

## A – PEÇAS ESCRITAS

### III. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>ACÇÕES</b> .....	<b>7</b>
1.1	CARGAS PERMANENTES (G).....	7
1.2	REstantes CARGAS PERMANENTES (RCP).....	8
1.3	SOBRECARGAS (SOB) .....	9
1.4	VARIAÇÃO DE TEMPERATURA (T).....	10
1.5	ACÇÃO DO VENTO (W).....	10
1.6	ACÇÃO SÍSMICA (E) .....	13
1.7	IMPULSO DO MATERIAL ARMAZENADO (I).....	15
<b>2</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS METÁLICOS</b> .....	<b>16</b>
2.1	PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS ASNAS DA COBERTURA .....	16
2.2	ÁBACOS - RESISTÊNCIA DOS ELEMENTOS SUJEITOS A ENCURVADURA POR COMPRESSÃO ( $N_{B,RD}$ ) .....	19
2.3	VERIFICAÇÃO DOS PERFIS AOS E.L.U. SEGUNDO A NP EN 1993-1-1 REALIZADA A PARTIR DO SOFTWARE "ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS" .....	22
2.4	VERIFICAÇÃO DOS PERFIS AOS E.L.U. SEGUNDO A NP EN 1993-1-1 (ROBOT VS TABELA DE CÁLCULO EM EXCEL) .....	37
2.4.1	<i>Prumos</i> .....	38
2.4.2	<i>Diagonais</i> .....	41
2.4.3	<i>Cordões superiores (Pórticos Centrais)</i> .....	44
2.4.4	<i>Cordões inferiores (Pórticos Centrais)</i> .....	47
2.4.5	<i>Cordões de alçados (Pórticos das Empenas)</i> .....	50
2.4.6	<i>Travamentos dos cordões inferiores (Pórticos Centrais)</i> .....	53
2.4.7	<i>Madres da Cobertura</i> .....	56
2.4.8	<i>Madres dos Alçados</i> .....	62
2.4.9	<i>Travamentos dos Alçados e Cobertura</i> .....	68
2.4.10	<i>Travamentos dos Alçados - Horizontais</i> .....	71
2.4.11	<i>Pilares metálicos</i> .....	74
2.5	LIGAÇÕES .....	92
<b>3</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE BETÃO ARMADO</b> .....	<b>96</b>
3.1	VIGAS DE FUNDAÇÃO .....	96
3.2	PILARES E PLINTOS DE BETÃO ARMADO .....	109
3.3	MUROS DE SUPORTE .....	121
3.4	FUNDAÇÕES .....	138

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – PESO PRÓPRIO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS PRINCIPAIS. ....	7
FIGURA 1.2 – RESTANTES CARGAS PERMANENTES. ....	8
FIGURA 1.3 – SOBRECARGAS. ....	9
FIGURA 1.4 – VARIAÇÃO DE TEMPERATURA. ....	10
FIGURA 1.5 – ACÇÃO DO VENTO NA DIRECÇÃO X (90°).....	11
FIGURA 1.6 – ACÇÃO DO VENTO X (90°).....	12
FIGURA 1.7 – ESPECTRO DE RESPOSTA - ACÇÃO SÍSMICA TIPO 1. ....	13
FIGURA 1.8 – ESPECTRO DE RESPOSTA - ACÇÃO SÍSMICA TIPO 2.....	14
FIGURA 1.9 – ACÇÃO DO IMPULSO.....	15
FIGURA 2.1 – RÁCIOS DOS ELEMENTOS METÁLICOS – VISTA GERAL. ....	22
FIGURA 2.2 – RÁCIOS DOS ELEMENTOS METÁLICOS – ALÇADO - ALINHAMENTO A.....	22
FIGURA 2.3 – RÁCIOS DOS ELEMENTOS METÁLICOS – ALÇADO - ALINHAMENTO L. ....	23
FIGURA 2.4 – RÁCIOS DOS ELEMENTOS METÁLICOS – ALÇADO - ALINHAMENTO 1.....	23
FIGURA 2.5 – RÁCIOS DOS ELEMENTOS METÁLICOS – ALÇADO - ALINHAMENTO 6.....	23
FIGURA 2.6 – RÁCIOS DOS ELEMENTOS METÁLICOS – PÓRTICO CENTRAL.....	24
FIGURA 2.7 – RÁCIOS DOS ELEMENTOS METÁLICOS – COBERTURA.....	24
FIGURA 2.7' – DIMENSIONAMENTO DOS PERFIS ATRAVÉS DO <i>ROBOT</i> .....	36
FIGURA 2.8 – PRUMO VERIFICADO (2 L100x12 // 180MM). ....	38
FIGURA 2.9 – FOLHA DE VERIFICAÇÃO. ....	38
FIGURA 2.10 – DIAGONAL VERIFICADA (2 L80x8 // 180MM).....	41
FIGURA 2.11 – FOLHA DE VERIFICAÇÃO. ....	41
FIGURA 2.12 – CORDÃO VERIFICADO (HEB 180).....	44
FIGURA 2.13 – FOLHA DE VERIFICAÇÃO. ....	44
FIGURA 2.14 – CORDÃO VERIFICADO (HEB 180).....	47
FIGURA 2.15 – FOLHA DE VERIFICAÇÃO. ....	47
FIGURA 2.16 – CORDÃO VERIFICADO (HEB 200). ....	50
FIGURA 2.17 – FOLHA DE VERIFICAÇÃO. ....	50
FIGURA 2.18 – TRAVAMENTO VERIFICADO (L60x6). ....	53
FIGURA 2.19 – FOLHA DE VERIFICAÇÃO. ....	53
FIGURA 2.20 – MADRE VERIFICADA (IPE 160).....	56
FIGURA 2.21 – FOLHA DE VERIFICAÇÃO. ....	56
FIGURA 2.22 – MADRE VERIFICADA (IPE 160).....	59
FIGURA 2.23 – FOLHA DE VERIFICAÇÃO. ....	59
FIGURA 2.24 – MADRE VERIFICADA (UNP 160).....	62
FIGURA 2.25 – FOLHA DE VERIFICAÇÃO. ....	62
FIGURA 2.26 – MADRE VERIFICADA (UNP 160).....	65
FIGURA 2.27 – FOLHA DE VERIFICAÇÃO. ....	65
FIGURA 2.28 – TRAVAMENTO VERIFICADO (TUBO 193.7x6.3). ....	68
FIGURA 2.29 – FOLHA DE VERIFICAÇÃO. ....	68
FIGURA 2.30 – TRAVAMENTO VERIFICADO (2 UNP200).....	71
FIGURA 2.31 – FOLHA DE VERIFICAÇÃO. ....	71
FIGURA 2.32 – PILARES ESCOLHIDOS EM QUE FOI FEITA A COMPARAÇÃO <i>ROBOT VS EXCEL</i> . ....	74
FIGURA 2.33 – BARRA 1142 E RESULTADOS DE CÁLCULO DO <i>ROBOT</i> .....	74
FIGURA 2.34 – BARRA 3820 E RESULTADOS DE CÁLCULO DO <i>ROBOT</i> .....	75
FIGURA 2.35 – BARRA 3714 E RESULTADOS DE CÁLCULO DO <i>ROBOT</i> .....	75
FIGURA 2.36 – BARRA 344 E RESULTADOS DE CÁLCULO DO <i>ROBOT</i> .....	75
FIGURA 2.37 – FOLHA DE VERIFICAÇÃO. ....	76
FIGURA 2.38 – FOLHA DE VERIFICAÇÃO. ....	80
FIGURA 2.39 – FOLHA DE VERIFICAÇÃO. ....	84
FIGURA 2.40 – FOLHA DE VERIFICAÇÃO. ....	88
FIGURA 2.41 – LIGAÇÃO DA BASE DE UM PILAR TIPO.....	92
FIGURA 2.42 – VERIFICAÇÃO DA LIGAÇÃO.....	93
FIGURA 2.43 – LIGAÇÃO SOLDADA DE DOIS TRAVAMENTOS.....	94

FIGURA 2.44 – VERIFICAÇÃO DA LIGAÇÃO.....	95
FIGURA 3.1 – VIGAS DE FUNDAÇÃO.....	96
FIGURA 3.2 – VERIFICAÇÃO DA VIGA MAIS DESFAVORÁVEL DO GRUPO 1.....	98
FIGURA 3.3 – VERIFICAÇÃO DA VIGA MAIS DESFAVORÁVEL DO GRUPO 1.....	99
FIGURA 3.4 – VERIFICAÇÃO DA VIGA MAIS DESFAVORÁVEL DO GRUPO 1.....	99
FIGURA 3.5 – VERIFICAÇÃO DA VIGA MAIS DESFAVORÁVEL DO GRUPO 2.....	100
FIGURA 3.6 – VERIFICAÇÃO DA VIGA MAIS DESFAVORÁVEL DO GRUPO 2.....	101
FIGURA 3.7 – VERIFICAÇÃO DA VIGA MAIS DESFAVORÁVEL DO GRUPO 2.....	101
FIGURA 3.8 – VERIFICAÇÃO DA VIGA MAIS DESFAVORÁVEL DO GRUPO 3.....	102
FIGURA 3.9 – VERIFICAÇÃO DA VIGA MAIS DESFAVORÁVEL DO GRUPO 3.....	103
FIGURA 3.10 – VERIFICAÇÃO DA VIGA MAIS DESFAVORÁVEL DO GRUPO 3.....	103
FIGURA 3.11 – VERIFICAÇÃO DA VIGA MAIS DESFAVORÁVEL DO GRUPO 4.....	104
FIGURA 3.12 – VERIFICAÇÃO DA VIGA MAIS DESFAVORÁVEL DO GRUPO 4.....	105
FIGURA 3.13 – VERIFICAÇÃO DA VIGA MAIS DESFAVORÁVEL DO GRUPO 4.....	105
FIGURA 3.14 – VERIFICAÇÃO DA VIGA MAIS DESFAVORÁVEL DO GRUPO 5.....	106
FIGURA 3.15 – VERIFICAÇÃO DA VIGA MAIS DESFAVORÁVEL DO GRUPO 5.....	107
FIGURA 3.16 – VERIFICAÇÃO DA VIGA MAIS DESFAVORÁVEL DO GRUPO 5.....	107
FIGURA 3.17 – GRUPOS DE PILARES E PLINTOS DE BETÃO ARMADO E GEOMETRIA DOS MESMOS.....	109
FIGURA 3.18 – VERIFICAÇÃO DO PILAR MAIS DESFAVORÁVEL (P.(1-L)) DO GRUPO 1.....	110
FIGURA 3.19 – VERIFICAÇÃO DO PILAR MAIS DESFAVORÁVEL (P.(1-L)) DO GRUPO 1.....	111
FIGURA 3.20 – VERIFICAÇÃO DO PILAR MAIS DESFAVORÁVEL (P.(1-L)) DO GRUPO 1.....	111
FIGURA 3.21 – VERIFICAÇÃO DO PILAR MAIS DESFAVORÁVEL (P.(1-K)) DO GRUPO 2.....	112
FIGURA 3.22 – VERIFICAÇÃO DO PILAR MAIS DESFAVORÁVEL (P.(1-K)) DO GRUPO 2.....	113
FIGURA 3.23 – VERIFICAÇÃO DO PILAR MAIS DESFAVORÁVEL (P.(1-K)) DO GRUPO 2.....	113
FIGURA 3.24 – VERIFICAÇÃO DO PILAR MAIS DESFAVORÁVEL (P.(6-H)) DO GRUPO 3.....	114
FIGURA 3.25 – VERIFICAÇÃO DO PILAR MAIS DESFAVORÁVEL (P.(6-H)) DO GRUPO 3.....	115
FIGURA 3.26 – VERIFICAÇÃO DO PILAR MAIS DESFAVORÁVEL (P.(6-H)) DO GRUPO 3.....	115
FIGURA 3.27 – VERIFICAÇÃO DO PILAR (P.(6-G <sup>2</sup> )) DO GRUPO 4.....	116
FIGURA 3.28 – VERIFICAÇÃO DO PILAR (P.(6-G <sup>2</sup> )) DO GRUPO 4.....	117
FIGURA 3.29 – VERIFICAÇÃO DO PILAR (P.(6-G <sup>2</sup> )) DO GRUPO 4.....	117
FIGURA 3.30 – VERIFICAÇÃO DO PILAR (P.(6-L)) DO GRUPO 5.....	118
FIGURA 3.31 – VERIFICAÇÃO DO PILAR (P.(6-L)) DO GRUPO 5.....	119
FIGURA 3.32 – VERIFICAÇÃO DO PILAR (P.(6-L)) DO GRUPO 5.....	119
FIGURA 3.33 – GRUPOS DE MUROS DE BETÃO ARMADO E GEOMETRIA DOS MESMOS.....	121
FIGURA 3.34 – EIXOS LOCAIS DOS ELEMENTOS “PANEL”.....	122
FIGURA 3.35 – ESFORÇOS F11 – ELU IMP (Wx- T+). .....	123
FIGURA 3.36 – ESFORÇOS F22 – ELU IMP (Wx- T+). .....	123
FIGURA 3.37 – ESFORÇOS M11 – ELU IMP (Wx- T+). .....	124
FIGURA 3.38 – ESFORÇOS M22 – ELU IMP (Wx- T+). .....	124
FIGURA 3.39 – ESFORÇOS F11 – ELU IMP (Wx- T-). .....	125
FIGURA 3.40 – ESFORÇOS F22 – ELU IMP (Wx- T-). .....	125
FIGURA 3.41 – ESFORÇOS M11 – ELU IMP (Wx- T-). .....	126
FIGURA 3.42 – ESFORÇOS M22 – ELU IMP (Wx- T-). .....	126
FIGURA 3.43 – ESFORÇOS F11 – ELU IMP (Wy T+). .....	127
FIGURA 3.44 – ESFORÇOS F22 – ELU IMP (Wy T+). .....	127
FIGURA 3.45 – ESFORÇOS M11 – ELU IMP (Wy T+). .....	128
FIGURA 3.46 – ESFORÇOS M22 – ELU IMP (Wy T+). .....	128
FIGURA 3.47 – ESFORÇOS F11 – ELU WY (T+). .....	129
FIGURA 3.48 – ESFORÇOS F22 – ELU WY (T+). .....	129
FIGURA 3.49 – ESFORÇOS M11 – ELU WY (T+). .....	130
FIGURA 3.50 – ESFORÇOS M22 – ELU WY (T+). .....	130
FIGURA 3.51 – ESFORÇOS F11 – ELU WY (T-). .....	131
FIGURA 3.52 – ESFORÇOS F22 – ELU WY (T-). .....	131
FIGURA 3.53 – ESFORÇOS M11 – ELU WY (T-). .....	132

FIGURA 3.54 – ESFORÇOS M22 – ELU WY (T-). .....	132
FIGURA 3.55 – ELEMENTOS REFERENTES AO CÁLCULO DAS ARMADURAS HORIZONTAIS. ....	134
FIGURA 3.56 – ELEMENTOS REFERENTES AO CÁLCULO DAS ARMADURAS VERTICAIS. ....	135
FIGURA 3.57 – ELEMENTOS REFERENTES À ABERTURA DE FENDAS NOS MUROS. ....	137
FIGURA 3.58 – CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS SAPATAS. ....	138
FIGURA 3.59 – VERIFICAÇÃO DO SOLO DE FUNDAÇÃO. ....	139
FIGURA 3.60 – VERIFICAÇÃO DA SAPATA. ....	140
FIGURA 3.61 – PROCESSO DE CÁLCULO PARA A VERIFICAÇÃO DO SOLO DE FUNDAÇÃO. ....	141
FIGURA 3.62 – VERIFICAÇÃO DA SAPATA. ....	142
FIGURA 3.65 – PROCESSO DE CÁLCULO PARA A VERIFICAÇÃO DO SOLO DE FUNDAÇÃO. ....	143
FIGURA 3.66 – VERIFICAÇÃO DA SAPATA. ....	144

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2.1 – TABELA COM RÁCIOS SUPERIORES A 70% DOS ELEMENTOS METÁLICOS.....	25
TABELA 3.1 – TABELA RESUMO DOS ESFORÇOS DE CÁLCULO.....	133
TABELA 3.2 – TABELA RESUMO DAS ARMADURAS NECESSÁRIAS.....	136

# 1 ACÇÕES

## 1.1 Cargas Permanentes (G)

O Peso Próprio (Carga Permanente) de todos os elementos metálicos bem como os de betão armado, foram considerados de forma automática pelo programa de cálculo, através da introdução do peso volúmico de cada material (Figura 1.1).

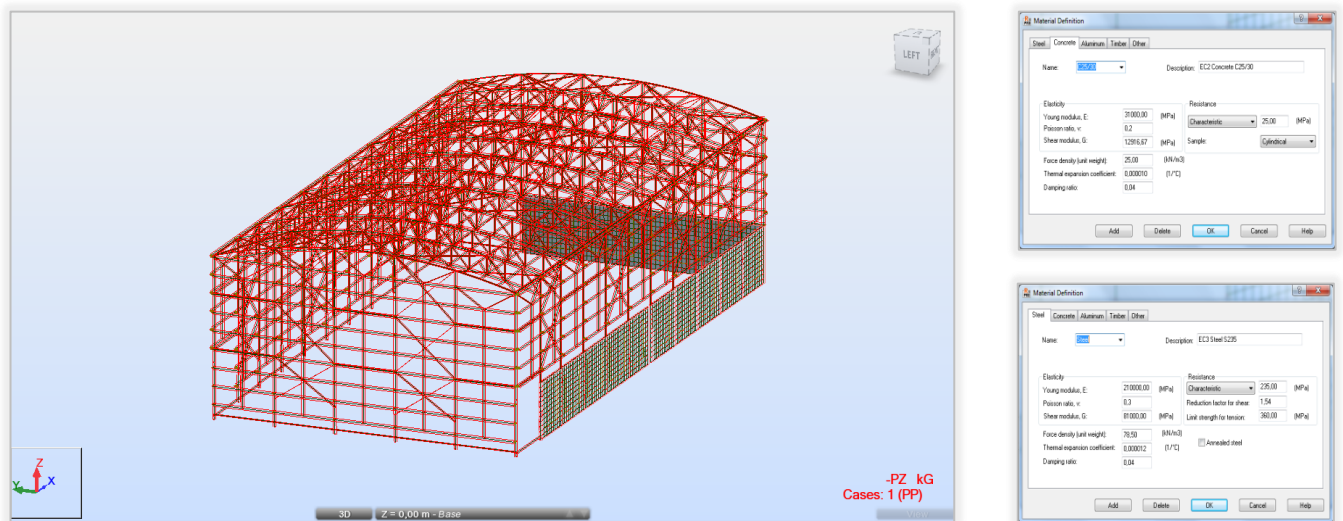


Figura 1.1 – Peso Próprio dos elementos estruturais principais.

## 1.2 Restantes Cargas Permanentes (RCP)

As figuras em baixo indicam o valor das Restantes Cargas Permanentes no modelo estudado (Figura 1.2).

