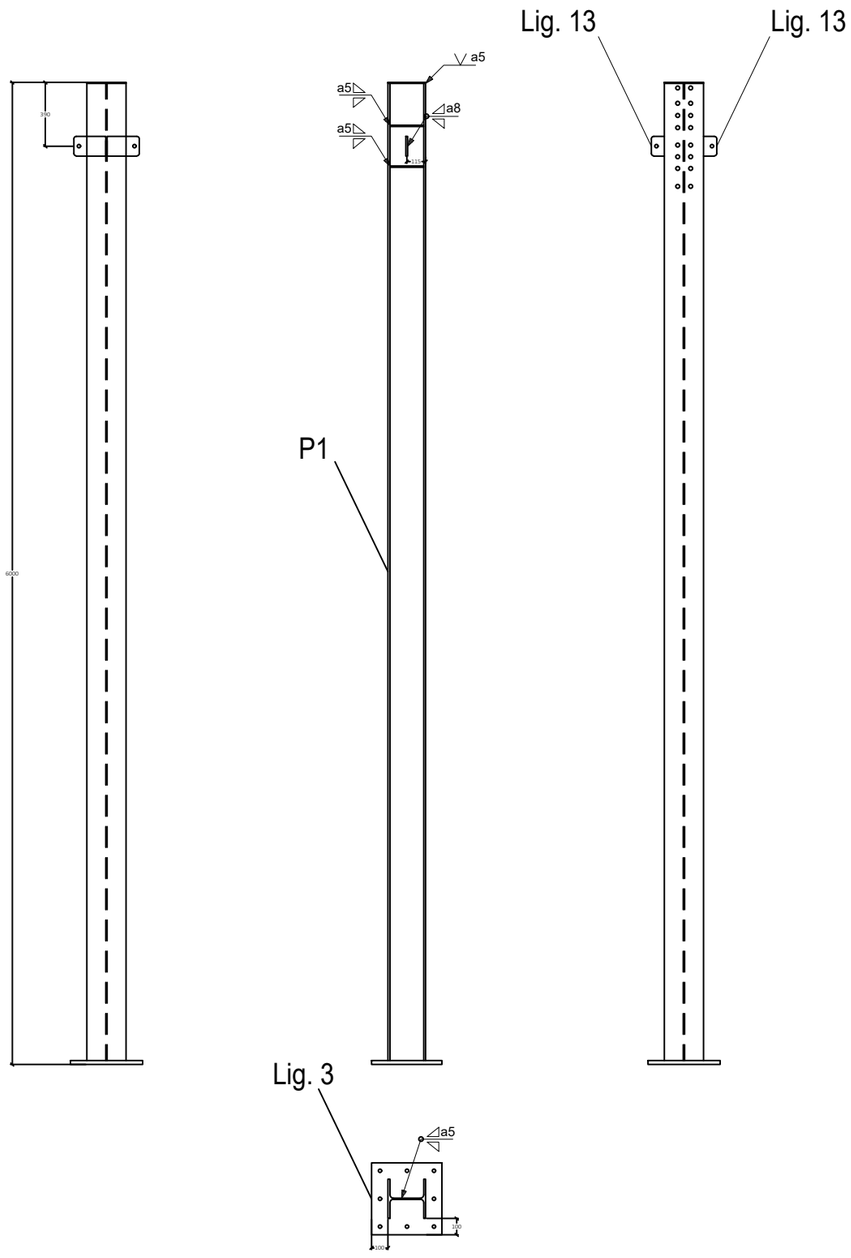






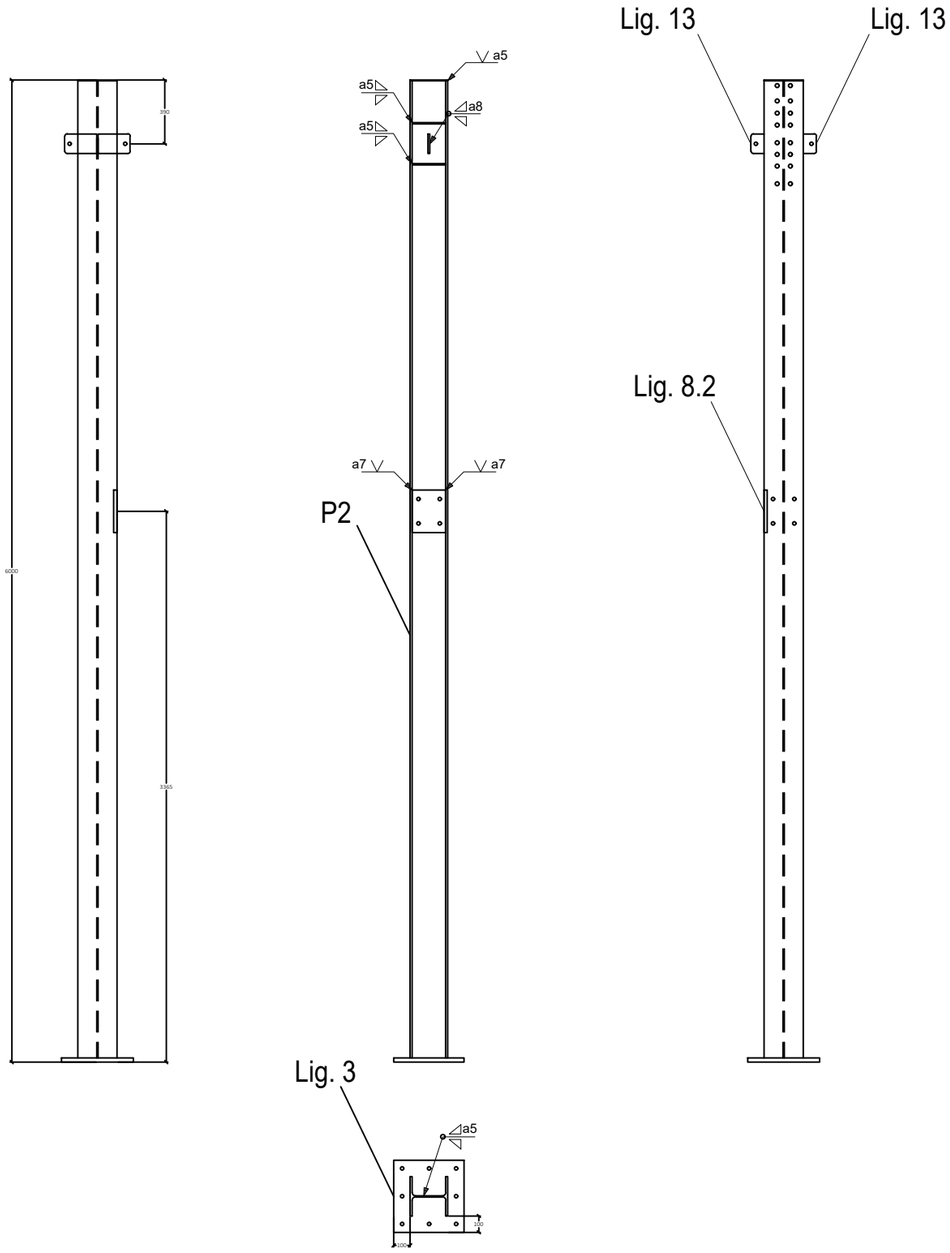


Tolerância Geral	Operador:	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar		Comentários	Material	Norma EN1090 - 2		Nº Folha:
< 500 +- 1		1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR			011/024
<8000 +- 3	_____												Desenhou	Bruna Sousa		Desenhos ☐
<12000 +- 4	Controlo												Verificou			Soldadura ☐
<16000 +- 6	Data												Designação			Inspeção ☐
<=16000 +- 8	Nº Operador															Corte ☐
☐ - Conforme	Quantidade Fabricada															Furação ☐
☐ - Não Conforme	Soma Quantidade												Nº Desenho : 11		Obra nº Dissertação	Quinagem ☐
Correcção																_____ ☐



Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
P1	3	HEA240
Lig. 3	3	Chapa 25 mm
Lig. 13	6	Barra 120x12 mm
Ref. 2	12	Barra 70x8 mm
CH5	3	Chapa 5 mm

Tolerância Geral	Operador:	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar		Comentários	Material	Norma EN1090 - 2		Nº Folha:
< 500 +- 1		1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR			012/024
<8000 +- 3	Controlo												Desenhou	Bruna Sousa		Desenhos ☐
<12000 +- 4	Data												Verificou			Soldadura ☐
<16000 +- 6	Nº Operador												Designação			Inspeção ☐
<=16000 +- 8	Quantidade Fabricada															Corte ☐
☐ - Conforme	Soma Quantidade												Nº Desenho : 12		Obra nº Dissertação	Furação ☐
☐ - Não Conforme																Quinagem ☐
Correcção																_____ ☐



Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
P2	1	HEA240
Lig. 3	1	Chapa 25 mm
Lig. 13	2	Barra 120x12 mm
Ref. 2	4	Barra 70x8 mm
CH5	1	Chapa 5 mm
Lig. 8.2	1	Barra 260x20 mm

Tolerância Geral
< 500 +- 1
<8000 +- 3
<12000 +- 4
<16000 +- 6
<=16000 +- 8

☐ - Conforme
☐ - Não Conforme

Correcção

Operador: _____

Controlo

Data

Nº Operador

Quantidade Fabricada

Soma Quantidade

	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar	
	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última
Controlo										
Data										
Nº Operador										
Quantidade Fabricada										
Soma Quantidade										

Comentários

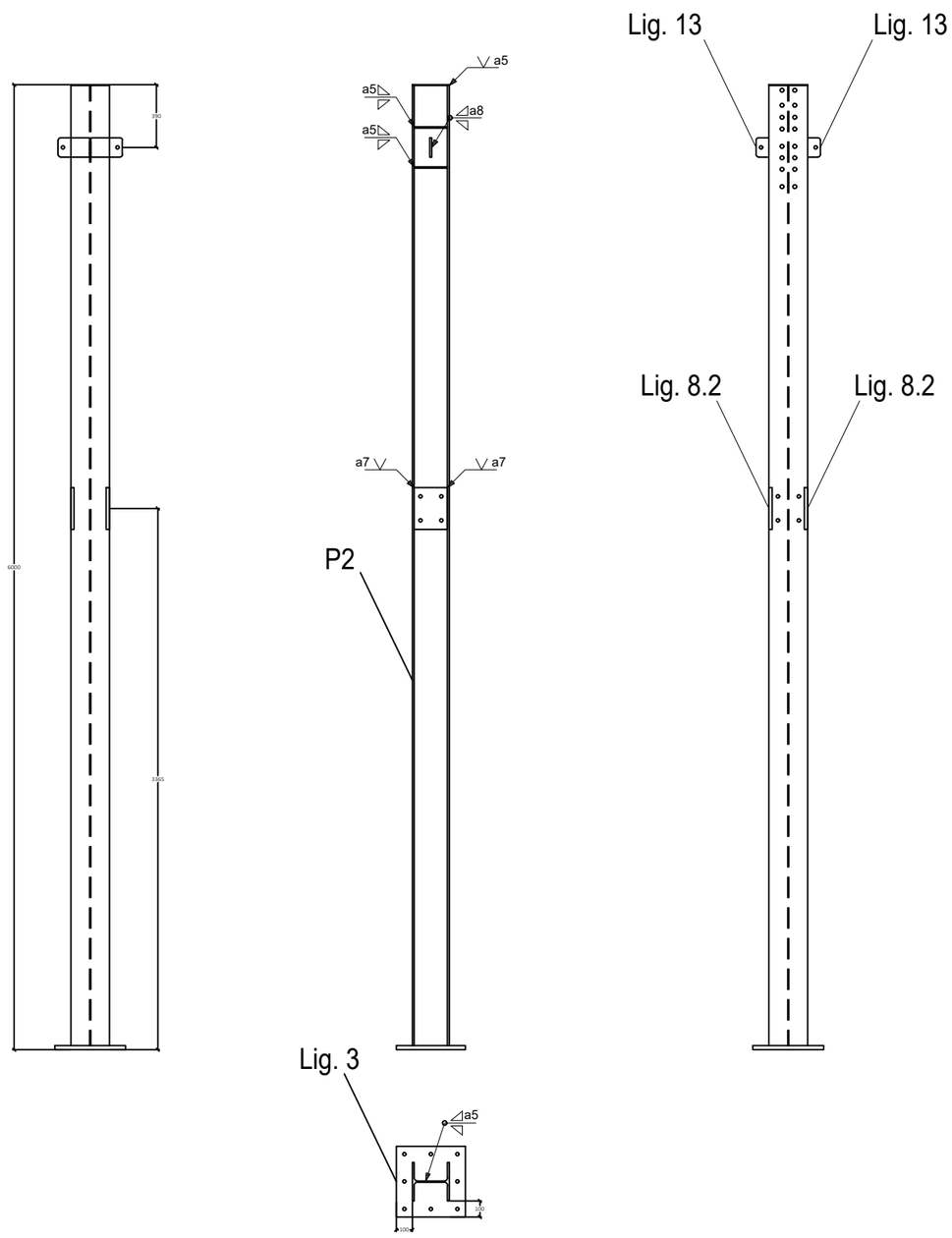
Material: S275JR

Norma EN1090 - 2

Nº Folha: 013/024

Desenhou	Bruna Sousa	
Verificou		
Designação		
Nº Desenho : 13		Obra nº Dissertação

Desenhos ☐
Soldadura ☐
Inspeção ☐
Corte ☐
Furação ☐
Quinagem ☐
_____ ☐



Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
P2	1	HEA240
Lig. 3	1	Chapa 25 mm
Lig. 13	2	Barra 120x12 mm
Ref. 2	4	Barra 70x8 mm
CH5	1	Chapa 5 mm
Lig. 8.2	2	Barra 260x20 mm

Tolerância Geral
< 500 +- 1
<8000 +- 3
<12000 +- 4
<16000 +- 6
<=16000 +- 8

☐ - Conforme
☐ - Não Conforme

Correcção

Operador: _____

Controlo

	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar	
	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última
Data										
Nº Operador										
Quantidade Fabricada										
Soma Quantidade										