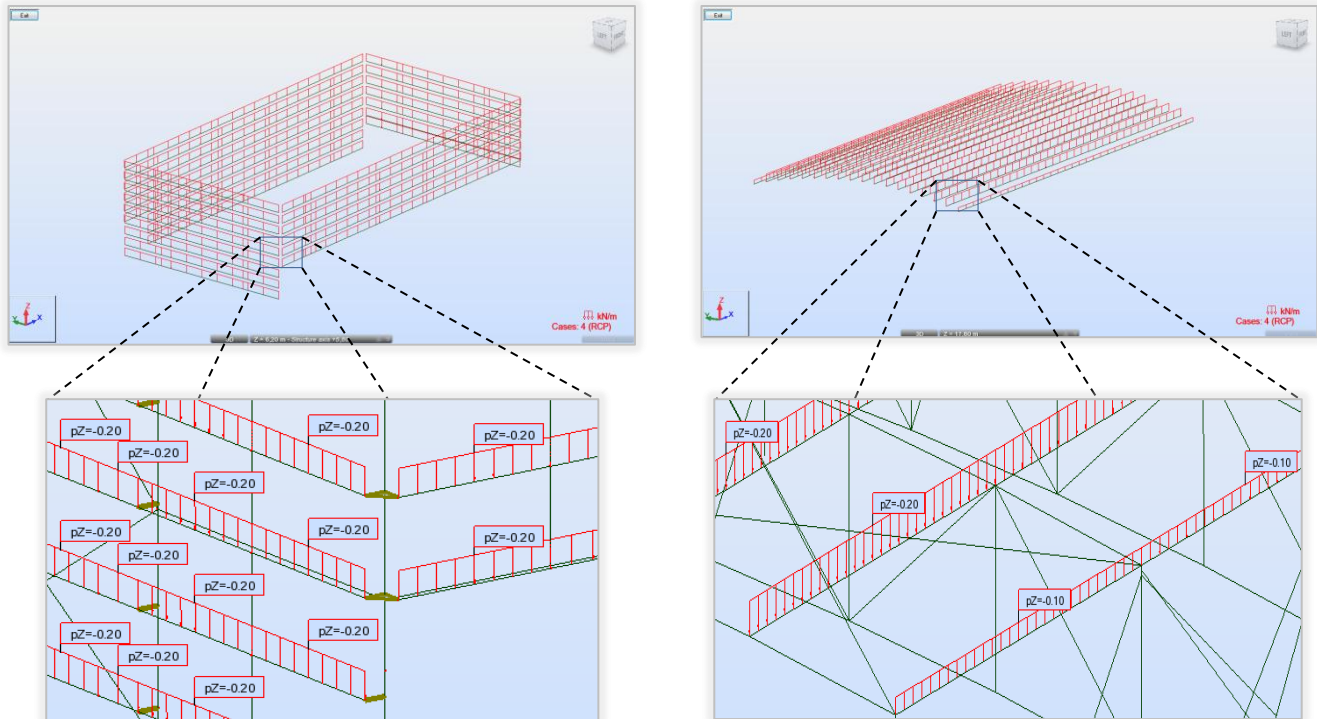


Figura 1.2 – Restantes Cargas Permanentes.

### 1.3 Sobrecargas (SOB)

Nas figuras seguintes está indicado o valor das Sobrecargas (Figura 1.3).

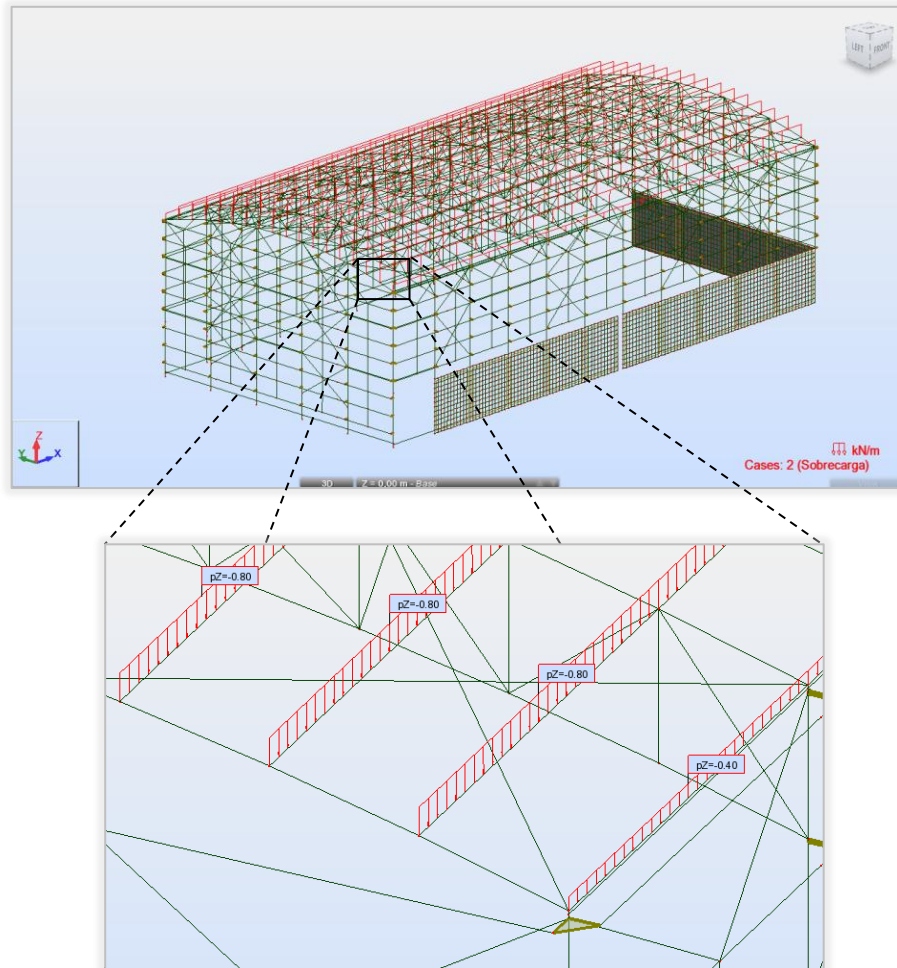
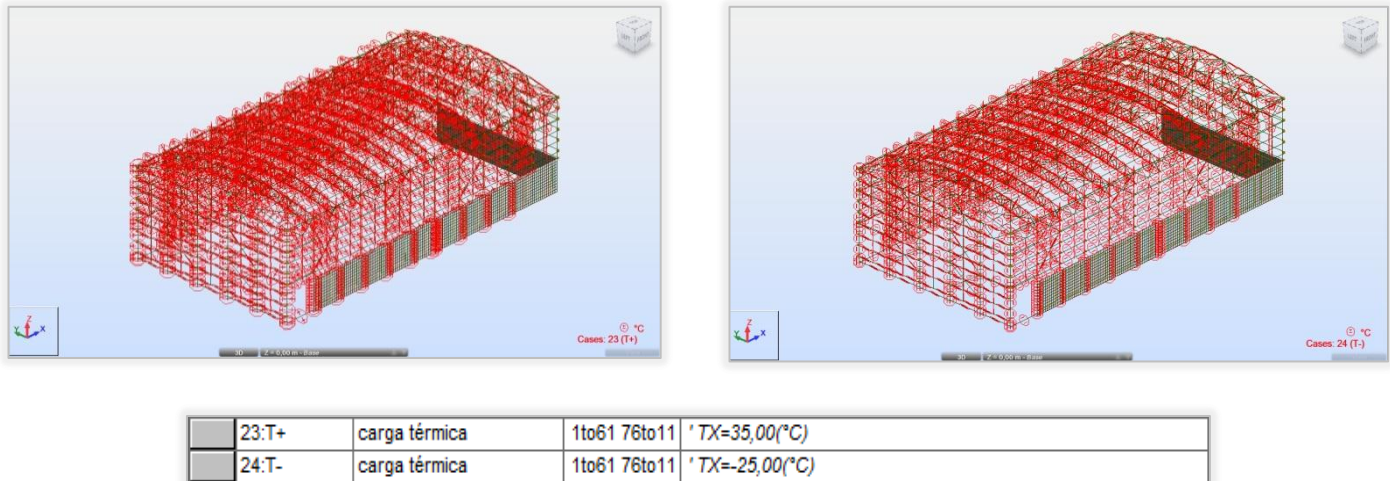


Figura 1.3 – Sobrecargas.

## 1.4 Variação de Temperatura (T)

Variação de Temperatura no modelo em estudo (Figura 1.4).



**Figura 1.4 – Variação de Temperatura.**

## 1.5 Acção do Vento (W)

Considerou-se 4 casos de carga possíveis que reflectem a actuação do vento nas duas direcções (x e y). Esta foi aplicada às madres da estrutura (alçados e cobertura) na forma de força por unidade de comprimento.

As figuras seguintes mostram a aplicação do vento, na direcção x (90°) (Figuras 1.5 e 1.6).

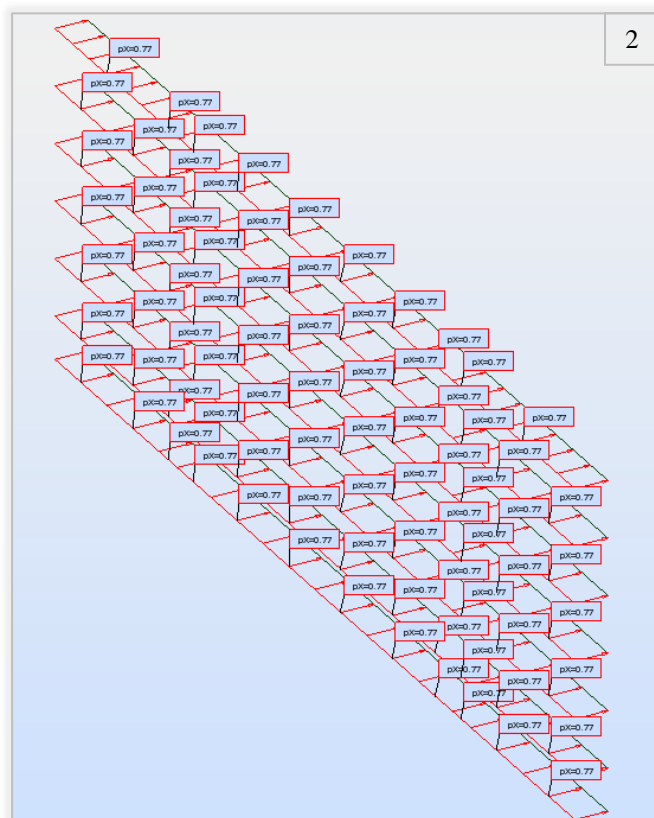
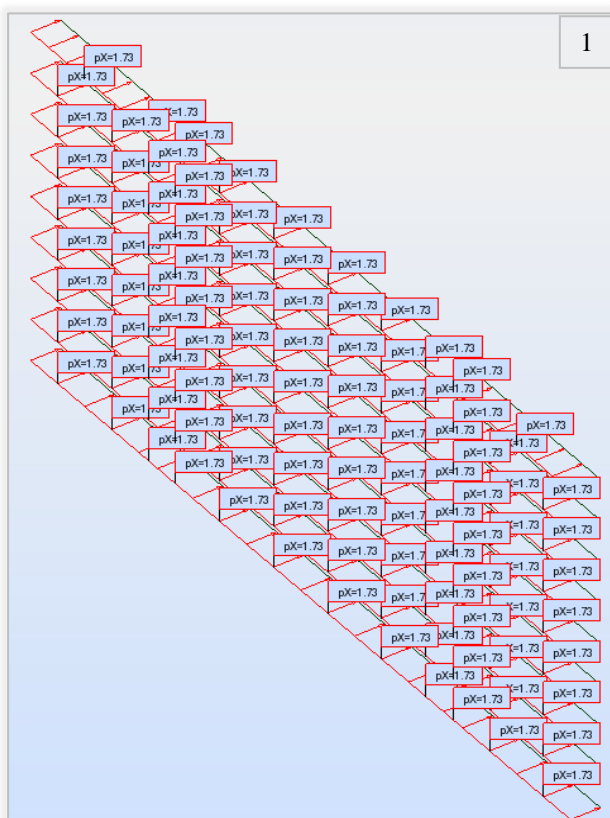
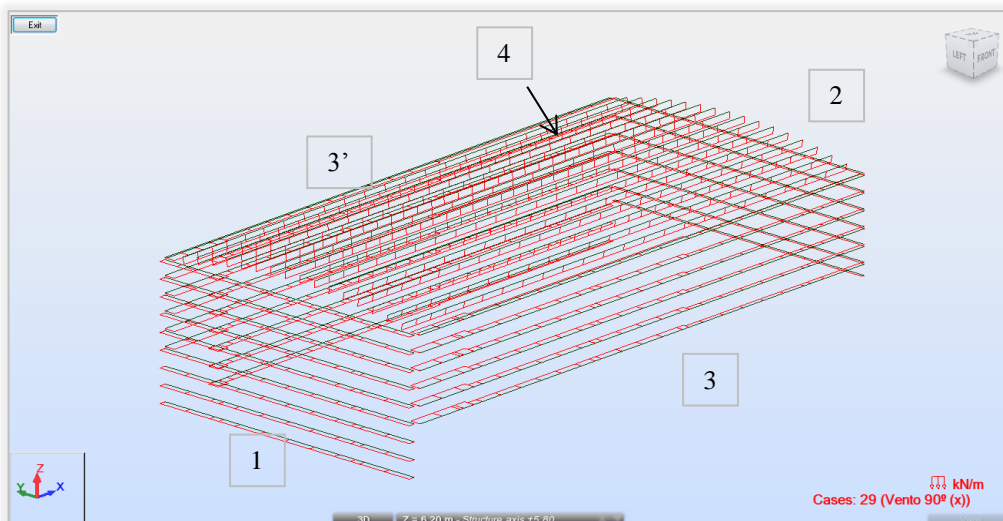


Figura 1.5 – Acção do Vento na direcção X (90°).



## 1.6 Acção Sísmica (E)

Como anteriormente referido, a análise dinâmica devido ao sismo, foi feita a partir da introdução de duas funções que traduzem os Espectros de cálculo  $S_d(t)$  para a Acção Sísmica Tipo 1 e Tipo 2 (Figuras 1.7 e 1.8).

T	$S_{d1}$
0	0,23
0,1	0,58
0,2	0,58
0,3	0,58
0,4	0,58
0,5	0,58
0,6	0,58
0,7	0,5
0,8	0,44
0,9	0,39
1	0,35
1,1	0,32
1,2	0,29
1,3	0,27
1,4	0,25
1,5	0,23
1,6	0,22
1,7	0,21
1,8	0,19
1,9	0,18
2	0,18
2,1	0,16
2,2	0,15
2,3	0,13
2,4	0,12
2,5	0,11
2,6	0,10
2,7	0,10
2,8	0,09
2,9	0,08
3	0,08

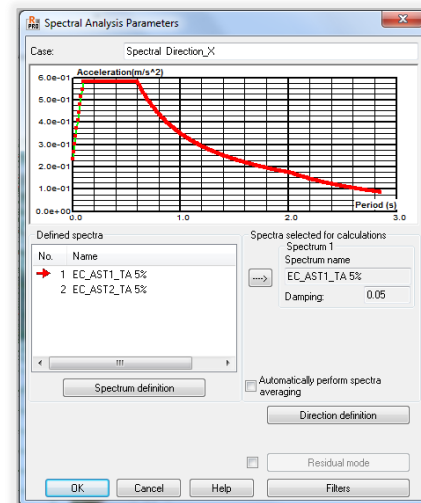
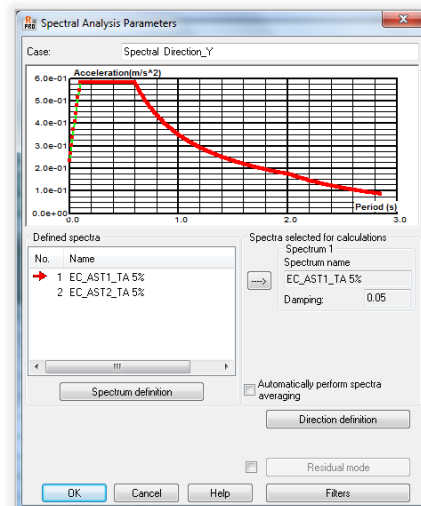


Figura 1.7 – Espectro de resposta - Acção Sísmica Tipo 1.

T	S <sub>d2</sub>
0	0,73
0,1	1,83
0,2	1,83
0,3	1,53
0,4	1,15
0,5	0,92
0,6	0,76
0,7	0,65
0,8	0,57
0,9	0,51
1	0,46
1,1	0,42
1,2	0,38
1,3	0,35
1,4	0,33
1,5	0,31
1,6	0,29
1,7	0,27
1,8	0,25
1,9	0,24
2	0,23
2,1	0,22
2,2	0,22
2,3	0,22
2,4	0,22
2,5	0,22
2,6	0,22
2,7	0,22
2,8	0,22
2,9	0,22
3	0,22

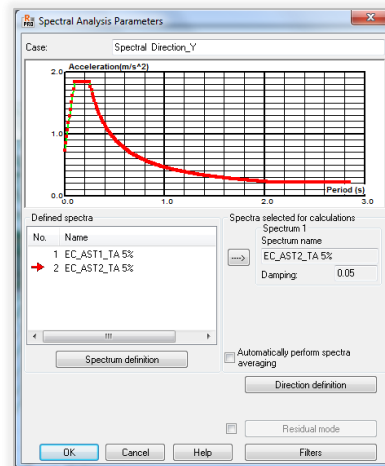
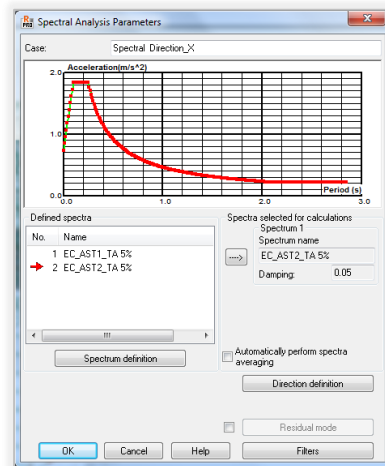


Figura 1.8 – Espectro de resposta - Acção Sísmica Tipo 2

## 1.7 Impulso do material armazenado (I)

As figuras em baixo mostram o Impulso no muro (Figura 1.9).

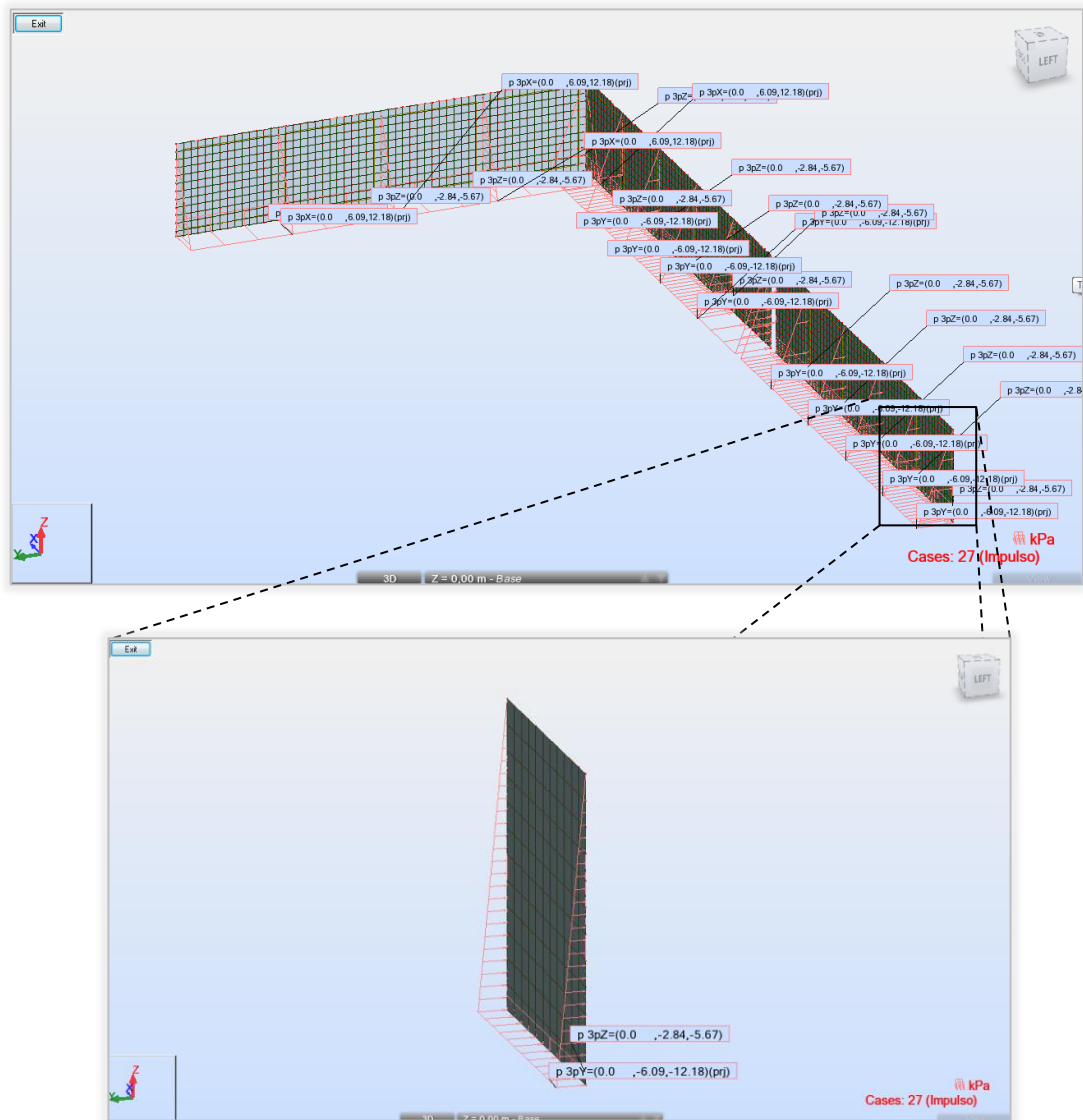


Figura 1.9 – Acção do Impulso.

## 2 DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS METÁLICOS

Com base nas características geométricas e elásticas dos perfis e tendo em conta as expressões analíticas preconizadas no NP EN1993 – Projecto de Estruturas de Aço, foram realizadas tabelas de cálculo em *Excel* e um conjunto de ábacos tendo em conta as expressões e fluxogramas indicados na Memória Descritiva, Capítulo 9.

### 2.1 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS ASNAS DA COBERTURA

#### ❖ Pré-dimensionamento dos cordões da asna

<b>Momento Máximo =</b>	890	kN.m
<b>Altura da Asna =</b>	2	m
<b>Esforço axial máximo nas barras =</b>	445 (890/2)	kN
<b><math>L_{cr,y}</math> (Travamentos) =</b>	6	m
<b><math>L_{cr,z}</math> (Prumos) =</b>	2	m

Através dos Ábacos 1 e 2 tem-se:					
$N_{bRd,y} =$	1100	kN	>	445	OK!
$N_{bRd,z} =$	1250	kN	>	445	OK!

Flecha máxima na asna		
Deslocamento vertical máximo obtido =	3,13	cm
Deslocamento máximo permitido =	13,6	cm

**Conclusão:** Perfil escolhido = HEB 180

#### ❖ Pré-dimensionamento das diagonais da asna

<b>Esforço Transverso na Travessa do pórtico junto ao apoio</b>	153	kN
<b>Esforço Axial máximo nas diagonais (mais solicitadas)</b>	217 (153/COS(45))	kN

<b>Cantoneiras simples (L 80x8)</b>					
<b>Através do Ábaco 4 tem-se:</b>					
$N_{bRd.v} =$	69	kN	<	(217/2)	<b>KO!</b>

<b>Presilhas afastadas (diminui o <math>L_{cr}</math>)</b>	$50 \times i_v =$	<b>780</b>	<b>mm</b>		
<b>Através do Ábaco 4 tem-se:</b>					
$N_{bRd.v} =$	203	kN	>	(217/2)	<b>OK!</b>

**Conclusão:** Optou-se por 2L 80x8 afastados 180mm.

❖ **Pré-dimensionamento dos prumos da asna**

<b>Prumos mais solicitados</b>		
<b>Esforço Axial Máximo nos prumos =</b>	153	kN

<b>Cantoneiras duplas (2L 100x12)</b>					
<b>Através dos ábacos 5 e 6 tem-se:</b>					
$N_{bRd.y} =$	820	kN	>	153	<b>OK!</b>
$N_{bRd.z} =$	1067	kN	>	153	<b>OK!</b>

<b>Cantoneiras simples (L 100x12)</b>					
<b>Através do Ábaco 4 retiramos:</b>					
$N_{bRd.v} =$	253	kN	<	(153/2)	<b>OK!</b>

<b>Presilhas afastadas (diminui o <math>L_{cr}</math>)</b>	$50 \times i_v =$	<b>970</b>	<b>mm</b>		
<b>Através do Ábaco 4 retiramos:</b>					
$N_{bRd.v} =$	375	kN	>	(153/2)	<b>OK!</b>

Quadro de pré-dimensionamento a utilizar no caso de cantoneiras simples traccionadas ligadas numa aba por uma única fiada de parafusos, tendo em conta os critérios recomendáveis de distância entre furos definidos no EC3.

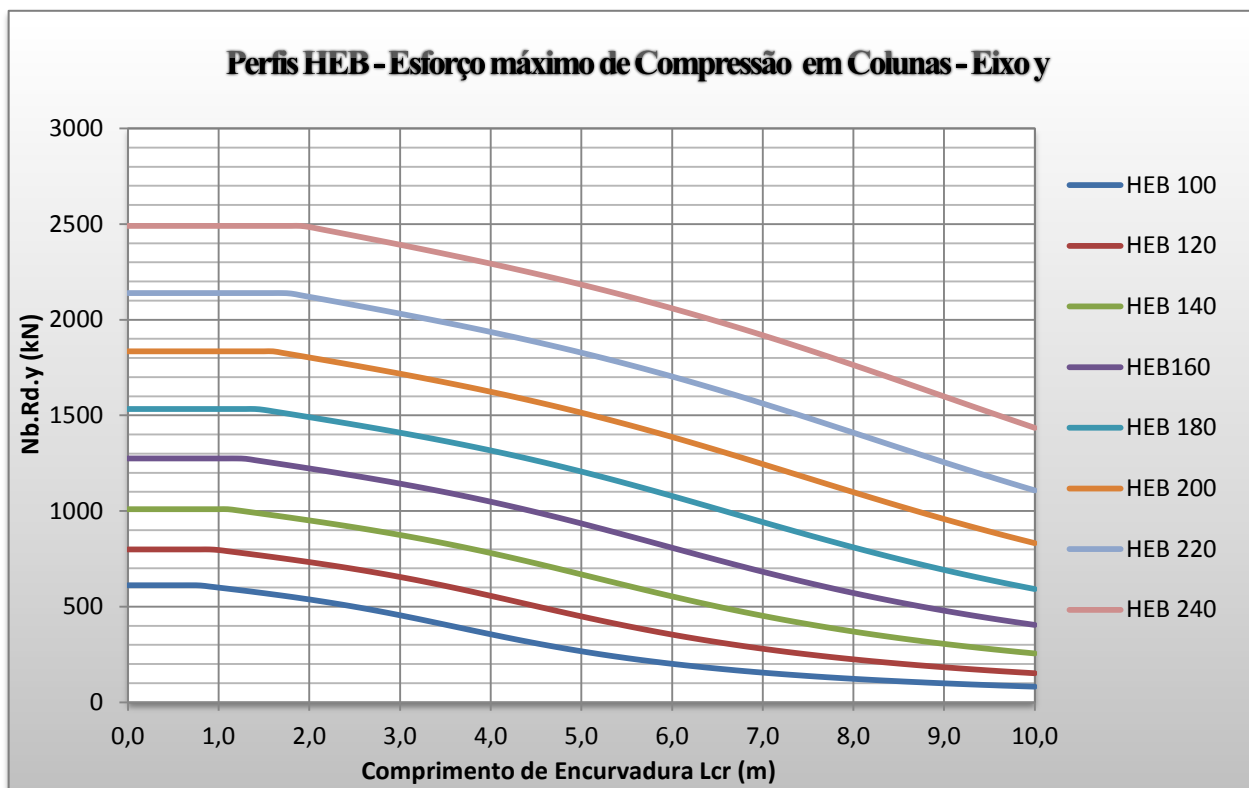
PERFIL	A mm <sup>2</sup> x 10 <sup>2</sup>	Par.	d	e <sub>min</sub> (mm)	e <sub>max</sub> (mm)	A <sub>net</sub> mm <sup>2</sup> x 10 <sup>2</sup>	NtRd (kN)	NuRd (kN)	NnetRd (kN) Lig. Cat. C	e2 (mm)	d0 (mm)	p1 (mm)	NuRd (kN) (*)				
													1 Par.	β2	2 Par.	β3	3 Par.
L 40 x 5	3.79	M 12	12	18	18	3.22	89	83	76	18	13	50	33	0.56	52	0.50	46
L 50 x 6	5.69	M 12	12	18	18	4.84	134	125	114	18	13	50	40	0.56	78	0.50	70
L 60 x 6	6.91	M 12	12	36	40.5	6.13	162	169	144	38	13	50	110	0.56	99	0.50	88
L 60 x 8	9.03	M 16	16	38	40.5	7.99	212	207	188	39	18	50	139	0.43	100	0.50	115
L 65 x 7	8.70	M 16	16	37	38	7.44	204	193	175	38	18	55	115	0.47	100	0.50	107
L 70 x 7	9.40	M 16	16	37	43	8.44	221	211	191	40	18	55	125	0.47	109	0.50	117
L 80 x 8	12.3	M 16	16	38	53	10.83	289	281	255	46	18	55	168	0.47	146	0.50	156
L 90 x 9	15.5	M 20	20	49	51	13.18	364	342	310	50	22	75	202	0.51	193	0.50	190
L 100 x 8	15.5	M 27	27	48	53	13.11	364	340	308	51	30	90	164	0.46	174	0.50	189
L 110 x 10	21.2	M 27	27	50	62	18.18	498	471	427	56	30	90	236	0.46	241	0.50	262
L 120 x 10	23.2	M 27	27	50	72	20.18	545	523	474	61	30	90	265	0.46	267	0.50	291
L 130 x 12	30.0	M 27	27	52	82	26.37	705	684	620	67	30	90	359	0.46	349	0.50	380

(\*) - Cantoneira simples traccionada ligada numa aba por uma única fiada de parafusos

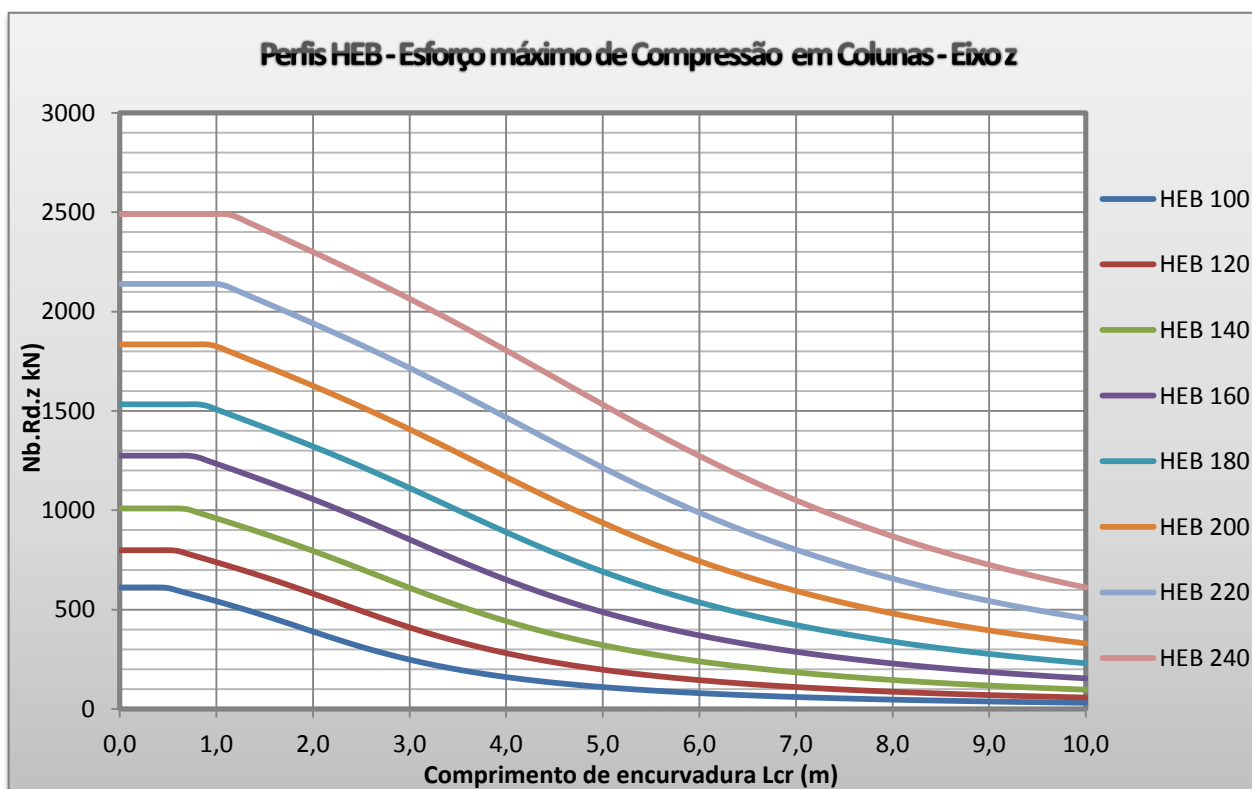
Observação: Este quadro foi igualmente utilizado no pré-dimensionamento das cantoneiras sujeitas à tracção.

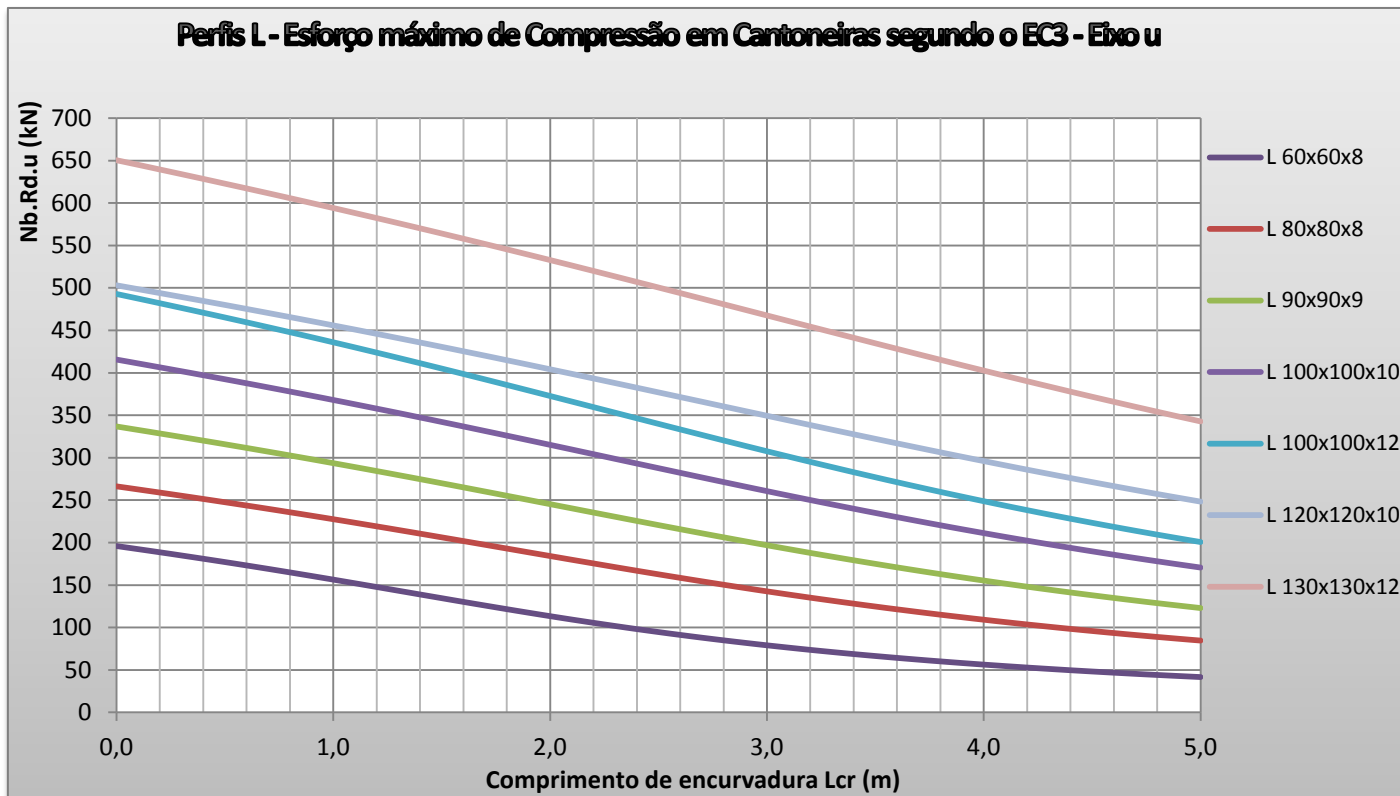
## 2.2 ÁBACOS - RESISTÊNCIA DOS ELEMENTOS SUJEITOS A ENCURVADURA POR COMPRESSÃO ( $N_{b,Rd}$ )