Comentários

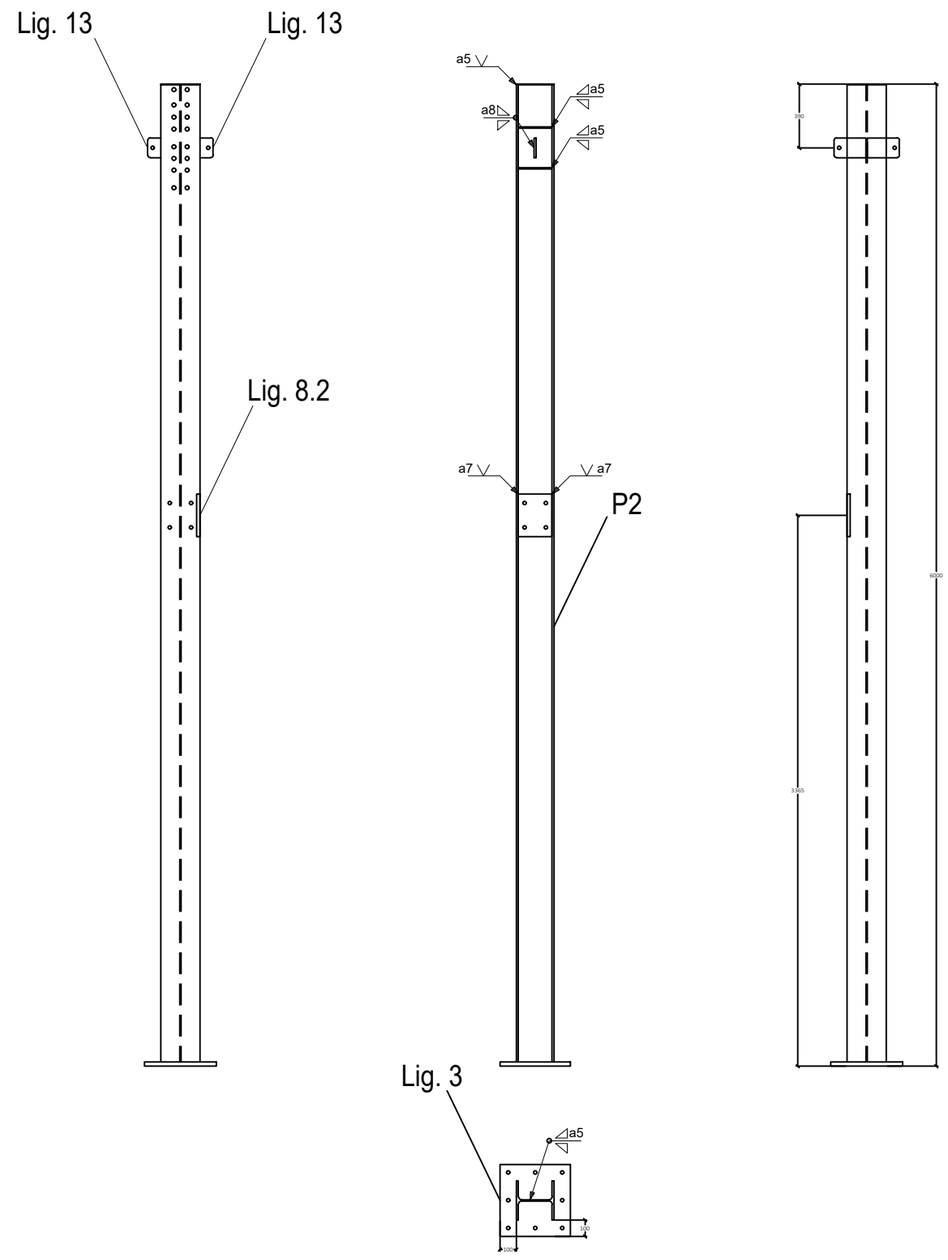
Material: S275JR

Norma EN1090 - 2

Nº Folha: 014/024

Desenhou	Bruna Sousa	
Verificou		
Designação		
Nº Desenho : 14		Obra nº Dissertação

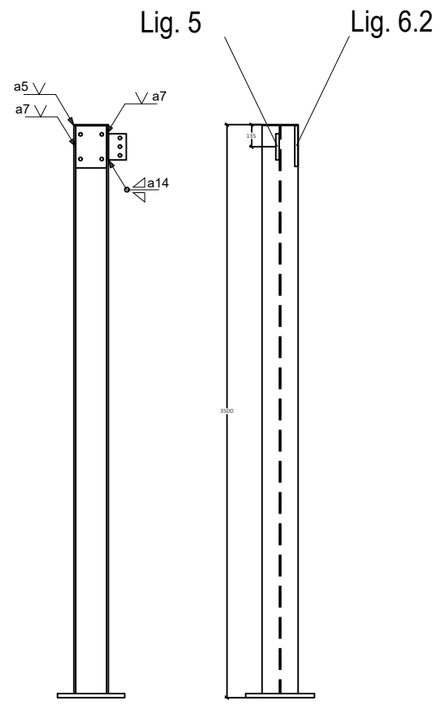
Desenhos ☐
Soldadura ☐
Inspeção ☐
Corte ☐
Furação ☐
Quinagem ☐
_____ ☐

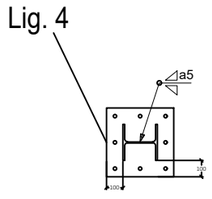


Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
P2	1	HEA240
Lig. 3	1	Chapa 25 mm
Lig. 13	2	Barra 120x12 mm
Ref. 2	4	Barra 70x8 mm
CH5	1	Chapa 5 mm
Lig. 8.2	1	Barra 260x20 mm

Tolerância Geral	Operador:	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar		Comentários	Material	Norma EN1090 - 2		Nº Folha:
< 500 +- 1		1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR			015/024
<8000 +- 3													Desenhou	Bruna Sousa		Desenhos ☐
<12000 +- 4	Controlo												Verificou			Soldadura ☐
<16000 +- 6	Data												Designação			Inspeção ☐
<=16000 +- 8	Nº Operador															Corte ☐
☐ - Conforme	Quantidade Fabricada															Furação ☐
☐ - Não Conforme	Soma Quantidade												Nº Desenho : 15		Obra nº Dissertação	Quinagem ☐
Correcção																_____ ☐

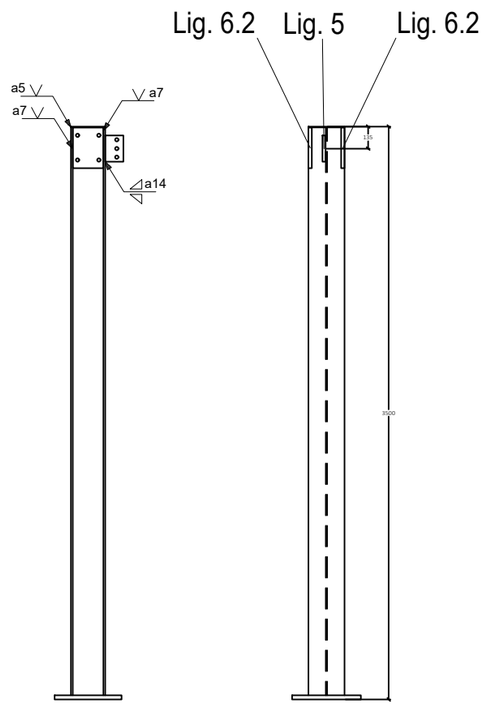
Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
P3	1	HEA220
Lig. 4	1	Chapa 25 mm
Lig. 6.2	1	Barra 260x20 mm
Lig. 5	1	Barra 160x20 mm
CH5	1	Chapa 5 mm

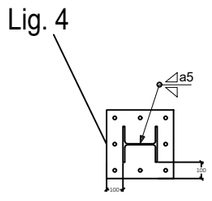




Tolerância Geral < 500 +- 1 <8000 +- 3 <12000 +- 4 <16000 +- 6 <=16000 +- 8 ☐ - Conforme ☐ - Não Conforme Correcção	Operador: _____ Controlo	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar		Comentários	Material	Norma EN1090 - 2			Nº Folha:				
		1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR				016/024				
													Desenhou		Bruna Sousa		Desenhos ☐ Soldadura ☐ Inspeção ☐ Corte ☐ Furação ☐ Quinagem ☐ _____ ☐				
	Data												Verificou								
	Nº Operador												Designação								
	Quantidade Fabricada												Nº Desenho : 16			Obra nº Dissertação					
	Soma Quantidade																				

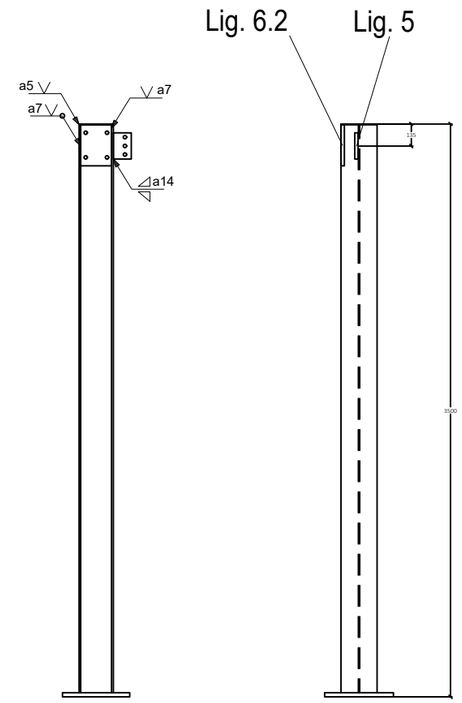
Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
P3	1	HEA220
Lig. 4	1	Chapa 25 mm
Lig. 6.2	2	Barra 260x20 mm
Lig. 5	1	Barra 160x20 mm
CH5	1	Chapa 5 mm