1

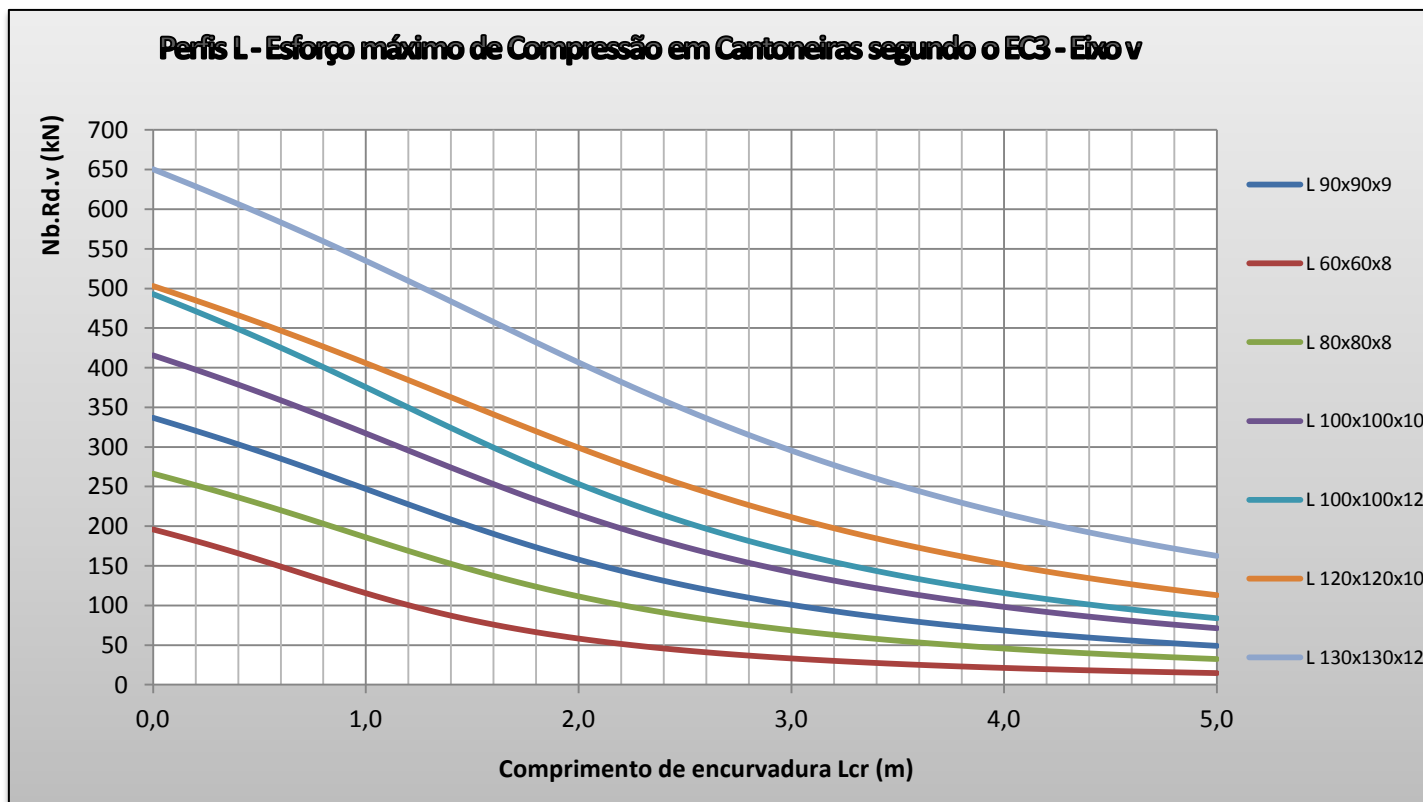


2



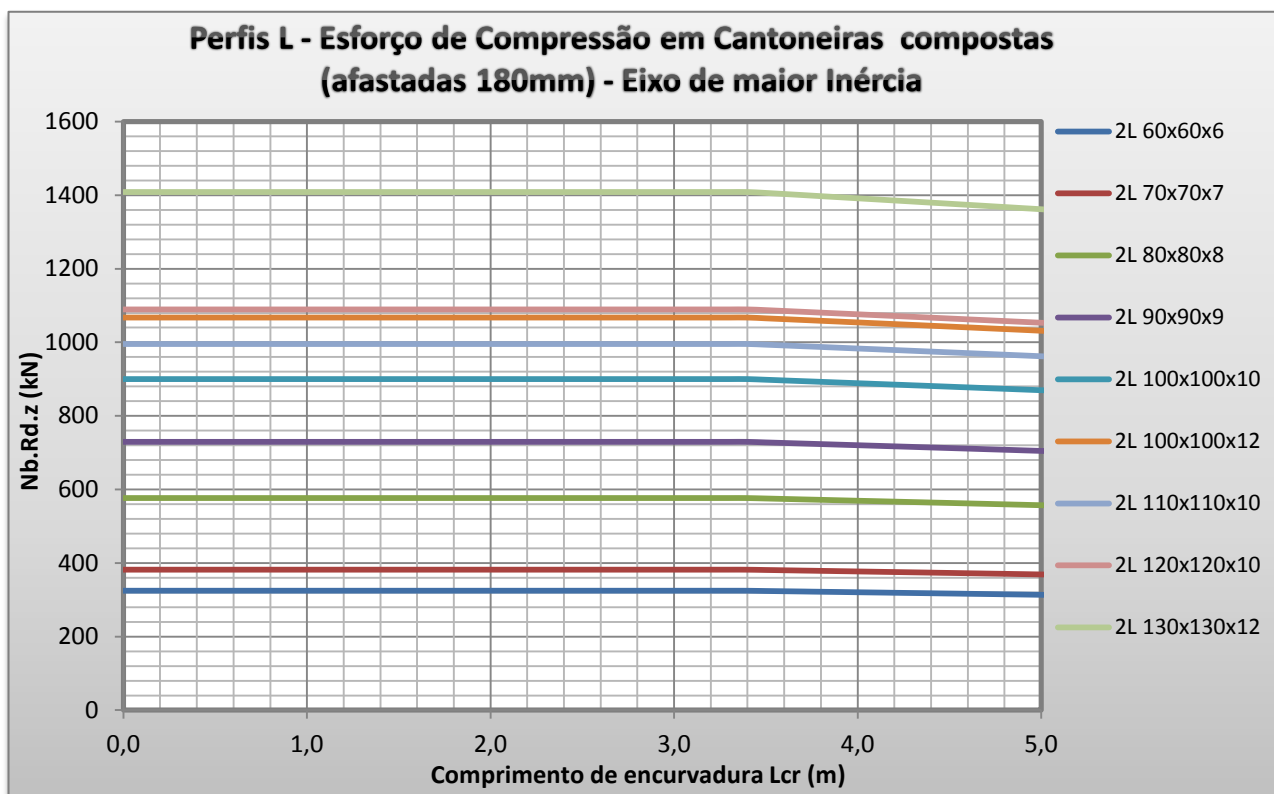


3

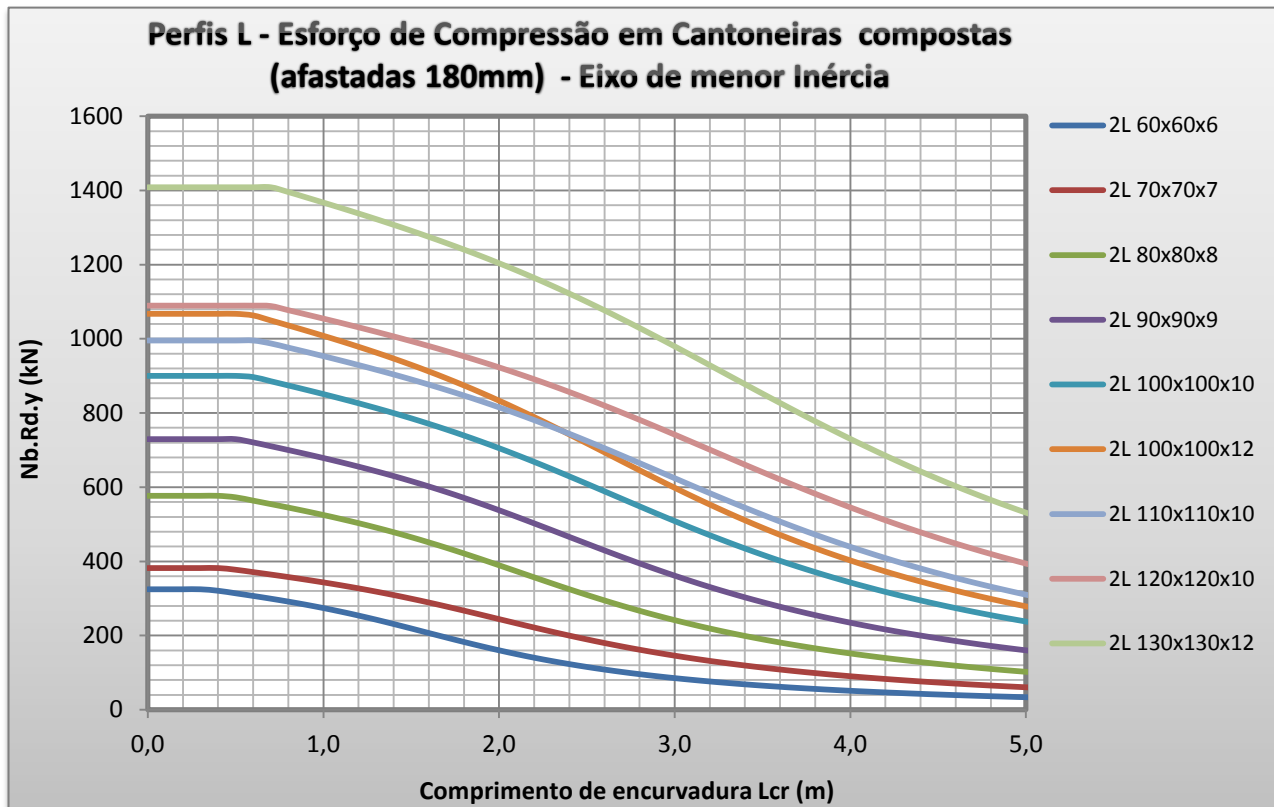


4

5



6



### 2.3 VERIFICAÇÃO DOS PERFIS AOS E.L.U. SEGUNDO A NP EN 1993-1-1 realizada a partir do software "Robot Structural Analysis"

Rácios dos elementos metálicos:

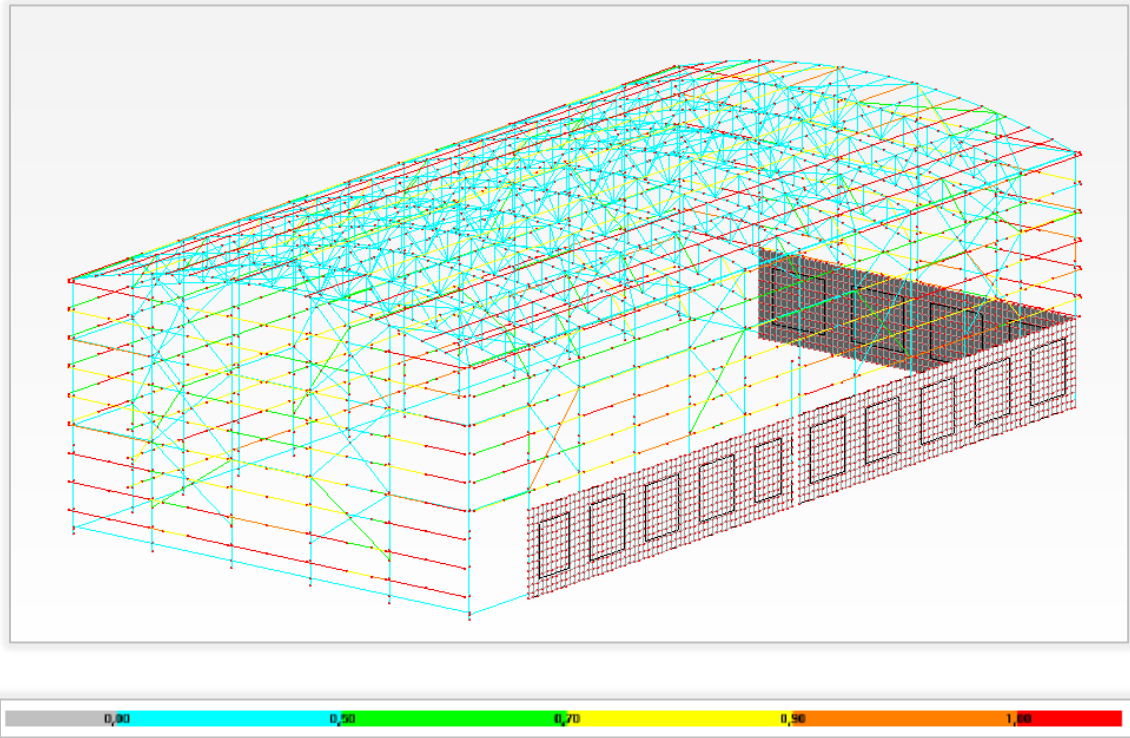


Figura 2.1 – Rácios dos elementos metálicos – Vista Geral.

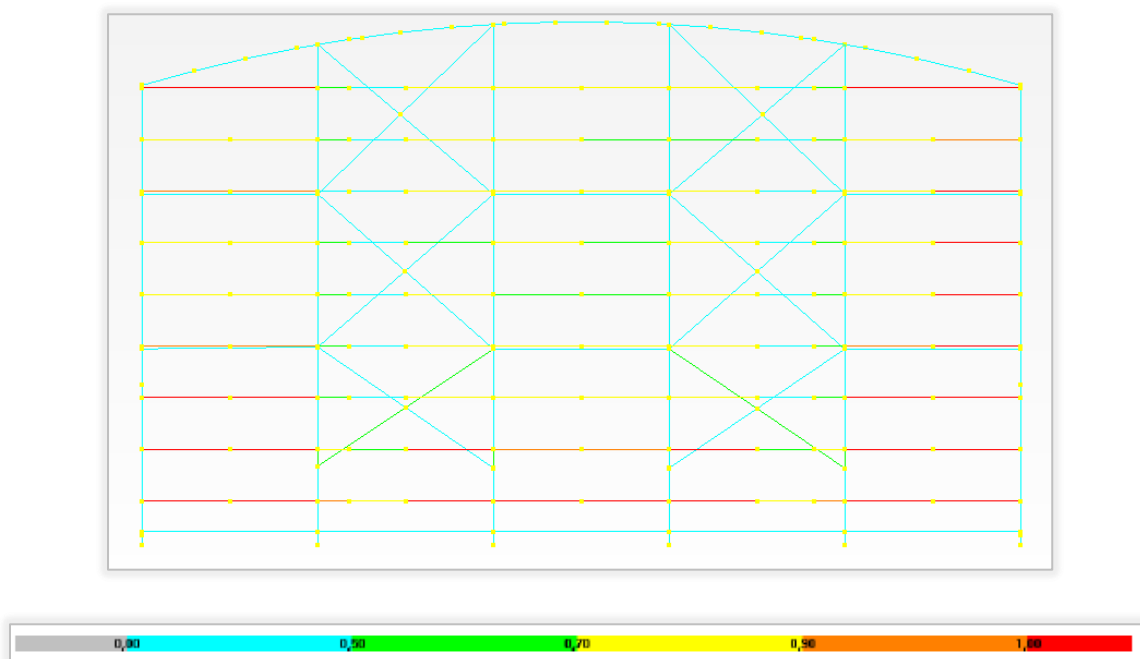


Figura 2.2 – Rácios dos Elementos metálicos – Alçado - Alinhamento A.

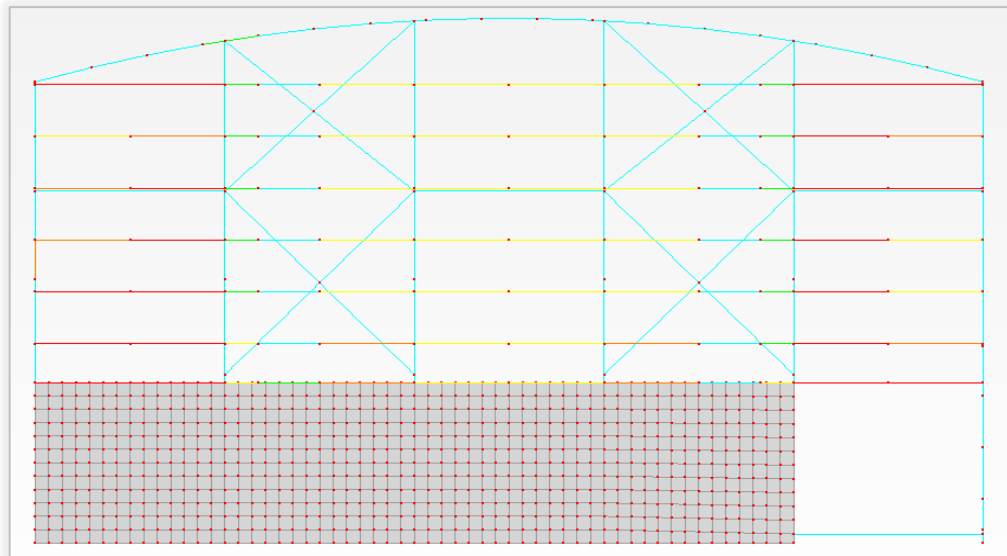


Figura 2.3 – Rácios dos Elementos metálicos – Alçado - Alinhamento L.

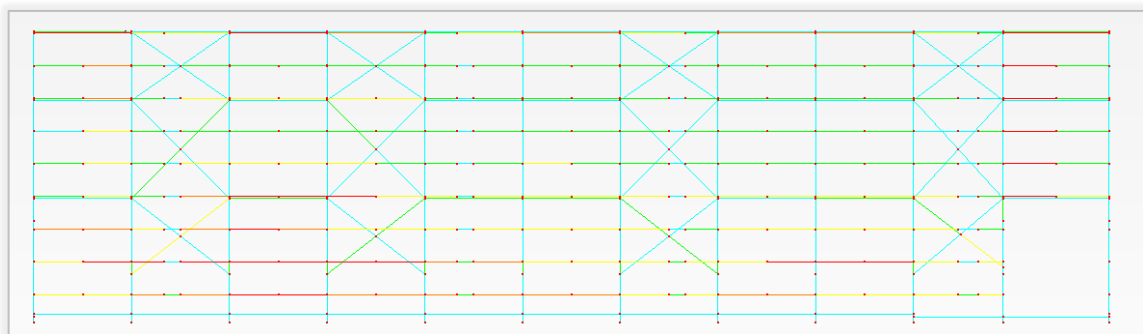


Figura 2.4 – Rácios dos Elementos metálicos – Alçado - Alinhamento 1.

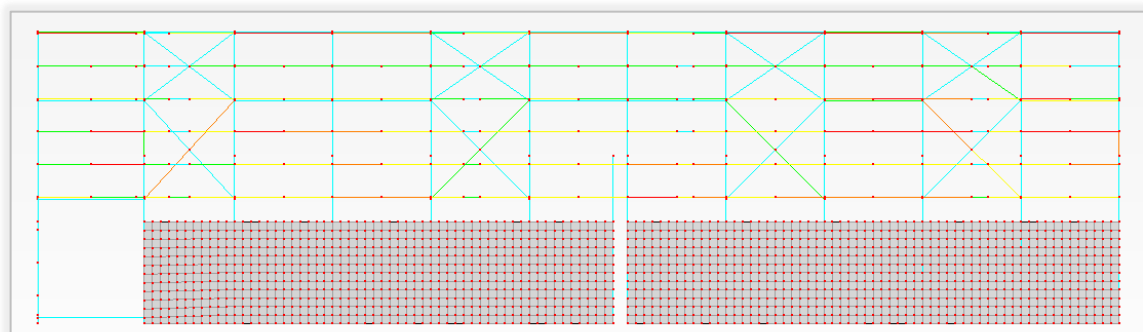


Figura 2.5 – Rácios dos Elementos metálicos – Alçado - Alinhamento 6.

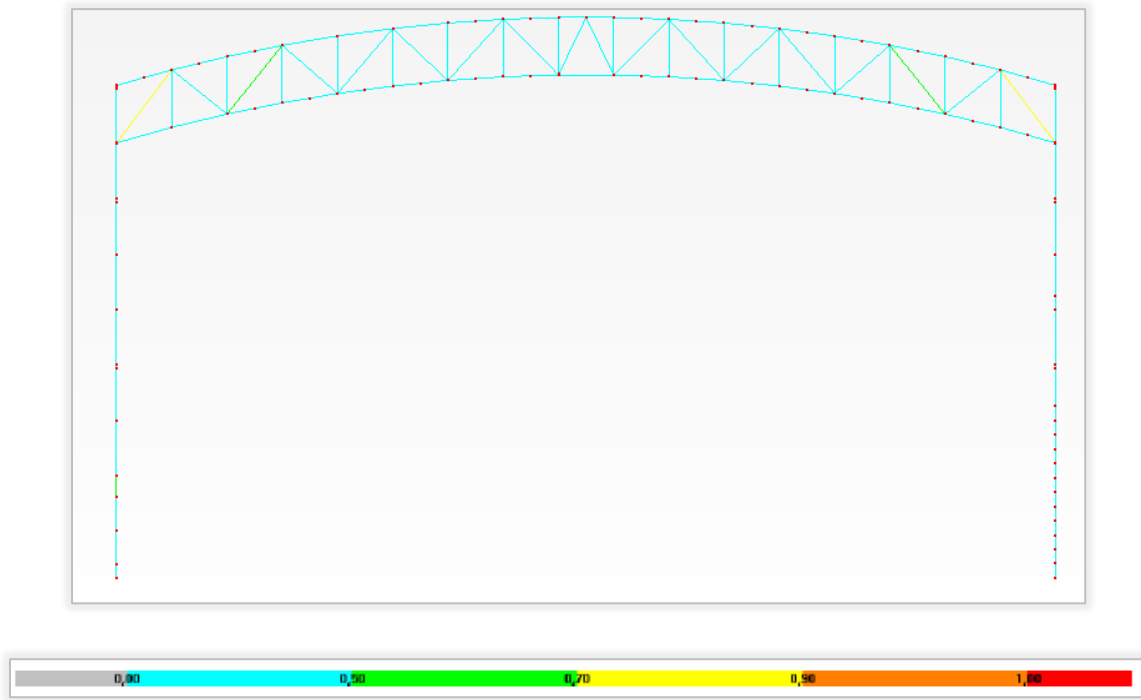


Figura 2.6 – Rácios dos Elementos metálicos – Pórtico central.

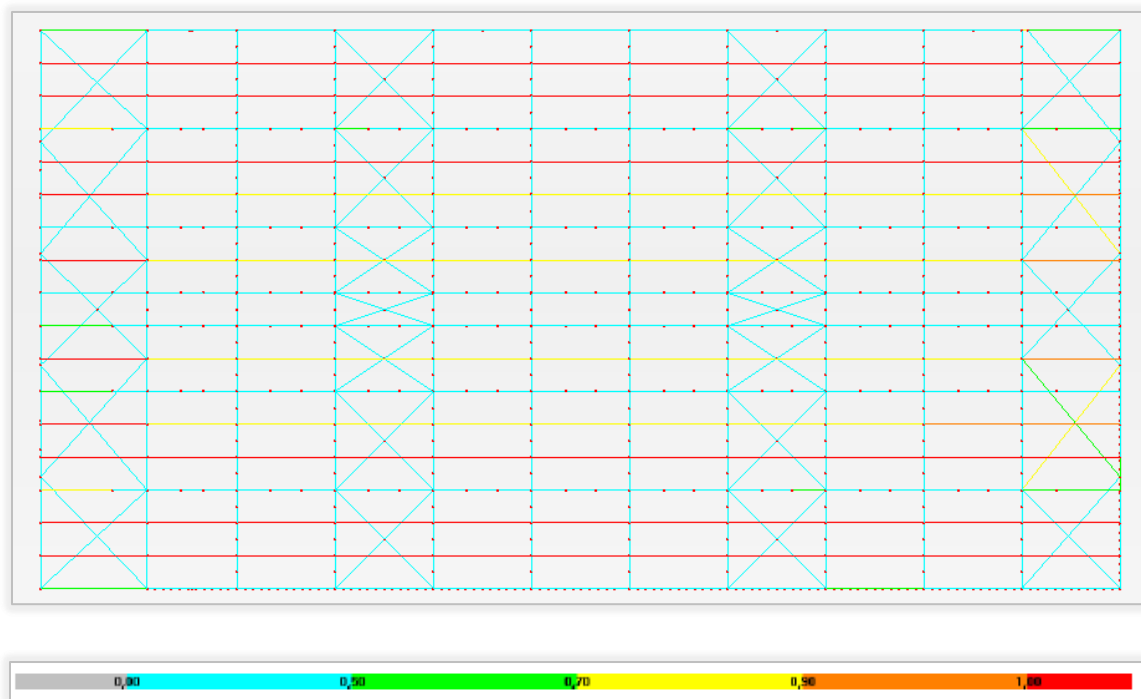


Figura 2.7 – Rácios dos Elementos metálicos – Cobertura.

Tabela 2.1 – Tabela com rácios superiores a 70% dos Elementos metálicos.

Nº Barra	Perfil	Material	$\lambda_y$	$\lambda_z$	Rácio	Combinação
1459	IPE 160	S235	99	353	1.88	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
1283	IPE 160	S235	99	353	1.86	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
1448	IPE 160	S235	99	353	1.82	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
1294	IPE 160	S235	99	353	1.76	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
1942	UPN 160	S235	109	360	1.68	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
1958	UPN 160	S235	109	360	1.63	56 ELU W <sub>y</sub> (T-)
1316	IPE 160	S235	99	353	1.61	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
1293	IPE 160	S235	91	325	1.60	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
1426	IPE 160	S235	99	353	1.57	56 ELU W <sub>y</sub> (T-)
1469	IPE 160	S235	91	325	1.54	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
2231	UPN 160	S235	109	360	1.53	56 ELU W <sub>y</sub> (T-)
1458	IPE 160	S235	91	325	1.52	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
3732	UPN 160	S235	55	180	1.51	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
2195	UPN 160	S235	109	360	1.50	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
3741	UPN 160	S235	55	180	1.47	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
1740	UPN 160	S235	104	344	1.47	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
1304	IPE 160	S235	91	325	1.44	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
1730	UPN 160	S235	96	318	1.42	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
3174	UPN 160	S235	48	159	1.37	62 ELU T+ (W <sub>y</sub> -)
426	UPN 160	S235	52	172	1.36	51 ELU W <sub>x</sub> (T+)
1436	IPE 160	S235	91	325	1.36	56 ELU W <sub>y</sub> (T-)
176	UPN 160	S235	55	180	1.33	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
147	UPN 160	S235	55	180	1.33	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
2559	UPN 160	S235	96	318	1.33	53 ELU W <sub>x</sub> - (T+)
174	UPN 160	S235	55	180	1.33	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
146	UPN 160	S235	55	180	1.33	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
3734	UPN 160	S235	55	180	1.32	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
1326	IPE 160	S235	91	325	1.30	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
3725	UPN 160	S235	55	180	1.28	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
149	UPN 160	S235	55	180	1.28	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
458	UPN 160	S235	52	172	1.28	51 ELU W <sub>x</sub> (T+)
178	UPN 160	S235	55	180	1.26	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
182	UPN 160	S235	55	180	1.26	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
180	UPN 160	S235	55	180	1.25	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
3337	UPN 160	S235	48	159	1.24	60 ELU T+ (W <sub>x</sub> -)
1457	IPE 160	S235	91	325	1.23	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
1732	UPN 160	S235	96	318	1.23	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
1433	IPE 160	S235	91	325	1.23	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
1465	IPE 160	S235	91	325	1.23	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
3763	UPN 160	S235	55	180	1.23	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
148	UPN 160	S235	55	180	1.23	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)

Nº Barra	Perfil	Material	$\lambda_y$	$\lambda_z$	Rácio	Combinação
1466	IPE 160	S235	91	325	1.22	55 ELU Wy (T+)
151	UPN 160	S235	55	180	1.22	57 ELU Wy- (T+)
1461	IPE 160	S235	91	325	1.21	55 ELU Wy (T+)
1468	IPE 160	S235	91	325	1.20	55 ELU Wy (T+)
1462	IPE 160	S235	91	325	1.19	55 ELU Wy (T+)
1432	IPE 160	S235	91	325	1.19	55 ELU Wy (T+)
3530	UPN 160	S235	48	159	1.19	53 ELU Wx- (T+)
1455	IPE 160	S235	91	325	1.18	55 ELU Wy (T+)
3164	UPN 160	S235	48	159	1.18	62 ELU T+ (Wy-)
1303	IPE 160	S235	91	325	1.18	58 ELU Wy- (T-)
1415	IPE 160	S235	99	353	1.18	58 ELU Wy- (T-)
3783	UPN 160	S235	55	180	1.18	57 ELU Wy- (T+)
1454	IPE 160	S235	91	325	1.17	55 ELU Wy (T+)
1435	IPE 160	S235	91	325	1.17	56 ELU Wy (T-)
1463	IPE 160	S235	91	325	1.17	55 ELU Wy (T+)
1464	IPE 160	S235	91	325	1.16	55 ELU Wy (T+)
1451	IPE 160	S235	91	325	1.16	56 ELU Wy (T-)
3749	UPN 160	S235	55	180	1.15	55 ELU Wy (T+)
1431	IPE 160	S235	91	325	1.15	56 ELU Wy (T-)
1323	IPE 160	S235	91	325	1.15	57 ELU Wy- (T+)
1429	IPE 160	S235	91	325	1.14	55 ELU Wy (T+)
1297	IPE 160	S235	91	325	1.14	57 ELU Wy- (T+)
1467	IPE 160	S235	91	325	1.14	55 ELU Wy (T+)
1434	IPE 160	S235	91	325	1.13	56 ELU Wy (T-)
1393	IPE 160	S235	99	353	1.13	58 ELU Wy- (T-)
1292	IPE 160	S235	91	325	1.13	58 ELU Wy- (T-)
189	UPN 160	S235	55	180	1.13	56 ELU Wy (T-)
1325	IPE 160	S235	91	325	1.13	58 ELU Wy- (T-)
3771	UPN 160	S235	55	180	1.13	55 ELU Wy (T+)
1319	IPE 160	S235	91	325	1.13	57 ELU Wy- (T+)
1449	IPE 160	S235	84	298	1.13	56 ELU Wy (T-)
3175	UPN 160	S235	48	159	1.13	60 ELU T+ (Wx-)
3782	UPN 160	S235	55	180	1.12	58 ELU Wy- (T-)
468	UPN 160	S235	52	172	1.12	51 ELU Wx (T+)
1327	IPE 160	S235	99	353	1.12	55 ELU Wy (T+)
1301	IPE 160	S235	91	325	1.12	57 ELU Wy- (T+)
1957	UPN 160	S235	32	106	1.12	62 ELU T+ (Wy-)
3724	UPN 160	S235	55	180	1.12	55 ELU Wy (T+)
2077	UPN 160	S235	96	318	1.12	53 ELU Wx- (T+)
3129	UPN 160	S235	48	159	1.12	62 ELU T+ (Wy-)
1286	IPE 160	S235	91	325	1.12	58 ELU Wy- (T-)
1456	IPE 160	S235	91	325	1.12	55 ELU Wy (T+)
1453	IPE 160	S235	91	325	1.11	56 ELU Wy (T-)

Nº Barra	Perfil	Material	$\lambda_y$	$\lambda_z$	Rácio	Combinação
1450	IPE 160	S235	91	325	1.11	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
1290	IPE 160	S235	91	325	1.11	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
430	UPN 160	S235	52	172	1.11	51 ELU W <sub>x</sub> (T+)
1291	IPE 160	S235	91	325	1.10	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
1452	IPE 160	S235	91	325	1.10	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
1285	IPE 160	S235	91	325	1.10	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
1299	IPE 160	S235	91	325	1.10	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
332	UPN 160	S235	96	318	1.10	52 ELU W <sub>x</sub> (T-)
3528	UPN 160	S235	48	159	1.09	53 ELU W <sub>x</sub> - (T+)
1289	IPE 160	S235	91	325	1.09	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
1321	IPE 160	S235	91	325	1.09	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
1322	IPE 160	S235	91	325	1.09	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
1349	IPE 160	S235	99	353	1.09	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
370	UPN 160	S235	52	172	1.09	51 ELU W <sub>x</sub> (T+)
1318	IPE 160	S235	91	325	1.09	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
1428	IPE 160	S235	91	325	1.09	56 ELU W <sub>y</sub> (T-)
1288	IPE 160	S235	91	325	1.09	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
21	UPN 160	S235	55	180	1.08	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
1430	IPE 160	S235	91	325	1.08	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
1302	IPE 160	S235	91	325	1.08	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
3723	UPN 160	S235	55	180	1.08	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
1300	IPE 160	S235	91	325	1.08	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
200	UPN 160	S235	55	180	1.08	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
3748	UPN 160	S235	55	180	1.08	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
1287	IPE 160	S235	91	325	1.08	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
3770	UPN 160	S235	55	180	1.08	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
1320	IPE 160	S235	91	325	1.08	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
233	UPN 160	S235	55	180	1.08	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
232	UPN 160	S235	55	180	1.08	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
1298	IPE 160	S235	91	325	1.08	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
153	UPN 160	S235	55	180	1.08	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
3165	UPN 160	S235	48	159	1.07	60 ELU T+ (W <sub>x</sub> -)
1324	IPE 160	S235	91	325	1.07	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
1295	IPE 160	S235	84	298	1.07	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
191	UPN 160	S235	55	180	1.07	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
1296	IPE 160	S235	91	325	1.07	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
3130	UPN 160	S235	48	159	1.07	60 ELU T+ (W <sub>x</sub> -)
2082	UPN 160	S235	96	318	1.07	51 ELU W <sub>x</sub> (T+)
3731	UPN 160	S235	55	180	1.06	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
838	UPN 160	S235	48	159	1.06	62 ELU T+ (W <sub>y</sub> -)
3279	UPN 160	S235	48	159	1.06	61 ELU T+ (W <sub>y</sub> )
3176	UPN 160	S235	48	159	1.06	60 ELU T+ (W <sub>x</sub> -)

Nº Barra	Perfil	Material	$\lambda_y$	$\lambda_z$	Rácio	Combinação
1460	IPE 160	S235	84	298	1.05	56 ELU Wy (T-)
181	UPN 160	S235	55	180	1.05	55 ELU Wy (T+)
446	UPN 160	S235	52	172	1.05	51 ELU Wx (T+)
186	UPN 160	S235	55	180	1.04	56 ELU Wy (T-)
3453	UPN 160	S235	48	159	1.04	53 ELU Wx- (T+)
3177	UPN 160	S235	48	159	1.04	60 ELU T+ (Wx-)
422	UPN 160	S235	52	172	1.04	58 ELU Wy- (T-)
3277	UPN 160	S235	48	159	1.03	61 ELU T+ (Wy)
204	UPN 160	S235	55	180	1.03	57 ELU Wy- (T+)
1427	IPE 160	S235	84	298	1.03	55 ELU Wy (T+)
39	UPN 160	S235	55	180	1.03	55 ELU Wy (T+)
3172	UPN 160	S235	48	159	1.03	62 ELU T+ (Wy-)
3314	UPN 160	S235	48	159	1.03	60 ELU T+ (Wx-)
195	UPN 160	S235	55	180	1.02	55 ELU Wy (T+)
3529	UPN 160	S235	48	159	1.02	61 ELU T+ (Wy)
1042	UPN 160	S235	48	159	1.02	62 ELU T+ (Wy-)
3730	UPN 160	S235	55	180	1.02	57 ELU Wy- (T+)
3090	UPN 160	S235	48	159	1.02	62 ELU T+ (Wy-)
2554	UPN 160	S235	96	318	1.01	53 ELU Wx- (T+)
1284	IPE 160	S235	84	298	1.01	58 ELU Wy- (T-)
2937	UPN 160	S235	48	159	1.01	60 ELU T+ (Wx-)
660	UPN 160	S235	48	159	1.01	61 ELU T+ (Wy)
3280	UPN 160	S235	48	159	1.01	60 ELU T+ (Wx-)
837	UPN 160	S235	48	159	1.00	59 ELU T+ (Wx)
3727	UPN 160	S235	55	180	1.00	56 ELU Wy (T-)
1317	IPE 160	S235	84	298	1.00	58 ELU Wy- (T-)
164	UPN 160	S235	55	180	1.00	58 ELU Wy- (T-)
1403	IPE 160	S235	91	325	1.00	57 ELU Wy- (T+)
1359	IPE 160	S235	91	325	1.00	57 ELU Wy- (T+)
3316	UPN 160	S235	48	159	0.99	60 ELU T+ (Wx-)
2961	UPN 160	S235	48	159	0.99	60 ELU T+ (Wx-)
1917	UPN 160	S235	32	106	0.99	62 ELU T+ (Wy-)
2079	UPN 160	S235	96	318	0.99	53 ELU Wx- (T+)
1425	IPE 160	S235	91	325	0.98	58 ELU Wy- (T-)
3335	UPN 160	S235	48	159	0.98	60 ELU T+ (Wx-)
3728	UPN 160	S235	55	180	0.98	55 ELU Wy (T+)
1044	UPN 160	S235	48	159	0.98	59 ELU T+ (Wx)
3339	UPN 160	S235	48	159	0.98	60 ELU T+ (Wx-)
1733	UPN 160	S235	96	318	0.97	58 ELU Wy- (T-)
1043	UPN 160	S235	48	159	0.97	59 ELU T+ (Wx)
1886	UPN 160	S235	32	106	0.97	61 ELU T+ (Wy)
1424	IPE 160	S235	91	325	0.97	58 ELU Wy- (T-)

Nº Barra	Perfil	Material	$\lambda_y$	$\lambda_z$	Rácio	Combinação
2932	UPN 160	S235	48	159	0.97	60 ELU T+ (Wx-)
3780	UPN 160	S235	55	180	0.97	54 ELU Wx- (T-)
3347	UPN 160	S235	48	159	0.97	60 ELU T+ (Wx-)
237	UPN 160	S235	55	180	0.97	51 ELU Wx (T+)
2928	UPN 160	S235	48	159	0.97	59 ELU T+ (Wx)
3278	UPN 160	S235	48	159	0.97	60 ELU T+ (Wx-)
3173	UPN 160	S235	48	159	0.97	60 ELU T+ (Wx-)
2557	UPN 160	S235	96	318	0.96	57 ELU Wy- (T+)
1980	UPN 160	S235	32	106	0.96	60 ELU T+ (Wx-)
1724	UPN 160	S235	48	159	0.96	59 ELU T+ (Wx)
3785	UPN 160	S235	55	180	0.96	57 ELU Wy- (T+)
3721	UPN 160	S235	55	180	0.96	55 ELU Wy (T+)
2555	UPN 160	S235	96	318	0.96	51 ELU Wx (T+)
235	UPN 160	S235	55	180	0.96	51 ELU Wx (T+)
1725	UPN 160	S235	48	159	0.96	59 ELU T+ (Wx)
1888	UPN 160	S235	32	106	0.96	61 ELU T+ (Wy)
155	UPN 160	S235	55	180	0.95	57 ELU Wy- (T+)
1738	UPN 160	S235	96	318	0.95	52 ELU Wx (T-)
3293	PIPE_193,7x6,3	S235	64	64	0.95	59 ELU T+ (Wx)
612	PIPE_193,7x6,3	S235	61	61	0.95	61 ELU T+ (Wy)
166	UPN 160	S235	55	180	0.94	57 ELU Wy- (T+)
3127	UPN 160	S235	48	159	0.94	60 ELU T+ (Wx-)
184	UPN 160	S235	55	180	0.94	55 ELU Wy (T+)
3714	IPE 600	S235	31	43	0.94	59 ELU T+ (Wx)
1337	IPE 160	S235	91	325	0.94	56 ELU Wy (T-)
965	UPN 160	S235	48	159	0.94	61 ELU T+ (Wy)
156	UPN 160	S235	55	180	0.94	57 ELU Wy- (T+)
3128	UPN 160	S235	48	159	0.93	60 ELU T+ (Wx-)
1735	UPN 160	S235	96	318	0.93	54 ELU Wx- (T-)
969	UPN 160	S235	48	159	0.93	59 ELU T+ (Wx)
198	UPN 160	S235	55	180	0.93	55 ELU Wy (T+)
3768	UPN 160	S235	55	180	0.93	55 ELU Wy (T+)
3762	UPN 160	S235	55	180	0.93	58 ELU Wy- (T-)
1952	UPN 160	S235	64	212	0.93	53 ELU Wx- (T+)
3531	UPN 160	S235	48	159	0.93	53 ELU Wx- (T+)
3765	UPN 160	S235	55	180	0.93	57 ELU Wy- (T+)
968	UPN 160	S235	48	159	0.92	61 ELU T+ (Wy)
3726	UPN 160	S235	55	180	0.92	56 ELU Wy (T-)
76	UPN 160	S235	19	64	0.92	62 ELU T+ (Wy-)
3285	UPN 160	S235	48	159	0.92	60 ELU T+ (Wx-)
3450	UPN 160	S235	48	159	0.92	53 ELU Wx- (T+)
1847	UPN 160	S235	19	64	0.92	61 ELU T+ (Wy)