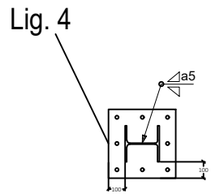




Tolerância Geral	Operador:	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar		Comentários	Material	Norma EN1090 - 2		Nº Folha:
< 500 +- 1		1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR			017/024
<8000 +- 3	_____												Desenhou	Bruna Sousa		Desenhos ☐
<12000 +- 4	Controlo															Soldadura ☐
<16000 +- 6	Data												Verificou			Inspeção ☐
<=16000 +- 8	Nº Operador															Corte ☐
☐ - Conforme	Quantidade Fabricada												Designação			Furação ☐
☐ - Não Conforme	Soma Quantidade															Quinagem ☐
Correcção													Nº Desenho : 17		Obra nº Dissertação	_____ ☐

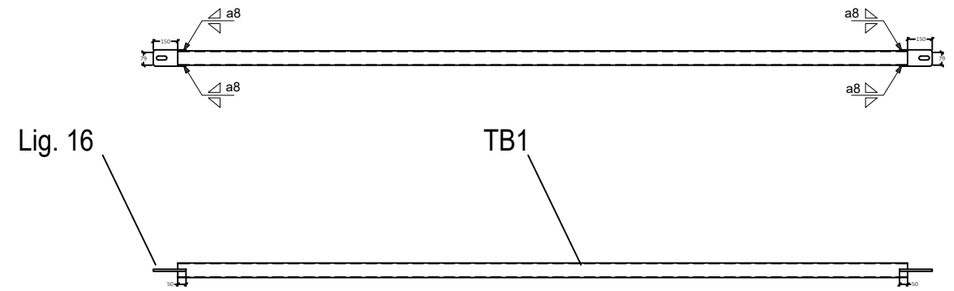
Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
P3	1	HEA220
Lig. 4	1	Chapa 25 mm
Lig. 6.2	1	Barra 260x20 mm
Lig. 5	1	Barra 160x20 mm
CH5	1	Chapa 5 mm





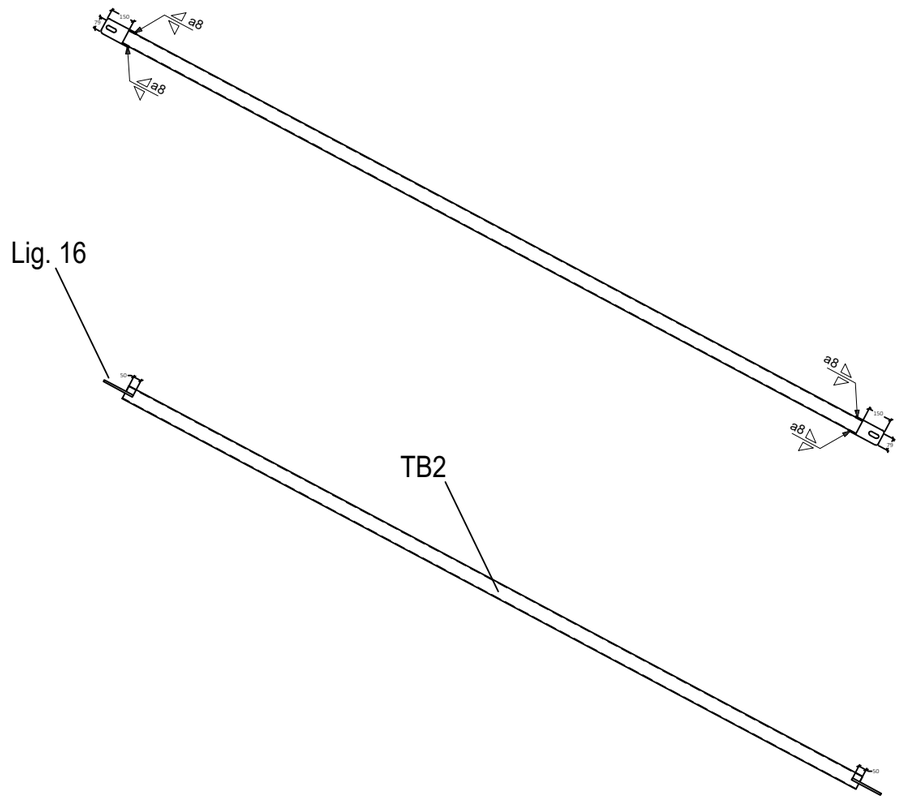
Tolerância Geral	Operador:	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar		Comentários	Material	Norma EN1090 - 2		Nº Folha:
< 500 +- 1		1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR			018/024
<8000 +- 3	Controlo												Desenhou	Bruna Sousa		Desenhos ☐
<12000 +- 4	Data												Verificou			Soldadura ☐
<16000 +- 6	Nº Operador															Inspeção ☐
<=16000 +- 8	Quantidade Fabricada												Designação			Corte ☐
☐ - Conforme	Soma Quantidade												Nº Desenho : 18		Obra nº Dissertação	Furação ☐
☐ - Não Conforme																Quinagem ☐
Correcção																_____ ☐

Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
TB1	12	Tubo 88x2,5mm
Lig. 16	2	Barra 200x12