Nº Barra	Perfil	Material	$\lambda_y$	$\lambda_z$	Rácio	Combinação
3449	UPN 160	S235	48	159	0.92	58 ELU Wy- (T-)
577	PIPE_193,7x6,3	S235	61	61	0.92	62 ELU T+ (Wy-)
3451	UPN 160	S235	48	159	0.92	53 ELU Wx- (T+)
1920	UPN 160	S235	32	106	0.92	60 ELU T+ (Wx-)
3286	UPN 160	S235	48	159	0.91	60 ELU T+ (Wx-)
659	UPN 160	S235	48	159	0.91	59 ELU T+ (Wx)
3729	UPN 160	S235	55	180	0.91	58 ELU Wy- (T-)
3018	UPN 160	S235	48	159	0.91	60 ELU T+ (Wx-)
967	UPN 160	S235	48	159	0.90	59 ELU T+ (Wx)
3310	UPN 160	S235	48	159	0.90	60 ELU T+ (Wx-)
3447	UPN 160	S235	48	159	0.90	53 ELU Wx- (T+)
1164	UPN 160	S235	48	159	0.90	59 ELU T+ (Wx)
3003	UPN 160	S235	48	159	0.90	61 ELU T+ (Wy)
1400	IPE 160	S235	91	325	0.90	57 ELU Wy- (T+)
656	UPN 160	S235	48	159	0.90	61 ELU T+ (Wy)
3019	UPN 160	S235	48	159	0.90	61 ELU T+ (Wy)
966	UPN 160	S235	48	159	0.90	61 ELU T+ (Wy)
1970	UPN 160	S235	32	106	0.90	61 ELU T+ (Wy)
1147	UPN 160	S235	48	159	0.90	61 ELU T+ (Wy)
655	UPN 160	S235	48	159	0.90	59 ELU T+ (Wx)
3532	UPN 160	S235	48	159	0.89	53 ELU Wx- (T+)
3526	UPN 160	S235	48	159	0.89	56 ELU Wy (T-)
209	UPN 160	S235	55	180	0.89	55 ELU Wy (T+)
459	UPN 160	S235	52	172	0.89	62 ELU T+ (Wy-)
3131	UPN 160	S235	48	159	0.89	62 ELU T+ (Wy-)
206	UPN 160	S235	55	180	0.89	55 ELU Wy (T+)
41	UPN 160	S235	55	180	0.89	57 ELU Wy- (T+)
836	UPN 160	S235	48	159	0.89	59 ELU T+ (Wx)
3443	UPN 160	S235	48	159	0.88	53 ELU Wx- (T+)
3016	UPN 160	S235	48	159	0.88	60 ELU T+ (Wx-)
637	UPN 160	S235	44	146	0.88	59 ELU T+ (Wx)
1416	IPE 160	S235	84	298	0.88	58 ELU Wy- (T-)
3294	PIPE_193,7x6,3	S235	64	64	0.88	59 ELU T+ (Wx)
1006	UPN 160	S235	48	159	0.88	59 ELU T+ (Wx)
835	UPN 160	S235	48	159	0.88	59 ELU T+ (Wx)
3452	UPN 160	S235	48	159	0.88	53 ELU Wx- (T+)
3298	PIPE_193,7x6,3	S235	57	57	0.88	59 ELU T+ (Wx)
3343	UPN 160	S235	48	159	0.88	53 ELU Wx- (T+)
3746	UPN 160	S235	55	180	0.88	55 ELU Wy (T+)
3281	UPN 160	S235	48	159	0.87	60 ELU T+ (Wx-)
3017	UPN 160	S235	48	159	0.87	61 ELU T+ (Wy)
3533	UPN 160	S235	48	159	0.87	53 ELU Wx- (T+)

Nº Barra	Perfil	Material	$\lambda_y$	$\lambda_z$	Rácio	Combinação
3781	UPN 160	S235	55	180	0.87	56 ELU W <sub>y</sub> (T-)
1402	IPE 160	S235	91	325	0.87	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
1962	UPN 160	S235	32	106	0.87	60 ELU T+ (W <sub>x</sub> -)
1722	UPN 160	S235	48	159	0.87	62 ELU T+ (W <sub>y</sub> -)
172	UPN 160	S235	55	180	0.87	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
1041	UPN 160	S235	48	159	0.87	59 ELU T+ (W <sub>x</sub> )
1422	IPE 160	S235	91	325	0.87	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
3743	UPN 160	S235	55	180	0.87	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
1356	IPE 160	S235	91	325	0.86	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
1336	IPE 160	S235	91	325	0.86	56 ELU W <sub>y</sub> (T-)
3761	UPN 160	S235	55	180	0.86	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
3282	UPN 160	S235	48	159	0.86	60 ELU T+ (W <sub>x</sub> -)
1954	UPN 160	S235	64	212	0.86	53 ELU W <sub>x</sub> - (T+)
190	UPN 160	S235	55	180	0.86	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
3091	UPN 160	S235	48	159	0.86	60 ELU T+ (W <sub>x</sub> -)
241	UPN 160	S235	55	180	0.86	51 ELU W <sub>x</sub> (T+)
3132	UPN 160	S235	48	159	0.86	60 ELU T+ (W <sub>x</sub> -)
1421	IPE 160	S235	91	325	0.86	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
1871	UPN 160	S235	64	212	0.86	51 ELU W <sub>x</sub> (T+)
964	UPN 160	S235	48	159	0.86	59 ELU T+ (W <sub>x</sub> )
239	UPN 160	S235	55	180	0.86	51 ELU W <sub>x</sub> (T+)
1926	UPN 160	S235	32	106	0.85	59 ELU T+ (W <sub>x</sub> )
1588	UPN 160	S235	48	159	0.85	51 ELU W <sub>x</sub> (T+)
133	UPN 160	S235	24	79	0.85	61 ELU T+ (W <sub>y</sub> )
3534	UPN 160	S235	48	159	0.85	53 ELU W <sub>x</sub> - (T+)
3778	UPN 160	S235	55	180	0.85	53 ELU W <sub>x</sub> - (T+)
1007	UPN 160	S235	48	159	0.85	62 ELU T+ (W <sub>y</sub> -)
618	UPN 160	S235	32	106	0.85	61 ELU T+ (W <sub>y</sub> )
1200	UPN 160	S235	48	159	0.85	59 ELU T+ (W <sub>x</sub> )
163	UPN 160	S235	55	180	0.85	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
617	UPN 160	S235	44	146	0.84	59 ELU T+ (W <sub>x</sub> )
167	UPN 160	S235	55	180	0.84	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
193	UPN 160	S235	55	180	0.84	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
658	UPN 160	S235	48	159	0.84	61 ELU T+ (W <sub>y</sub> )
2988	UPN 160	S235	48	159	0.84	61 ELU T+ (W <sub>y</sub> )
1587	UPN 160	S235	48	159	0.84	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
188	UPN 160	S235	55	180	0.84	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
3745	UPN 160	S235	55	180	0.84	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
1145	UPN 160	S235	48	159	0.84	59 ELU T+ (W <sub>x</sub> )
3744	UPN 160	S235	55	180	0.84	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
1358	IPE 160	S235	91	325	0.84	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
657	UPN 160	S235	48	159	0.84	59 ELU T+ (W <sub>x</sub> )

Nº Barra	Perfil	Material	$\lambda_y$	$\lambda_z$	Rácio	Combinação
1399	IPE 160	S235	91	325	0.83	57 ELU Wy- (T+)
1849	UPN 160	S235	19	64	0.83	59 ELU T+ (Wx)
1723	UPN 160	S235	48	159	0.83	62 ELU T+ (Wy-)
1819	UPN 160	S235	19	64	0.83	59 ELU T+ (Wx)
3439	UPN 160	S235	48	159	0.83	58 ELU Wy- (T-)
872	2 CAE 80x8	S235	137	29	0.83	63 ELU T- (Wx)
245	UPN 160	S235	55	180	0.83	51 ELU Wx (T+)
630	UPN 160	S235	64	212	0.83	51 ELU Wx (T+)
633	UPN 160	S235	44	146	0.83	59 ELU T+ (Wx)
3772	UPN 160	S235	55	180	0.83	54 ELU Wx- (T-)
3537	IPE 160	S235	5	19	0.83	58 ELU Wy- (T-)
1636	UPN 160	S235	48	159	0.82	51 ELU Wx (T+)
160	UPN 160	S235	55	180	0.82	57 ELU Wy- (T+)
3767	UPN 160	S235	55	180	0.82	57 ELU Wy- (T+)
3766	UPN 160	S235	55	180	0.82	57 ELU Wy- (T+)
158	UPN 160	S235	55	180	0.82	57 ELU Wy- (T+)
1040	UPN 160	S235	48	159	0.82	57 ELU Wy- (T+)
3737	UPN 160	S235	55	180	0.82	54 ELU Wx- (T-)
1330	IPE 160	S235	91	325	0.82	57 ELU Wy- (T+)
889	2 CAE 80x8	S235	137	29	0.82	63 ELU T- (Wx)
162	UPN 160	S235	55	180	0.82	57 ELU Wy- (T+)
1418	IPE 160	S235	91	325	0.82	56 ELU Wy (T-)
1649	UPN 160	S235	48	159	0.82	51 ELU Wx (T+)
3776	UPN 160	S235	55	180	0.81	56 ELU Wy (T-)
3445	UPN 160	S235	48	159	0.81	53 ELU Wx- (T+)
3760	UPN 160	S235	55	180	0.81	53 ELU Wx- (T+)
3297	PIPE_193,7x6,3	S235	57	57	0.81	59 ELU T+ (Wx)
3787	UPN 160	S235	55	180	0.81	57 ELU Wy- (T+)
3786	UPN 160	S235	55	180	0.81	57 ELU Wy- (T+)
1637	UPN 160	S235	48	159	0.81	55 ELU Wy (T+)
3751	UPN 160	S235	55	180	0.81	58 ELU Wy- (T-)
839	UPN 160	S235	48	159	0.81	51 ELU Wx (T+)
1039	UPN 160	S235	48	159	0.81	51 ELU Wx (T+)
3755	UPN 160	S235	55	180	0.81	54 ELU Wx- (T-)
1334	IPE 160	S235	91	325	0.81	57 ELU Wy- (T+)
480	2 CAE 80x8	S235	137	29	0.81	63 ELU T- (Wx)
1401	IPE 160	S235	91	325	0.81	56 ELU Wy (T-)
1721	UPN 160	S235	48	159	0.81	51 ELU Wx (T+)
2926	UPN 160	S235	48	159	0.81	53 ELU Wx- (T+)
1650	UPN 160	S235	48	159	0.81	55 ELU Wy (T+)
3312	UPN 160	S235	48	159	0.81	53 ELU Wx- (T+)
497	2 CAE 80x8	S235	137	29	0.81	63 ELU T- (Wx)

Nº Barra	Perfil	Material	$\lambda_y$	$\lambda_z$	Rácio	Combinação
3004	UPN 160	S235	48	159	0.80	53 ELU Wx- (T+)
1420	IPE 160	S235	91	325	0.80	56 ELU Wy (T-)
229	UPN 160	S235	55	180	0.80	51 ELU Wx (T+)
33	UPN 160	S235	24	79	0.80	61 ELU T+ (Wy)
1352	IPE 160	S235	91	325	0.80	57 ELU Wy- (T+)
144	UPN 160	S235	55	180	0.80	51 ELU Wx (T+)
1398	IPE 160	S235	91	325	0.80	56 ELU Wy (T-)
197	UPN 160	S235	55	180	0.80	51 ELU Wx (T+)
840	UPN 160	S235	48	159	0.80	62 ELU T+ (Wy-)
3753	UPN 160	S235	55	180	0.80	55 ELU Wy (T+)
847	UPN 160	S235	48	159	0.80	51 ELU Wx (T+)
1879	UPN 160	S235	64	212	0.80	55 ELU Wy (T+)
1720	UPN 160	S235	48	159	0.80	57 ELU Wy- (T+)
1652	UPN 160	S235	48	159	0.80	55 ELU Wy (T+)
1328	IPE 160	S235	84	298	0.80	58 ELU Wy- (T-)
1423	IPE 160	S235	91	325	0.79	56 ELU Wy (T-)
1974	UPN 160	S235	32	106	0.79	61 ELU T+ (Wy)
571	UPN 160	S235	44	146	0.79	59 ELU T+ (Wx)
1355	IPE 160	S235	91	325	0.79	57 ELU Wy- (T+)
1396	IPE 160	S235	91	325	0.79	57 ELU Wy- (T+)
1902	UPN 160	S235	32	106	0.79	61 ELU T+ (Wy)
168	UPN 160	S235	55	180	0.79	52 ELU Wx (T-)
848	UPN 160	S235	48	159	0.79	57 ELU Wy- (T+)
2959	UPN 160	S235	48	159	0.79	53 ELU Wx- (T+)
3754	UPN 160	S235	55	180	0.79	54 ELU Wx- (T-)
970	2 CAE 80x8	S235	137	29	0.79	63 ELU T- (Wx)
243	UPN 160	S235	55	180	0.79	51 ELU Wx (T+)
1357	IPE 160	S235	91	325	0.79	56 ELU Wy (T-)
2	UPN 160	S235	55	180	0.78	51 ELU Wx (T+)
1333	IPE 160	S235	91	325	0.78	57 ELU Wy- (T+)
662	UPN 160	S235	48	159	0.78	55 ELU Wy (T+)
3	UPN 160	S235	55	180	0.78	51 ELU Wx (T+)
1335	IPE 160	S235	91	325	0.78	58 ELU Wy- (T-)
1143	UPN 160	S235	48	159	0.78	51 ELU Wx (T+)
3455	UPN 160	S235	48	159	0.78	54 ELU Wx- (T-)
1928	UPN 160	S235	32	106	0.78	62 ELU T+ (Wy-)
963	UPN 160	S235	48	159	0.78	55 ELU Wy (T+)
1210	UPN 160	S235	48	159	0.78	57 ELU Wy- (T+)
1354	IPE 160	S235	91	325	0.77	58 ELU Wy- (T-)
578	2 CAE 80x8	S235	137	29	0.77	63 ELU T- (Wx)
3759	UPN 160	S235	55	180	0.77	54 ELU Wx- (T-)
3080	UPN 160	S235	48	159	0.77	57 ELU Wy- (T+)

Nº Barra	Perfil	Material	$\lambda_y$	$\lambda_z$	Rácio	Combinação
3733	UPN 160	S235	55	180	0.77	58 ELU Wy- (T-)
1651	UPN 160	S235	48	159	0.77	51 ELU Wx (T+)
1960	UPN 160	S235	32	106	0.77	62 ELU T+ (Wy-)
1351	IPE 160	S235	91	325	0.77	56 ELU Wy (T-)
3739	UPN 160	S235	55	180	0.77	56 ELU Wy (T-)
636	UPN 160	S235	24	79	0.77	62 ELU T+ (Wy-)
3454	UPN 160	S235	48	159	0.77	54 ELU Wx- (T-)
331	UPN 160	S235	8	27	0.77	51 ELU Wx (T+)
3774	UPN 160	S235	55	180	0.77	58 ELU Wy- (T-)
135	UPN 160	S235	55	180	0.77	57 ELU Wy- (T+)
1395	IPE 160	S235	91	325	0.77	56 ELU Wy (T-)
632	PIPE_193,7x6,3	S235	50	50	0.77	62 ELU T+ (Wy-)
1350	IPE 160	S235	84	298	0.77	57 ELU Wy- (T+)
1419	IPE 160	S235	91	325	0.76	57 ELU Wy- (T+)
1329	IPE 160	S235	91	325	0.76	58 ELU Wy- (T-)
1394	IPE 160	S235	84	298	0.76	55 ELU Wy (T+)
962	UPN 160	S235	48	159	0.76	51 ELU Wx (T+)
1904	UPN 160	S235	32	106	0.76	62 ELU T+ (Wy-)
1900	UPN 160	S235	32	106	0.76	61 ELU T+ (Wy)
595	2 CAE 80x8	S235	137	29	0.76	63 ELU T- (Wx)
1332	IPE 160	S235	91	325	0.76	56 ELU Wy (T-)
661	UPN 160	S235	48	159	0.76	51 ELU Wx (T+)
2549	PIPE_193,7x6,3	S235	147	147	0.76	62 ELU T+ (Wy-)
2879	UPN 160	S235	48	159	0.76	55 ELU Wy (T+)
1223	2 UPN 200	S235	78	102	0.76	60 ELU T+ (Wx-)
1966	UPN 160	S235	32	106	0.76	53 ELU Wx- (T+)
987	2 CAE 80x8	S235	137	29	0.75	63 ELU T- (Wx)
219	UPN 160	S235	55	180	0.75	51 ELU Wx (T+)
3758	UPN 160	S235	55	180	0.75	54 ELU Wx- (T-)
1397	IPE 160	S235	91	325	0.75	55 ELU Wy (T+)
1417	IPE 160	S235	91	325	0.75	56 ELU Wy (T-)
1887	UPN 160	S235	16	53	0.75	60 ELU T+ (Wx-)
1907	UPN 160	S235	64	212	0.75	54 ELU Wx- (T-)
1914	UPN 160	S235	32	106	0.74	62 ELU T+ (Wy-)
1331	IPE 160	S235	91	325	0.74	57 ELU Wy- (T+)
343	UPN 160	S235	52	172	0.74	52 ELU Wx (T-)
3712	IPE 600	S235	47	43	0.74	58 ELU Wy- (T-)
626	UPN 160	S235	64	212	0.74	52 ELU Wx (T-)
3700	IPE 600	S235	34	43	0.74	62 ELU T+ (Wy-)
205	UPN 160	S235	19	64	0.74	55 ELU Wy (T+)
1842	UPN 160	S235	19	64	0.74	57 ELU Wy- (T+)
215	UPN 160	S235	55	180	0.74	51 ELU Wx (T+)

Nº Barra	Perfil	Material	$\lambda_y$	$\lambda_z$	Rácio	Combinação
1202	UPN 160	S235	48	159	0.74	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
2545	PIPE_193,7x6,3	S235	147	147	0.74	60 ELU T+ (W <sub>x</sub> -)
3756	UPN 160	S235	55	180	0.74	54 ELU W <sub>x</sub> - (T-)
640	UPN 160	S235	24	79	0.74	62 ELU T+ (W <sub>y</sub> -)
3162	UPN 160	S235	48	159	0.74	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
1353	IPE 160	S235	91	325	0.74	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
1700	UPN 160	S235	48	159	0.73	51 ELU W <sub>x</sub> (T+)
693	2 CAE 80x8	S235	137	29	0.73	63 ELU T- (W <sub>x</sub> )
260	UPN 160	S235	55	180	0.73	51 ELU W <sub>x</sub> (T+)
139	UPN 160	S235	55	180	0.73	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
1889	UPN 160	S235	16	53	0.73	60 ELU T+ (W <sub>x</sub> -)
1896	UPN 160	S235	64	212	0.73	52 ELU W <sub>x</sub> (T-)
258	UPN 160	S235	55	180	0.73	51 ELU W <sub>x</sub> (T+)
627	UPN 160	S235	44	146	0.72	51 ELU W <sub>x</sub> (T+)
676	2 CAE 80x8	S235	137	29	0.72	63 ELU T- (W <sub>x</sub> )
254	UPN 160	S235	55	180	0.72	51 ELU W <sub>x</sub> (T+)
1924	UPN 160	S235	32	106	0.72	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
3168	UPN 160	S235	48	159	0.72	54 ELU W <sub>x</sub> - (T-)
639	UPN 160	S235	44	146	0.72	51 ELU W <sub>x</sub> (T+)
3104	UPN 160	S235	48	159	0.72	54 ELU W <sub>x</sub> - (T-)
1953	UPN 160	S235	32	106	0.72	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
3163	UPN 160	S235	48	159	0.72	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
2989	UPN 160	S235	48	159	0.72	53 ELU W <sub>x</sub> - (T+)
1597	UPN 160	S235	48	159	0.72	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
86	UPN 160	S235	55	180	0.72	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
1882	UPN 160	S235	32	106	0.71	61 ELU T+ (W <sub>y</sub> )
3757	UPN 160	S235	55	180	0.71	56 ELU W <sub>y</sub> (T-)
3349	UPN 160	S235	48	159	0.71	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
1	IPE 160	S235	67	240	0.71	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
3105	UPN 160	S235	48	159	0.71	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
619	UPN 160	S235	44	146	0.71	51 ELU W <sub>x</sub> (T+)
217	UPN 160	S235	19	64	0.71	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
213	UPN 160	S235	55	180	0.71	57 ELU W <sub>y</sub> - (T+)
262	UPN 160	S235	55	180	0.71	51 ELU W <sub>x</sub> (T+)
449	UPN 160	S235	44	146	0.71	51 ELU W <sub>x</sub> (T+)
448	UPN 160	S235	8	27	0.70	51 ELU W <sub>x</sub> (T+)
3169	UPN 160	S235	48	159	0.70	58 ELU W <sub>y</sub> - (T-)
1818	UPN 160	S235	35	117	0.70	59 ELU T+ (W <sub>x</sub> )
1846	UPN 160	S235	35	117	0.70	59 ELU T+ (W <sub>x</sub> )
450	UPN 160	S235	52	172	0.70	52 ELU W <sub>x</sub> (T-)
37	IPE 160	S235	67	240	0.70	55 ELU W <sub>y</sub> (T+)
3740	UPN 160	S235	55	180	0.70	56 ELU W <sub>y</sub> (T-)

Nº Barra	Perfil	Material	$\lambda_y$	$\lambda_z$	Rácio	Combinação
1840	UPN 160	S235	19	64	0.70	57 ELU Wy- (T+)
1978	UPN 160	S235	32	106	0.70	57 ELU Wy- (T+)
3318	UPN 160	S235	48	159	0.70	56 ELU Wy (T-)
255	UPN 160	S235	55	180	0.70	51 ELU Wx (T+)
427	UPN 160	S235	52	172	0.70	61 ELU T+ (Wy)
1005	UPN 160	S235	48	159	0.70	57 ELU Wy- (T+)

Conclusões:

Apenas as madres (Cobertura-IPE160 e Alçados-UNP160) têm rácios superiores à unidade, pelo que terá que ocorrer uma ligeira reformulação aquando do Projecto de Execução.

Duas soluções possíveis para a solução deste problema passam por reforçar estes perfis, tanto ao nível da cobertura como dos alçados, ou optando por perfis mais resistentes, IPE200 (Cobertura) e UNP220 (Alçados) (Figura 2.7').

Peça	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicita	Caso
<b>Família : 7 Madres da Cobertura</b>						
1459 Madres da Cobertura_1459	IPE 180	Steel	87.65	316.74	1.32	55 ELU Wy (T+)
	IPE 200		78.70	290.74	0.98	
	IPE 220		71.32	262.32	0.71	
<b>Família : 18 Madres dos Alçados</b>						
1942 Madres dos Alçados_1942	UPN 200	Steel	88.04	316.51	1.04	58 ELU Wy- (T-)
	UPN 220		80.03	296.54	0.80	
	UPN 240		73.56	280.45	0.65	

Figura 2.7' – Dimensionamento dos perfis através do Robot.

## 2.4 VERIFICAÇÃO DOS PERFIS AOS E.L.U. SEGUNDO A NP EN 1993-1-1 (*Robot* vs Tabela de cálculo em *Excel*)

Para a análise da Estrutura metálica, foram criadas os seguintes grupos de perfis, tendo em conta a orientação seguida no *software* utilizado:

❖ **Asnas da Cobertura:**

- Prumos;
- Diagonais;
- Cordões superiores (Pórticos Centrais);
- Cordões inferiores (Pórticos Centrais);
- Cordões de alçados (Pórticos das Empenas);
- Travamentos dos cordões inferiores (Pórticos Centrais).

❖ **Madres da Cobertura;**

❖ **Madres dos Alçados;**

❖ **Travamentos:**

- Travamentos dos Alçados e Cobertura;
- Travamentos de Alçados – Horizontais;

❖ **Pilares metálicos;**

❖ **Restantes barras.**

Comparação dos resultados obtidos pelo programa de cálculo (*Robot*) com os valores das Tabelas de cálculo em *Excel*

2.4.1 Prumos

Estudo feito para a barra 892. Como se pode verificar através das Figuras 2.8 e 2.9.

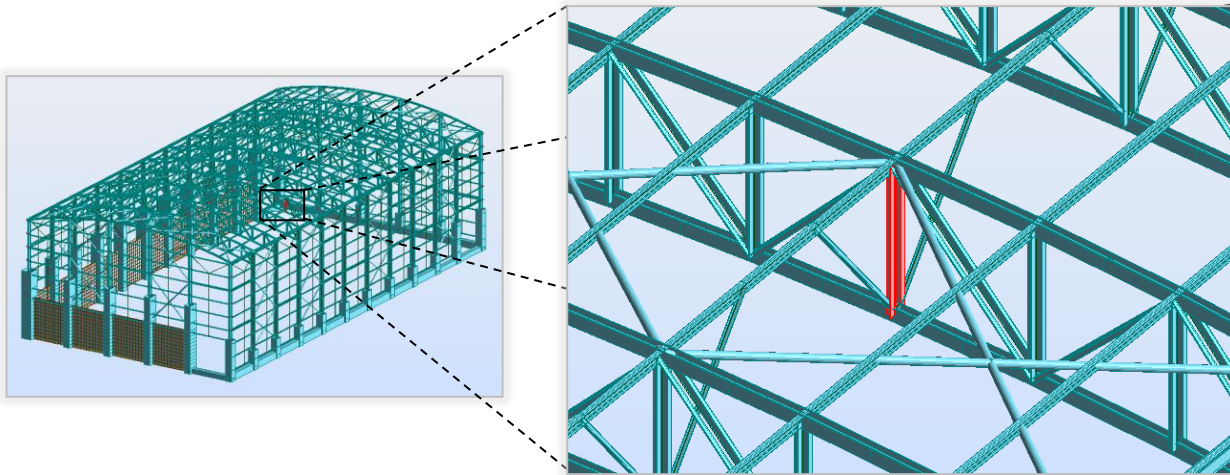


Figura 2.8 – Prumo verificado (2 L100x12 // 180mm).

NORMA: EN 1993-1:2005/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures. TIPO DE ANÁLISE: Verificação das barras			
GRUPO:	PONTO: 3	COORDENADA: x = 1.00 L = 2.08 m	
CARGAS: Caso de carga dimensionante: 57 ELU Wy-(T+) (1+4)*1.35+23*0.90+(28+27)*1.50			
MATERIAL: Steel (S235) fy = 235.00 MPa			
PARÂMETROS DA SEÇÃO: 2 CAE 100x12			
h=10.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=38.0 cm	Ay=24.00 cm <sup>2</sup>	Az=21.60 cm <sup>2</sup>	Ax=45.43 cm <sup>2</sup>
tw=1.2 cm	Iy=413.40 cm <sup>4</sup>	Iz=6846.60 cm <sup>4</sup>	Ix=21.66 cm <sup>4</sup>
tf=1.2 cm	Wely=58.23 cm <sup>3</sup>	Welz=360.35 cm <sup>3</sup>	
FORÇAS INTERNAS E RESISTÊNCIA :			
N <sub>Ed</sub> = 9.98 kN	M <sub>y,Ed</sub> = -1.62 kN*m	M <sub>z,Ed</sub> = 1.60 kN*m	V <sub>y,Ed</sub> = -0.77 kN
N <sub>c,Rd</sub> = 1067.58 kN	M <sub>y,el,Rd</sub> = 13.68 kN*m	M <sub>z,el,Rd</sub> = 84.68 kN*m	V <sub>y,T,Rd</sub> = 325.63 kN
N <sub>b,Rd</sub> = 816.12 kN	M <sub>y,c,Rd</sub> = 13.68 kN*m	M <sub>z,c,Rd</sub> = 84.68 kN*m	V <sub>z,Ed</sub> = -1.60 kN
			V <sub>z,T,Rd</sub> = 293.06 kN
			T <sub>t,Ed</sub> = -0.00 kN*m
			Classe da seção = 3
<input checked="" type="checkbox"/> PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:			
PARÂMETROS DE ENCURVADURA:			
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> em relação ao eixo y:		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> em relação ao eixo z:	
Ly = 2.08 m	Lam <sub>y</sub> = 0.73	Lz = 2.08 m	Lam <sub>z</sub> = 0.18
Lcr,y = 2.08 m	Xy = 0.76	Lcr,z = 2.08 m	Xz = 1.00
Lamy = 68.88	kzy = 1.01	Lamz = 16.93	kzz = 1.00
FÓRMULA DE VERIFICAÇÃO:			
Control de resistência da seção:			
$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.08 < 1.00$ (6.2.9.3.(1))			
$\sqrt{(\text{Sig}_{x,Ed}^2 + 3 * \text{Tau}_{y,Ed}^2)} / (f_y / gM0) = 0.15 < 1.00$ (6.2.1.(5))			
$V_{y,Ed}/V_{y,c,Rd} = 0.00 < 1.00$ (6.2.6.(1))			
$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.01 < 1.00$ (6.2.6.(1))			
Control da estabilidade global da barra:			
$\text{Lambda}_{y} = 68.88 < \text{Lambda}_{max} = 210.00$ $\text{Lambda}_{z} = 16.93 < \text{Lambda}_{max} = 210.00$ ESTÁVEL			
$N_{Ed} / (X_y * N_{Rk} / gM1) + k_{yy} * M_{y,Ed} / (XLT * M_{y,Rk} / gM1) + k_{yz} * M_{z,Ed} / (Mz,Rk / gM1) = 0.11 < 1.00$ (6.3.3.(4))			
$N_{Ed} / (X_z * N_{Rk} / gM1) + k_{zy} * M_{y,Ed} / (XLT * M_{y,Rk} / gM1) + k_{zz} * M_{z,Ed} / (Mz,Rk / gM1) = 0.11 < 1.00$ (6.3.3.(4))			
Perfil correcto !!!			

Ver quadro comparativo na página 40.

Figura 2.9 – Folha de Verificação.

Rácios de dimensionamento - Resistência das Secções Transversais

Compressão		Momento Flector	
$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b> 0,009 OK	$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b> 0,12 OK
	$N_{Ed} = 9,98$		$M_{Ed} = 1,62$ [kN.m]
Classe 3	$N_{c,Rd} = 1067,6$	Classe 3	$M_{c,Rd} = 13,68$ [kN.m]
<b>Classe 1, 2 e 3</b>		<b>Classe 3</b>	
	$N_{c,Rd} = 1067,6$ [kN]		$M_{el,y,Rd} = 13,68$ [kN.m]
			$M_{el,z,Rd} = 84,68$ [kN.m]
$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$		$M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}}$	
<b>Esforço Transverso (direcção y e z)</b>			
$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b> 0,002 OK	$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b> 0,005 OK
	$V_{Ed} = 0,77$ [kN]		$V_{Ed} = 1,6$ [kN]
	$V_{pl,Rd} = 325,63$ [kN]		$V_{pl,Rd} = 293,06$ [kN]
<b>Cálculo plástico</b>		<b>Cálculo plástico</b>	
	$V_{pl,Rd} = 325,63$ [kN]		$V_{pl,Rd} = 293,06$ [kN]
$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$		$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$	

Rácios de dimensionamento – Encurvadura – Elementos Comprimidos

Encurvadura - Robot				
Parâmetros de análise de encurvadura				
<b>Ao redor do eixo y da secção</b>				
Curva,y	b		Curva da encurvadura	(Tabela 6.2)
Lcr,y	2.08	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra	(6.3.1.2.(1))
Lamy	68.88		Esbelteza da barra	(6.3.1.2.(1))
Lam_y	0.73		esbelteza relativa da barra para a encurvadura	(6.3.1.2.(1))
alfa,y	0.34		parâmetro de imperfeição	(6.3.1.2.(2))
fi,y	0.86		coeficiente para o cálculo de X	(6.3.1.2.(1))
Xy	0.76		Factor de redução para encurvadura	(6.3.1.2.(1))
Ny,b,Rd	816.12	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri	(6.3.1.1.(3))
<b>Ao redor do eixo z da secção</b>				
Curva,z	b		Curva da encurvadura	(Tabela 6.2)
Lcr,z	2.08	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra	(6.3.1.2.(1))
Lamz	16.93		Esbelteza da barra	(6.3.1.2.(1))
Lam_z	0.18		esbelteza relativa da barra para a encurvadura	(6.3.1.2.(1))
alfa,z	0.34		parâmetro de imperfeição	(6.3.1.2.(2))
fi,z	0.51		coeficiente para o cálculo de X	(6.3.1.2.(1))
Xz	1.00		Factor de redução para encurvadura	(6.3.1.2.(1))
Nz,b,Rd	1067.58	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri	(6.3.1.1.(3))

Encurvadura – Folhas de Cálculo Excel										
<b>Classe 1, 2 e 3</b>										
<b>Eixo y-y</b>										
Lcr (m)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$							
2,08	0,73837	0,9	0,76							
<b>Eixo z-z</b>										
Lcr (m)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$							
2,08	0,18009	0,5	1,00							
Curvas de encurvadura		Curvas de encurvadura								
Eixo de maior Inércia (y-y)		Eixo de menor Inércia (z-z)								
Parâmetros		Parâmetros								
$\lambda_1 =$	93,9	$\lambda_1 =$	93,9							
Aço S235		Aço S235								
$\alpha =$	0,34	$\alpha =$	0,34							
$\beta_A =$	1	$\beta_A =$	1							
$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1.0$										
Eixo y-y	Classe	3	$N_{y,Ed} =$	9,98						
			$N_{b,y,Rd} =$	813,0908						
Eixo z-z	Classe	3	$N_{z,Ed} =$	9,98						
			$N_{b,z,Rd} =$	1067,605						
<b>Classe 1, 2 e 3</b>										
$N_{b,y,Rd} = 813,0908 \text{ [kN]}$ $N_{b,z,Rd} = 1067,605 \text{ [kN]}$										
$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$										
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><b>Eixo y-y</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Verificação</td> <td style="text-align: center;">OK</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,012274</td> <td style="text-align: center;">OK</td> </tr> </table>					<b>Eixo y-y</b>		Verificação	OK	0,012274	OK
<b>Eixo y-y</b>										
Verificação	OK									
0,012274	OK									

Rácios Finais					
	Rácio N	Rácio M <sub>y</sub>	Rácio M <sub>z</sub>	Rácio Total	
Equação 6.61	0,012	0,118	0,019	0,149	OK
Equação 6.62	0,004	0,119	0,019	0,142	OK



2.4.2 Diagonais

Estudo feito para a barra 872. Como se pode verificar através das Figuras 2.10 e 2.11.

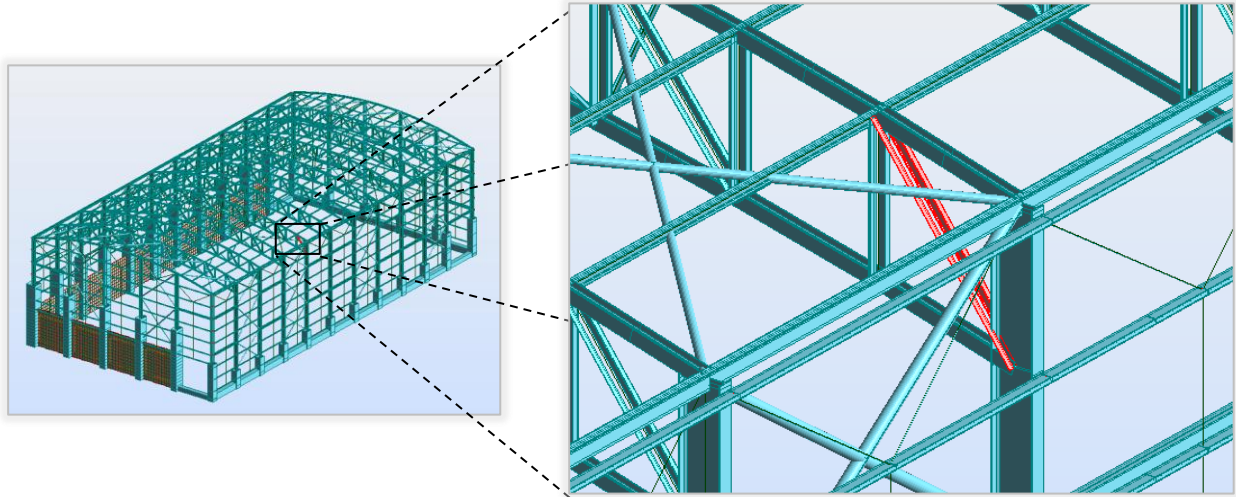


Figura 2.10 – Diagonal verificada (2 L80x8 // 180mm).

**NORMA:** EN 1993-1:2005/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.  
**TIPO DE ANÁLISE:** Verificação das barras

---

**GRUPO:**  
**BARRA:** 872 Diagonais\_872      **PONTO:** 2      **COORDENADA:** x = 0.50 L = 1.66 m

---

**CARGAS:**  
 Caso de carga dimensionante: 63 ELU T- (Wx) (1+4)\*1.35+(24+27)\*1.50+32\*0.90

---

**MATERIAL:**  
 Steel ( S235 )    fy = 235.00 MPa

---

**PARÂMETROS DA SECÇÃO: 2 CAE 80x8**

h=8.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=34.0 cm	Ay=12.80 cm <sup>2</sup>	Az=11.52 cm <sup>2</sup>	Ax=24.53 cm <sup>2</sup>
tw=0.8 cm	Iy=144.50 cm <sup>4</sup>	Iz=3255.18 cm <sup>4</sup>	Ix=5.19 cm <sup>4</sup>
tf=0.8 cm	Wely=25.17 cm <sup>3</sup>	Welz=191.48 cm <sup>3</sup>	

---

**FORÇAS INTERNAS E RESISTÊNCIA :**

N <sub>Ed</sub> = 166.05 kN	M <sub>y,Ed</sub> = -0.36 kN*m	
N <sub>c,Rd</sub> = 576.56 kN	M <sub>y,eLRd</sub> = 5.92 kN*m	
N <sub>b,Rd</sub> = 207.48 kN	M <sub>y,c,Rd</sub> = 5.92 kN*m	

T<sub>t,Ed</sub> = 0.00 kN\*m  
 Classe da secção = 3

---

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

---

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**

	em relação ao eixo y:		em relação ao eixo z:
L <sub>y</sub> = 3.31 m	Lam <sub>y</sub> = 1.45	L <sub>z</sub> = 3.31 m	Lam <sub>z</sub> = 0.31
L <sub>cr,y</sub> = 3.31 m	X <sub>y</sub> = 0.36	L <sub>cr,z</sub> = 3.31 m	X <sub>z</sub> = 0.96
Lam <sub>y</sub> = 136.52	k <sub>yy</sub> = 1.30	Lam <sub>z</sub> = 28.76	k <sub>zy</sub> = 2.60

---

**FÓRMULA DE VERIFICAÇÃO:**

**Control de resistência da secção:**  
 M<sub>y,Ed</sub>/M<sub>y,c,Rd</sub> = 0.06 < 1.00 (6.2.5.(1))  
 N<sub>Ed</sub>/N<sub>c,Rd</sub> + M<sub>y,Ed</sub>/M<sub>y,c,Rd</sub> = 0.31 < 1.00 (6.2.9.(1))

**Control da estabilidade global da barra:**  
 Lambda<sub>y</sub> = 136.52 < Lambda<sub>max</sub> = 210.00      Lambda<sub>z</sub> = 28.76 < Lambda<sub>max</sub> = 210.00      ESTÁVEL  
 N<sub>Ed</sub>/(X<sub>y</sub>\*N<sub>Rk</sub>/gM1) + k<sub>yy</sub>\*M<sub>y,Ed</sub>/(XLT\*M<sub>y,Rk</sub>/gM1) = 0.83 < 1.00 (6.3.3.(4))  
 N<sub>Ed</sub>/(X<sub>z</sub>\*N<sub>Rk</sub>/gM1) + k<sub>zy</sub>\*M<sub>y,Ed</sub>/(XLT\*M<sub>y,Rk</sub>/gM1) = 0.36 < 1.00 (6.3.3.(4))

**Perfil correcto !!!**

Ver quadro comparativo na página 43.