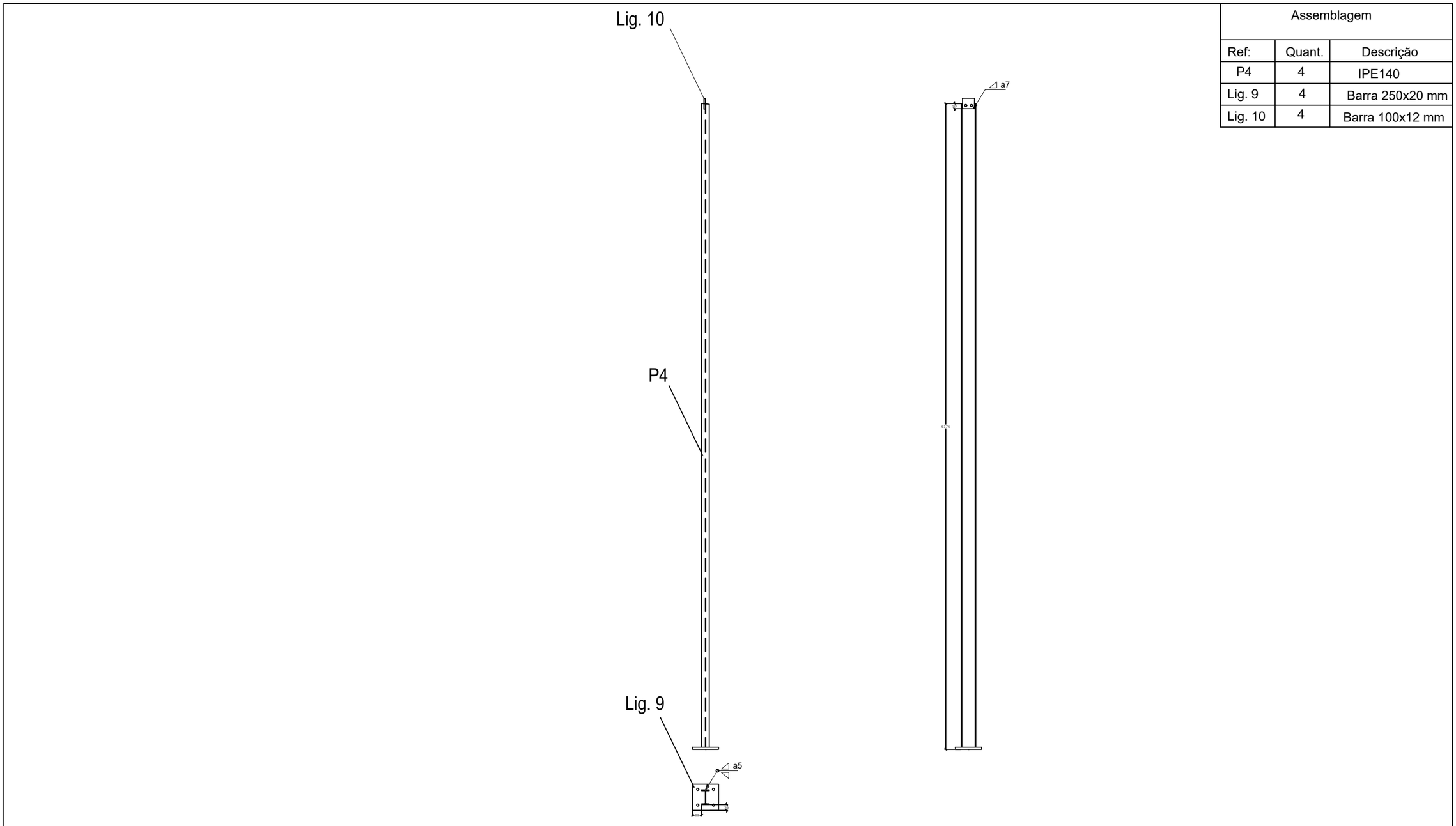


Tolerância Geral	Operador:	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar		Comentários	Material	Norma EN1090 - 2		Nº Folha:
< 500 +- 1		1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR			019/024
<8000 +- 3	_____												Desenhou	Bruna Sousa		Desenhos ☐
<12000 +- 4	Controlo												Verificou			Soldadura ☐
<16000 +- 6	Data												Designação			Inspeção ☐
<=16000 +- 8	Nº Operador															Corte ☐
☐ - Conforme	Quantidade Fabricada															Furação ☐
☐ - Não Conforme	Soma Quantidade												Nº Desenho : 19		Obra nº Dissertação	Quinagem ☐
Correcção																_____ ☐

Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
TB2	12	Tubo 88x2,5mm
Lig. 16	2	Barra 200x12



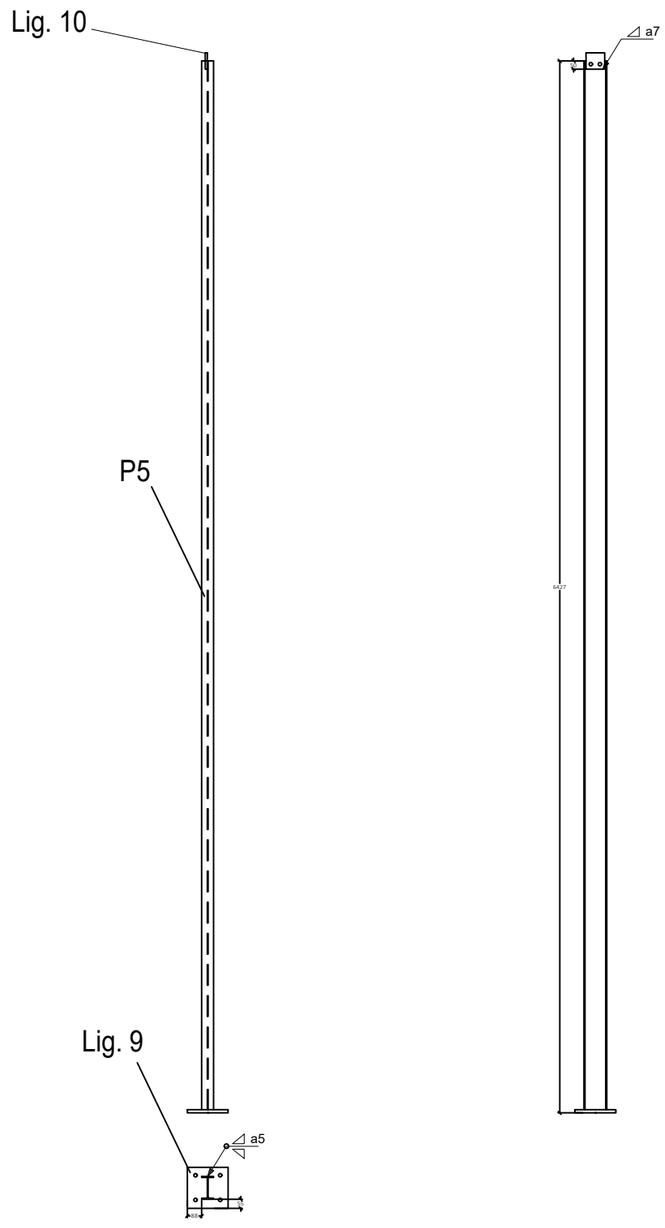
Tolerância Geral	Operador:	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar		Comentários	Material	Norma EN1090 - 2		Nº Folha:
< 500 +- 1		1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR			020/024
<8000 +- 3	_____												Desenhou	Bruna Sousa		Desenhos ☐
<12000 +- 4	Controlo												Verificou			Soldadura ☐
<16000 +- 6	Data												Designação			Inspeção ☐
<=16000 +- 8	Nº Operador															Corte ☐
☐ - Conforme	Quantidade Fabricada															Furação ☐
☐ - Não Conforme	Soma Quantidade												Nº Desenho : 20		Obra nº Dissertação	Quinagem ☐
Correcção																_____ ☐



Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
P4	4	IPE140
Lig. 9	4	Barra 250x20 mm
Lig. 10	4	Barra 100x12 mm

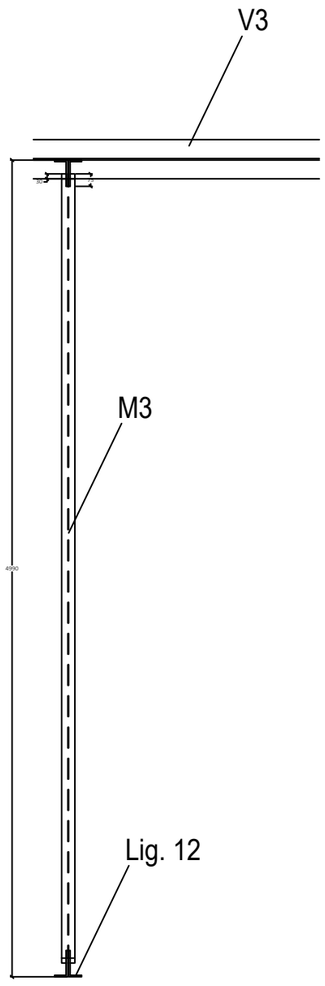
Tolerância Geral	Operador:	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar		Comentários	Material	Norma EN1090 - 2		Nº Folha:
< 500 +- 1		1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR			021/024
<8000 +- 3	_____												Desenhou	Bruna Sousa		Desenhos ☐
<12000 +- 4	Controlo												Verificou			Soldadura ☐
<16000 +- 6	Data												Designação			Inspeção ☐
<=16000 +- 8	Nº Operador															Corte ☐
☐ - Conforme	Quantidade Fabricada															Furação ☐
☐ - Não Conforme	Soma Quantidade												Nº Desenho : 21		Obra nº Dissertação	Quinagem ☐
Correcção																_____ ☐

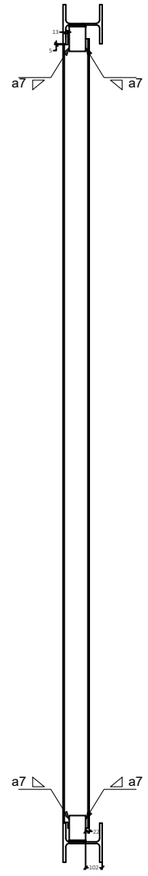
Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
P5	2	IPE140
Lig. 9	2	Barra 250x20 mm
Lig. 10	2	Barra 100x12 mm



Tolerância Geral	Operador:	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar		Comentários	Material	Norma EN1090 - 2		Nº Folha:
< 500 +- 1		1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR			022/024
<8000 +- 3	_____												Desenhou	Bruna Sousa		Desenhos ☐
<12000 +- 4	Controlo												Verificou			Soldadura ☐
<16000 +- 6	Data												Designação			Inspeção ☐
<=16000 +- 8	Nº Operador															Corte ☐
☐ - Conforme	Quantidade Fabricada															Furação ☐
☐ - Não Conforme	Soma Quantidade												Nº Desenho : 22		Obra nº Dissertação	Quinagem ☐
Correcção																_____ ☐

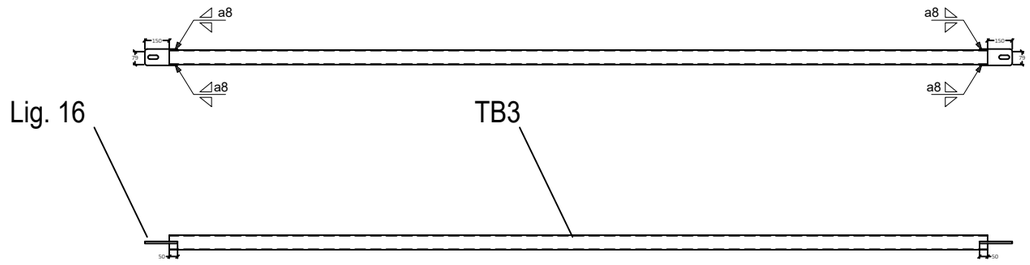
Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
M3	24	IPE160
Lig. 12	96	L160x80x10





Tolerância Geral	Operador:	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar		Comentários	Material	Norma EN1090 - 2		Nº Folha:
< 500 +- 1		1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR			023/024
<8000 +- 3	Controlo												Desenhou	Bruna Sousa		Desenhos ☐
<12000 +- 4	Data												Verificou			Soldadura ☐
<16000 +- 6	Nº Operador												Designação			Inspeção ☐
<=16000 +- 8	Quantidade Fabricada															Corte ☐
☐ - Conforme	Soma Quantidade												Nº Desenho : 23		Obra nº Dissertação	Furação ☐
☐ - Não Conforme																Quinagem ☐
Correcção																_____ ☐

Assemblagem		
Ref:	Quant.	Descrição
TB3	16	Tubo 88x2,5mm
Lig. 16	32	Barra 200x12



Tolerância Geral	Operador:	Corte		Furação		Quinagem		Pingagem		Soldar		Comentários	Material	Norma EN1090 - 2		Nº Folha:
< 500 +- 1		1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última	1º Peça	Última		S275JR			024/024
<8000 +- 3	Controlo												Desenhou	Bruna Sousa		Desenhos ☐
<12000 +- 4	Data												Verificou			Soldadura ☐
<16000 +- 6	Nº Operador												Designação			Inspeção ☐
<=16000 +- 8	Quantidade Fabricada															Corte ☐
☐ - Conforme	Soma Quantidade												Nº Desenho : 24		Obra nº Dissertação	Furação ☐
☐ - Não Conforme																Quinagem ☐
Correcção																_____ ☐

6.12 Lista de corte de material



Listagem de corte

Obra nº Dissertação

Quantidade	Referência Peça	Perfil	Dimensão de corte	Qualidade Material	Nº Lote	Combinação de comprimento de peças	Quantidade/ repetições de combinação	Perfil completo (m)	Designação Perfil
10	V1	IPE270	9885	S275JR		7 X B1 + 1 X B2	1	12	IPE270
2	V2.1	IPE270	9885	S275JR		6 X B2	1	10	IPE270
2	V2.2	IPE270	9885	S275JR		10 X V1 + 2 X V2.1 + 2 X V2.2	14	10	IPE270
7	B1	IPE270	1500	S275JR		V3 X 2	1	12	HEB240
7	B2	IPE270	1500	S275JR		V3 X 1 + 2 X V4	1	16	HEB240
3	V3	HEB240	5750	S275JR		2 X V4	1	10	HEB240
4	V4	HEB240	4720	S275JR		2 X P1	5	12	HEA240
11	P1	HEA240	5970	S275JR		1X P1 + 1 X P2	1	12	HEA240
3	P2	HEA240	5970	S275JR		2 X P2	1	12	HEA240
3	P3	HEA220	3470	S275JR		3 X P3	1	12	HEA220
12	TB1	Tubo Ø88x2,5	4461	S275JR		1 X TB1	12	6	TUBO 88X2,5
8	TB2	Tubo Ø88x2,5	5079	S275JR		1 X TB2	8	6	TUBO 88X2,5
16	TB3	Tubo Ø88x2,5	5001	S275JR		1 X TB3	16	6	TUBO 88X2,5
4	P4	IPE140	6156	S275JR		2 X P4	2	14	IPE140
2	P5	IPE140	6407	S275JR		2 X P5	1	14	IPE140
28	M1	IPE120	5054	S275JR		1 X M1 + 1 X M2	28	10	IPE 120
56	M2	IPE120	4993	S275JR		2 X M2	14	10	IPE120
24	M3	IPE160	4820	S275JR		M3 X 2	12	10	IPE160
14	LIG.1	Chapa 25mm	150x670	S275JR		Lig. 1 / 2 / 3 / 4 (total)	3	1250X2500	CH. 25 mm
14	LIG.2	Chapa 25mm	150x670	S275JR		Lig. 5 (total)	1	6	B. 160x20
14	LIG.3	Chapa 25mm	440x430	S275JR		Lig. 6.1 / 6.2 / 7 / 8.1 / 8.2 (total)	1	6	B. 260x20
3	LIG.4	Chapa 25mm	420x410	S275JR		Lig. 9 (total)	1	6	B. 250x20
3	LIG.5	Barra 160x20	110	S275JR		Lig. 10 (total)	1	6	B. 100x12
4	LIG.6.1	Barra 260x20	230	S275JR		Lig. 12 X 60	1	6	L160x80x10
4	LIG.6.2	Barra 260x20	188	S275JR		Lig. 12 X 36	1	6	L160x80x10



Listagem de corte

Obra nº Dissertação

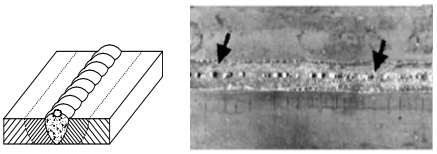
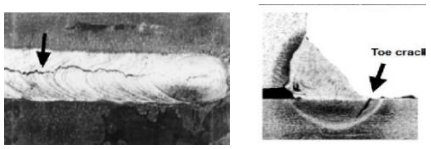
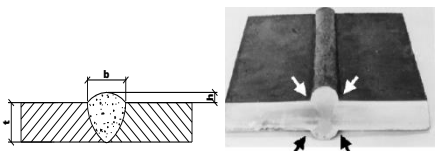
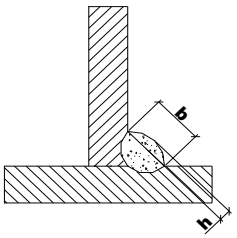
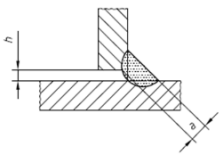
3	LIG.7	Barra 260x20	230	S275JR		Lig. 13 / 14a / 15a (total)	2	6	B. 120x12
4	LIG.8.1	Barra 260x20	230	S275JR		Lig. 14b / 15b / 16 (total)	2	6	B. 200x12
4	LIG.8.2	Barra 260x20	206	S275JR		Ref. 1	3	6	B. 60x8
6	LIG.9	Barra 250x20	250	S275JR		Ref. 2	2	6	B. 70x8
6	LIG.10	Barra 100x12	115	S275JR		Ref. 3	1	2x1	Chapa 10 mm
96	LIG.12	L160x80x10	100	S275JR					
24	LIG.13	Barra 120x12	196	S275JR					
8	LIG.14a	Barra 120x12	144	S275JR					
12	LIG.14b	Barra 200x12	144	S275JR					
8	LIG.15a	Barra 120x12	196	S275JR					
4	LIG.15b	Barra 200x12	196	S275JR					
72	LIG.16	Barra 200x12	100	S275JR					
56	Ref.1	Barra 60x8	250	S275JR					
56	Ref.2	Barra 70x8	206	S275JR					
136	Ref. 3	Barra 95x10	95	S275JR					

6.13 Tabelas de tolerâncias

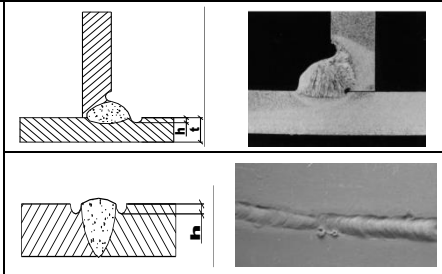
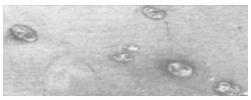
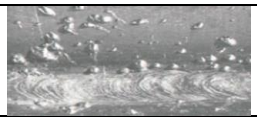
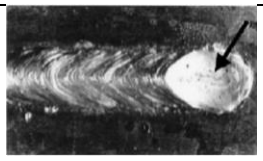
TOLERÂNCIAS DE SOLDADURA

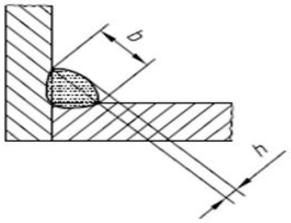
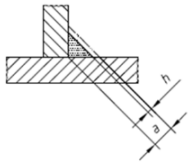
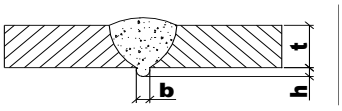
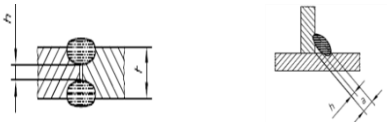
Tabela 1 - Tolerâncias de Soldadura - Critérios de aceitação de imperfeições em Soldadura

Inspecção visual *(VT) - em auto controle (AC)* **ISO 5817 (Nível C – EXC2) (e ≥ 3mm)**

<table>
<tr><th>Imperfeição
- (EN ISO 6520-1)</th><th>Limites de aceitação</th><th>Imagem</th><th>Acção corretiva
*Com Procedimento Qualificado</th></tr>
<tr><td>1 – Poros Superficiais
– (2017)</td><td>Dim. Máx. para poro isolado
BW / FW: ɵ ≤ 0,2 s (a)
(máx. = 2mm);
<table>
<tr><th>a ou s</th><th>ɵ</th></tr>
<tr><td>3</td><td>0,6</td></tr>
<tr><td>4</td><td>0,8</td></tr>
<tr><td>5</td><td>1</td></tr>
<tr><td>6</td><td>1,2</td></tr>
<tr><td>7</td><td>1,4</td></tr>
<tr><td>8</td><td>1,6</td></tr>
<tr><td>10</td><td>2</td></tr>
</table></td><td>  </td><td>1) Remover defeitos em toda a extensão, abrindo canal c/esmeril/fresa rotativa;
2) Aplicar L. Penetrantes (PT);
3) Preenchimento c/ soldadura*.</td></tr>
<tr><td>2 – Fissuras à superfície
– (100)</td><td>Não Permitido</td><td> 
</td><td>1) Remover defeitos em toda a extensão, abrindo canal c/esmeril/fresa rotativa ou arcair;
2) Aplicar L. Penetrantes (PT);
3) Preenchimento c/ soldadura*.</td></tr>
<tr><td>3 – Falta de fusão
– (401)</td><td>Não permitido</td><td>  </td><td>1) Remover material e totalidade dos defeitos, c/esmeril ou arcair;
2) Aplicar L. Penetrantes (PT);
3) Preenchimento por soldadura*.</td></tr>
<tr><td>4 – Sobre espessura excessiva
– (502)</td><td>
<table>
<tr><th>t (mm)</th><th>b (mm)</th><th>h (mm)</th></tr>
<tr><td>8</td><td>11</td><td>2,65</td></tr>
<tr><td>10</td><td>14</td><td>3,1</td></tr>
<tr><td>12</td><td>16</td><td>3,4</td></tr>
<tr><td>15</td><td>19</td><td>3,85</td></tr>
<tr><td>20</td><td>26</td><td>4,9</td></tr>
<tr><td>25</td><td>32</td><td>5,8</td></tr>
<tr><td>30</td><td>38</td><td>6,7</td></tr>
<tr><td colspan="3">h ≤ 1+ 0,15b; h ≤ 7mm</td></tr>
</table></td><td>  </td><td>1) Desbastar a esmeril até obter a dimensão aceitável;
2) Afagar transição, na concordância com metal base.</td></tr>
<tr><td>5 – Convexidade excessiva
– (503)</td><td>
<table>
<tr><th>b (mm)</th><th>h (mm)</th></tr>
<tr><td>6</td><td>1,9</td></tr>
<tr><td>8</td><td>2,2</td></tr>
<tr><td>10</td><td>2,5</td></tr>
<tr><td>14</td><td>3,1</td></tr>
<tr><td>16</td><td>3,4</td></tr>
<tr><td>20</td><td>4</td></tr>
<tr><td colspan="2">h ≤ 1+ 0,15b; h ≤ 4 mm</td></tr>
</table></td><td>  </td><td>1) Desbastar a esmeril até obter a dimensão aceitável;
2) Afagar transição na concordância com metal base.</td></tr>
<tr><td>6 – Folga na raiz em soldadura de angulo
– (617)</td><td>h ≤ 0,5+0,2xa mm
máx.= 3 mm
<table>
<tr><th>a</th><th>h</th></tr>
<tr><td>3</td><td>1,1</td></tr>
<tr><td>4</td><td>1,3</td></tr>
<tr><td>5</td><td>1,5</td></tr>
<tr><td>6</td><td>1,7</td></tr>
<tr><td>7</td><td>1,9</td></tr>
<tr><td>8</td><td>2,1</td></tr>
<tr><td>10</td><td>2,5</td></tr>
<tr><td>12</td><td>2,9</td></tr>
</table></td><td>  </td><td>1) Compensar a garganta nominal do cordão, com um acréscimo de mais 70% do valor da folga h
(a = anom + 0,7h);</td></tr>
</table>

TOLERÂNCIAS DE SOLDADURA

Imperfeição - (EN ISO 6520-1)	***Limites de aceitação***	***Imagem***	***Acção corretiva*** **Com Procedimento Qualificado*
7 – Bordos queimados descontínuos – (5012)	– Imperfeição curta *h ≤ 0.1 t (mm)* *(máx. = 0,5 mm)*		1) Remover defeitos em toda a extensão, abrindo um canal c/esmeril ou fresa rotativa; 2) Aplicar L. Penetrantes (PT); 3) Preenchimento por soldadura*.
8 – Golpes de escorvamento – (601)	Autorizado caso as propriedades do material não seja afectado. Caso não haja requisitos de dureza		1) Eliminar, c/ desbaste a esmeril; 2) Aplicar L. Penetrantes (PT).
9 – Projecções de salpicos – (602)	Aceitação depende da aplicação e se existe protecção anticorrosiva		1) Eliminar, desbastando a esmeril.
10 – Cratera no final do cordão – (2025)	*h ≤ 0,1 t (máx. = 1mm*)		1) Abrir e limpar cratera com esmeril,/fresa rotativa; 2) Aplicar L. penetrantes (PT); 3) Preenchimento por soldadura*.
11 – Fissura de cratera – (104)	Não permitido		1) Remover defeitos em toda a extensão, abrindo canal c/esmeril/fresa rotativa; 2) Aplicar L. Penetrantes (PT); 3) Preenchimento por soldadura*.

12 – Cordão de canto com espessura superior à especificada – (5214)	a (mm)	h (mm)		1) Desbastar a esmeril/fresa rotativa, até obter a dimensão aceitável; 2) Afagar transição com metal base.
	6	2,2		
	7	2,4		
	8	2.6		
	11	3,2		
	14	3,8		
	h ≤ 1+ 0,15 a ; h≤4 mm			
13 – Cordão de canto com espessura inferior à especificada – (5213)	Não permitido			1) Limpar zona afetada e prencher com soldadura*, até completar a geometria.
14 – Penetração excessiva – (504)	h ≤ 1+0,6 b (máx. = 4mm)			1) Desbastar a esmeril/fresa rotativa até obter a dimensão aceitável; 2) Afagar transição com metal base.
15 – Falta de penetração (penetração incompleta) – (402/4021)	Não permitida			1) Remover material a esmeril/aircair até encontrar defeito, em toda a sua extensão; 2) Aplicar Ensaio L. penetrantes (PT); 3) Refazer cordão com soldadura*.

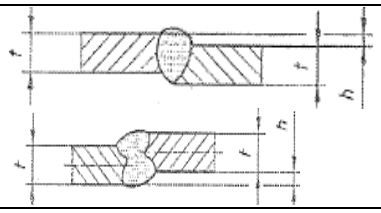
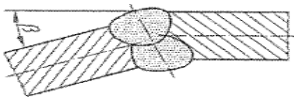
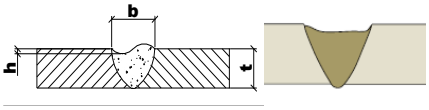
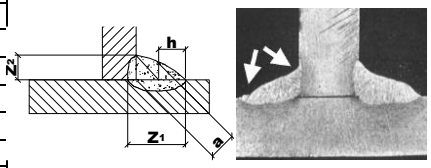
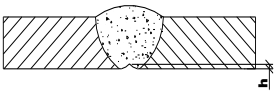
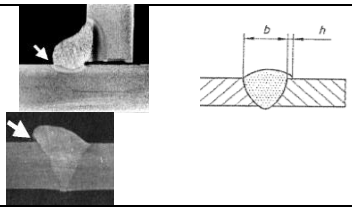
Imperfeição - (EN ISO 6520-1)	***Limites de aceitação***	***Imagem***	***Acção corretiva*** **Com Procedimento Qualificado*

TOLERÂNCIAS DE SOLDADURA

A Inspecção Visual deve ser efectuada a todas as soldaduras logo após o término da sua execução, e deve observar:

– Presença e localização de todas as soldaduras;

– Inspecção das soldaduras conforme EN ISO 17637;

<table>
<tr><td>16 – Desalinhamento Linear das peças
– (507)</td><td>H < 0,15 t (mm)
(máx. = 4mm)</td><td>  </td><td>Relatar ao responsável de soldadura.</td></tr>
<tr><td>17 – Desalinhamento angular
– (508)</td><td>ß < 1°</td><td>  </td><td>Relatar ao responsável de soldadura.</td></tr>
<tr><td>18 – Falta de enchimento
– (511)</td><td>Imperfeição curta
h ≤ 0,1t
(máx. = 1mm)</td><td>  </td><td>1) Limpar zona afetada e prencher com soldadura*, até completar a geometria prevista;
2) Afagar transição na concordância com metal base.</td></tr>
<tr><td>19 – Assimetria em cordões de canto
– (512)</td><td><table><tr><td>a (mm)</td><td>h (mm)</td></tr><tr><td>6</td><td>2.9</td></tr><tr><td>7</td><td>3</td></tr><tr><td>8</td><td>3,2</td></tr><tr><td>11</td><td>3,7</td></tr><tr><td>14</td><td>4,1</td></tr><tr><td>18</td><td>4,7</td></tr><tr><td>21</td><td>5,15</td></tr></table></td><td>  </td><td>1) Limpar zona afetada e prencher com soldadura*, até completar a geometria correta;
2) Alisar e afagar transição na concordância com metal base.</td></tr>
<tr><td>20 – Chupado/Abatimento da raiz
– (515)</td><td>Imperfeição curta
H < 0,1t
(max. = 1mm)</td><td>  </td><td>1) Limpar toda a extensão do defeito e prencher com soldadura*, até completar a geometria.</td></tr>
<tr><td>21–Sobreposição/ Dobra desbordo
– (506)</td><td>H < 0,2b</td><td>  </td><td>1) Remover a esmeril/fresa rotativa, material em excesso;
2) Caso necessário, preencher com soldadura*, até completar a geometria;
3) Afagar transição com metal base.</td></tr>
</table>

– Identificar os arcos parasitas, salpicos, fissuras e crateras.

Imperfeição curta: Uma ou várias imperfeições, com um comprimento total não superior a 25mm, em qualquer comprimento de soldadura igual a 100mm, um máximo de 25% do comprimento da soldadura, se esta tiver um comprimento inferior a 100mm. Deve ser considerada a extensão com maior quantidade de imperfeições.

Imperfeições sistemáticas: ***Não são aceitáveis*** – Distribuem-se repetidamente ao longo da soldadura, embora com tamanhos individuais aceitáveis.

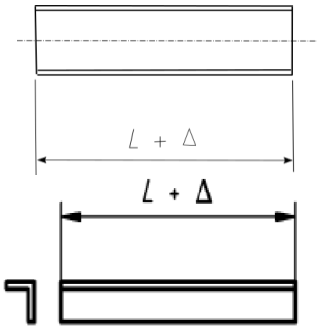
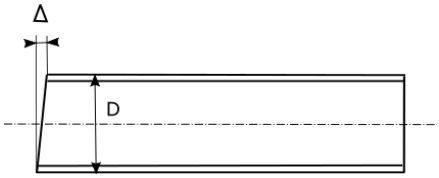
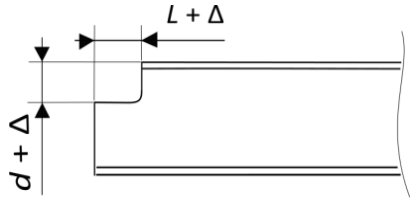
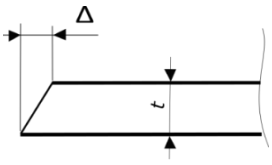
Legenda:

a - Espessura da garganta / b - Largura do cordão / t – Espessura da chapa / h - Dimensão da Imperfeição;

* Soldadura de acordo com parâmetros da EPS inicial.

TOLERÂNCIAS DE CORTE

Tabela 1 - Tolerâncias de corte - Classe 1 das Tolerâncias funcionais EN 1090-2 2018

N°	Dimensão	Critério	Desvio permitido Δ(mm)
1	**Comprimento do elemento**		Caso geral: Δ= ± (*L*/5000+ 2mm) L ≤ 2000mm: Δ = ± 2 2000 < L ≤ 4000: Δ = ± 3 4000 < L ≤ 6000: Δ = ± 3 6000 < L ≤ 12000: Δ = ± 4 12000 < L ≤ 17000: Δ = ± 5 17000 < L ≤ 22000: Δ = ± 6 22000 < L ≤ 24000: Δ = ±7 *Sobre os apoios:* Δ = ±1 mm
2	**Esquadria nas extremidades**		Caso geral: Δ =±*D* / 100 Se apoio por contacto direto: Δ= ± *D* / 1 000
3	**Recortes**		Profundidade *d:* 0 mm ≤Δ ≤+ 3 mm Comprimento *L:* 0 mm ≤Δ≤ + 3 mm
4	**Esquadria nos bordos de corte**		Desvio Δ do canto do corte relativamente à 90° Δ= ≤ 0,1*t*