Figura 2.11 – Folha de Verificação.

Rádios de dimensionamento - Resistência das Secções Transversais

Compressão				Momento Flector			
$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$		Verificação		$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$		Verificação	
		0,29 OK				0,06 OK	
		$N_{Ed} =$	166,05			$M_{Ed} =$	0,36 [kN.m]
Classe	3	$N_{c,Rd} =$	576,5	Classe	3	$M_{c,Rd} =$	5,91 [kN.m]
<b>Classe 1, 2 e 3</b>				<b>Classe 3</b>			
		$N_{c,Rd} =$	576,5 [kN]			$M_{el,y,Rd} =$	5,91 [kN.m]
		$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$				$M_{el,z,Rd} =$	45 [kN.m]
						$M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}}$	

Rádios de dimensionamento – Encurvadura – Elementos Comprimidos

Encurvadura - Robot			
Parâmetros de análise de encurvadura			
<b>Ao redor do eixo y da secção</b>			
Curva,y	b		Curva da encurvadura (Tabela 6.2)
Lcr,y	3.31	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra (6.3.1.2.(1))
Lamy	136.52		Esbelteza da barra (6.3.1.2.(1))
Lam_y	1.45		esbelteza relativa da barra para a encurvadura (6.3.1.2.(1))
alfa,y	0.34		parâmetro de imperfeccção (6.3.1.2.(2))
fi,y	1.77		coeficiente para o cálculo de X (6.3.1.2.(1))
Xy	0.36		Factor de reduccão para encurvadura (6.3.1.2.(1))
Ny,b,Rd	207.48	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri (6.3.1.1.(3))
<b>Ao redor do eixo z da secção</b>			
Curva,z	b		Curva da encurvadura (Tabela 6.2)
Lcr,z	3.31	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra (6.3.1.2.(1))
Lamz	28.76		Esbelteza da barra (6.3.1.2.(1))
Lam_z	0.31		esbelteza relativa da barra para a encurvadura (6.3.1.2.(1))
alfa,z	0.34		parâmetro de imperfeccção (6.3.1.2.(2))
fi,z	0.56		coeficiente para o cálculo de X (6.3.1.2.(1))
Xz	0.96		Factor de reduccão para encurvadura (6.3.1.2.(1))
Nz,b,Rd	554.54	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri (6.3.1.1.(3))

Encurvadura - Excel			
<b>Classe 1, 2 e 3</b>			
<b>Eixo y-y</b>			
Lcr (m)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$
3,31	1,46876	1,8	0,35
<b>Eixo z-z</b>			
Lcr (m)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$
3,31	0,30652	0,6	0,96
Curvas de encurvadura		Curvas de encurvadura	
Eixo de maior Inércia (y-y)		Eixo de menor Inércia (z-z)	
Parâmetros		Parâmetros	
$\lambda_1 =$	93,9	$\lambda_1 =$	93,9
Aço S235		Aço S235	
$\alpha =$	0,34	$\alpha =$	0,34
$\beta_A =$	1	$\beta_A =$	1

$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$	
Eixo y-y	Classe 3 $N_{y,Ed} = 166,05$ $N_{b,y,Rd} = 204,0542$
Eixo z-z	Classe 3 $N_{z,Ed} = 166,05$ $N_{b,z,Rd} = 554,3818$
<b>Classe 1, 2 e 3</b>	
$N_{b,y,Rd} = 204,0542$ [kN] $N_{b,z,Rd} = 554,3818$ [kN]	
$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$	
Eixo y-y	
Verificacão	
0.813754 OK	

Rádios Finais					
	Rácio N	Rácio My	Rácio Mz	Rácio Total	
Equaçção 6.61	0,814	0,034	0	0,848	OK
Equaçção 6.62	0,3	0,07	0	0,37	OK



### 2.4.3 Cordões superiores (Pórticos Centrais)

Estudo feito para a barra 3031. Como se pode verificar nas Figuras 2.12 e 2.13.

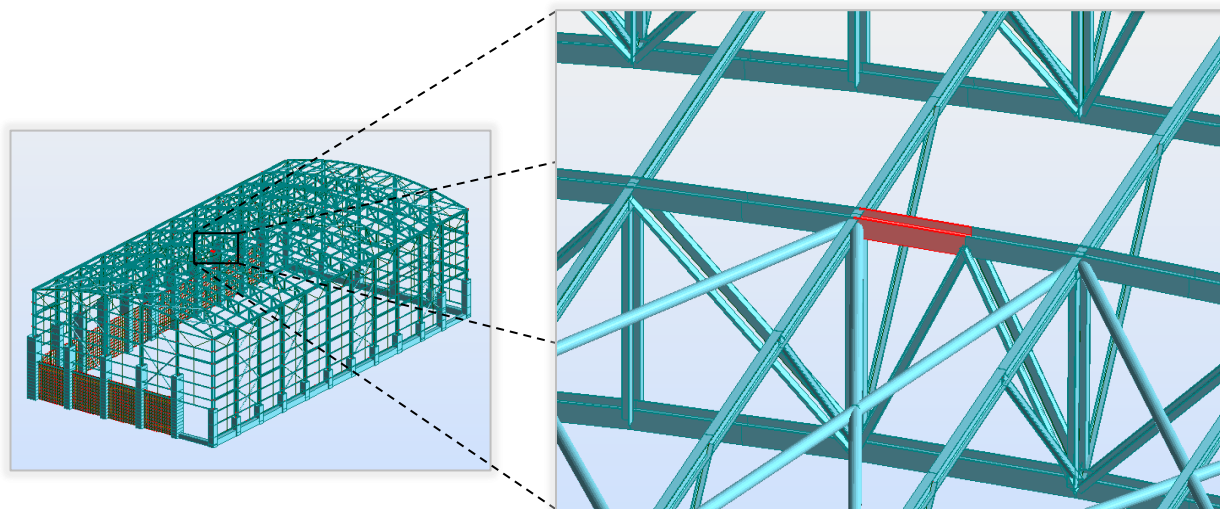


Figura 2.12 – Cordão verificado (HEB 180).

**NORMA:** EN 1993-1:2005/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.  
**TIPO DE ANÁLISE:** Verificação das barras

---

**GRUPO:**  
**BARRA:** 3031                      **PONTO:** 1                      **COORDENADA:** x = 0.00 L = 0.00 m

---

**CARGAS:**  
 Caso de carga dimensionante: 63 ELU T- (Wx) (1+4)\*1.35+(24+27)\*1.50+32\*0.90

---

**MATERIAL:**  
 Steel (S235)    fy = 235.00 MPa

---

**PARÂMETROS DA SECÇÃO: HEB 180**

h=18.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=18.0 cm	Ay=54.88 cm <sup>2</sup>	Az=20.24 cm <sup>2</sup>	As=65.25 cm <sup>2</sup>
tw=0.9 cm	Iy=3831.13 cm <sup>4</sup>	Iz=1362.85 cm <sup>4</sup>	Ix=45.10 cm <sup>4</sup>
tf=1.4 cm	Wply=481.47 cm <sup>3</sup>	Wplz=231.02 cm <sup>3</sup>	

---

**FORÇAS INTERNAS E RESISTÊNCIA :**

N <sub>Ed</sub> = 517.45 kN	My <sub>Ed</sub> = 0.08 kN*m	Mz <sub>Ed</sub> = -2.09 kN*m	Vy <sub>Ed</sub> = -3.09 kN
N <sub>c,Rd</sub> = 1333.41 kN	My <sub>pl,Rd</sub> = 113.15 kN*m	Mz <sub>pl,Rd</sub> = 54.29 kN*m	Vy <sub>T,Rd</sub> = 744.52 kN
N <sub>b,Rd</sub> = 1321.52 kN	My <sub>c,Rd</sub> = 113.15 kN*m	Mz <sub>c,Rd</sub> = 54.29 kN*m	Vz <sub>Ed</sub> = 0.05 kN
	MN <sub>y,Rd</sub> = 84.59 kN*m	MN <sub>z,Rd</sub> = 53.19 kN*m	Vz <sub>T,Rd</sub> = 274.61 kN
			Tt <sub>Ed</sub> = 0.00 kN*m
			Classe da secção = 1

---

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

---

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**

	em relação ao eixo y:		em relação ao eixo z:
Ly = 2.00 m	Lam <sub>y</sub> = 0.28	Lz = 2.00 m	Lam <sub>z</sub> = 0.47
Lcr,y = 2.00 m	Xy = 0.97	Lcr,z = 2.00 m	Xz = 0.86
Lamy = 26.10	kzy = 0.52	Lamz = 43.76	kzz = 0.88

---

**FÓRMULA DE VERIFICAÇÃO:**  
**Control de resistência da secção:**  
 N<sub>Ed</sub>/N<sub>c,Rd</sub> = 0.34 < 1.00 (6.2.4.(1))  
 (My<sub>Ed</sub>/MN<sub>y,Rd</sub>)<sup>2.00</sup> + (Mz<sub>Ed</sub>/MN<sub>z,Rd</sub>)<sup>1.69</sup> = 0.00 < 1.00 (6.2.9.1.(6))  
 Vy<sub>Ed</sub>/Vy<sub>T,Rd</sub> = 0.00 < 1.00 (6.2.6-7)  
 Vz<sub>Ed</sub>/Vz<sub>T,Rd</sub> = 0.00 < 1.00 (6.2.6-7)  
 Tau<sub>ty,Ed</sub>/(fy/(sqrt(3)\*gM0)) = 0.00 < 1.00 (6.2.6)  
 Tau<sub>tz,Ed</sub>/(fy/(sqrt(3)\*gM0)) = 0.00 < 1.00 (6.2.6)  
**Control da estabilidade global da barra:**  
 Lambda<sub>y</sub> = 26.10 < Lambda<sub>max</sub> = 210.00    Lambda<sub>z</sub> = 43.76 < Lambda<sub>max</sub> = 210.00    ESTÁVEL  
 N<sub>Ed</sub>/(Xy\*N<sub>Rk</sub>/gM1) + kyy\*My<sub>Ed</sub>/(XLT\*My<sub>Rk</sub>/gM1) + kyz\*Mz<sub>Ed</sub>/(Mz<sub>Rk</sub>/gM1) = 0.57 < 1.00 (6.3.3.(4))  
 N<sub>Ed</sub>/(Xz\*N<sub>Rk</sub>/gM1) + kzy\*My<sub>Ed</sub>/(XLT\*My<sub>Rk</sub>/gM1) + kzz\*Mz<sub>Ed</sub>/(Mz<sub>Rk</sub>/gM1) = 0.43 < 1.00 (6.3.3.(4))

**Perfil correcto !!!**

Ver quadro comparativo na página 46.

Figura 2.13 – Folha de Verificação.

Rádios de dimensionamento - Resistência das Secções Transversais

Compressão				Momento Flector			
$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$		<b>Verificação</b>		$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$		<b>Verificação</b>	
		0,34    OK				0,039    OK	
		$N_{Ed} = 517,45$		$M_{Ed} = 2,09$ [kN.m]			
Classe	1	$N_{c,Rd} = 1533,38$		Classe	1	$M_{c,Rd} = 54,29$ [kN.m]	
<b>Classe 1, 2 e 3</b>				<b>Classe 1 e 2</b>			
		$N_{c,Rd} = 517,45$ [kN]		$M_{pl,y,Rd} = 113,13$ [kN.m]			
				$M_{pl,z,Rd} = 54,29$ [kN.m]			
$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$				$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$			

Esforço Transverso (direcção y e z)							
$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$		<b>Verificação</b>		$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$		<b>Verificação</b>	
		0,004    OK				0    OK	
		$V_{Ed} = 3,09$ [kN]		$V_{Ed} = 0,05$ [kN]			
		$V_{pl,Rd} = 744,6$ [kN]		$V_{pl,Rd} = 274,61$ [kN]			
<b>Cálculo plástico</b>				<b>Cálculo plástico</b>			
		$V_{pl,Rd} = 744,6$ [kN]		$V_{pl,Rd} = 274,61$ [kN]			
$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$				$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$			

Rácios de dimensionamento – Encurvadura – Elementos Comprimidos

Encurvadura - Robot				
Parâmetros de análise de encurvadura				
<b>Ao redor do eixo y da secção</b>				
Curva,y	b		Curva da encurvadura	(Tabela 6.2)
Lcr,y	2.00	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra	(6.3.1.2.(1))
Lamy	26.10		Esbelteza da barra	(6.3.1.2.(1))
Lam_y	0.28		esbelteza relativa da barra para a encurvadura	(6.3.1.2.(1))
alfa,y	0.34		parâmetro de imperfecção	(6.3.1.2.(2))
fi,y	0.55		coeficiente para o cálculo de X	(6.3.1.2.(1))
Xy	0.97		Factor de redução para encurvadura	(6.3.1.2.(1))
Ny,b,Rd	1490.70	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri	(6.3.1.1.(3))
<b>Ao redor do eixo z da secção</b>				
Curva,z	c		Curva da encurvadura	(Tabela 6.2)
Lcr,z	2.00	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra	(6.3.1.2.(1))
Lamz	43.76		Esbelteza da barra	(6.3.1.2.(1))
Lam_z	0.47		esbelteza relativa da barra para a encurvadura	(6.3.1.2.(1))
alfa,z	0.49		parâmetro de imperfecção	(6.3.1.2.(2))
fi,z	0.67		coeficiente para o cálculo de X	(6.3.1.2.(1))
Xz	0.86		Factor de redução para encurvadura	(6.3.1.2.(1))
Nz,b,Rd	1321.52	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri	(6.3.1.1.(3))

Encurvadura - Excel				
<b>Classe 1, 2 e 3</b>				
<b>Eixo y-y</b>				
Lcr (m)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$	
2,00	0,27806	0,6	0,97	
<b>Eixo z-z</b>				
Lcr (m)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$	
2,00	0,46607	0,7	0,86	
Curvas de encurvadura		Curvas de encurvadura		
Eixo de maior Inércia (y-y)		Eixo de menor Inércia (z-z)		
Parâmetros		Parâmetros		
$\lambda_1 =$	93,9	$\lambda_1 =$	93,9	
Aço S235		Aço S235		
$\alpha =$	0,34	$\alpha =$	0,49	
$\beta_A =$	1	$\beta_A =$	1	
$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$				
Eixo y-y	Classe	1	$N_{y,Ed} =$	517,45
			$N_{b,y,Rd} =$	1490,6
Eixo z-z	Classe	1	$N_{z,Ed} =$	517,45
			$N_{b,z,Rd} =$	1321,421
<b>Classe 1, 2 e 3</b>				
	$N_{b,y,Rd} =$	1490,6 [kN]		
	$N_{b,z,Rd} =$	1321,421 [kN]		
$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$				
				<b>Eixo y-y</b>
				<b>Verificação</b>
				0,347142 OK

Rácios Finais					
	Rácio N	Rácio My	Rácio Mz	Rácio Total	
Equação 6.61	0,347	0	0,015	0,362	OK
Equação 6.62	0,392	0	0,023	0,415	OK

2.4.4 Cordões inferiores (Pórticos Centrais)

Estudo feito para a barra 3064. Como se pode verificar nas Figuras 2.14 e 2.15.

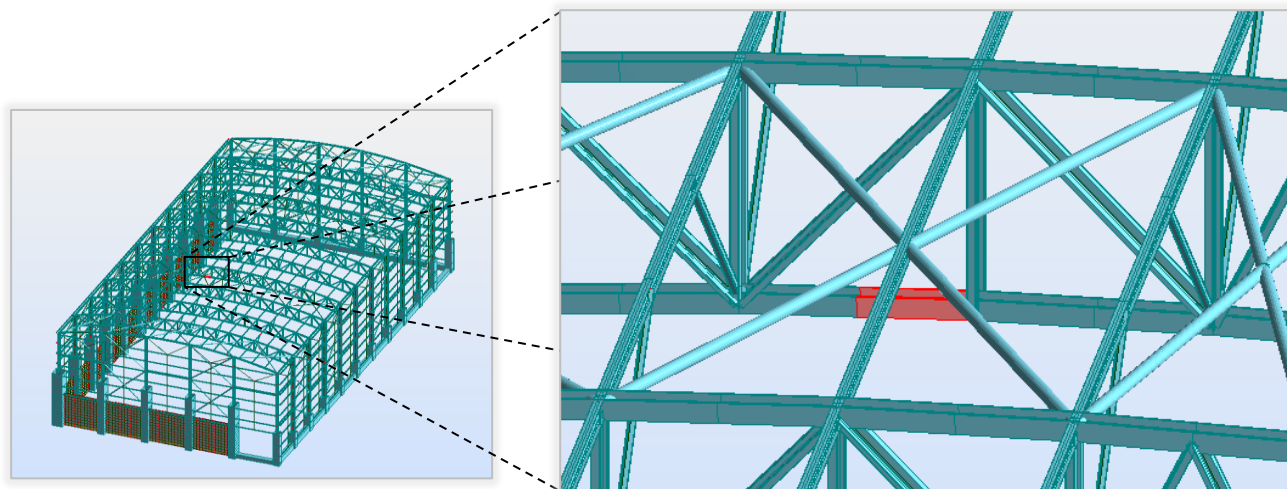


Figura 2.14 – Cordão verificado (HEB 180).

**NORMA:** EN 1993-1:2005/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.  
**TIPO DE ANÁLISE:** Verificação das barras

---

**GRUPO:**  
**BARRA:** 3064                      **PONTO:** 1                      **COORDENADA:** x=0.00 L=0.00 m


---

**CARGAS:**  
 Caso de carga dimenstonante: 57 ELU Wy- (T+) (1+4)\*1.35+23\*0.90+(28+27)\*1.50

---

**MATERIAL:**  
 Steel (S235)    fy = 235.00 MPa

---

 **PARÂMETROS DA SECÇÃO: HEB 180**

h=18.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=18.0 cm	Ay=34.88 cm <sup>2</sup>	Az=20.24 cm <sup>2</sup>	Ax=65.25 cm <sup>2</sup>
tw=0.9 cm	Iy=3831.13 cm <sup>4</sup>	Iz=1362.85 cm <sup>4</sup>	Ix=45.10 cm <sup>4</sup>
tf=1.4 cm	Wply=481.47 cm <sup>3</sup>	Wplz=231.02 cm <sup>3</sup>	


---

**FORÇAS INTERNAS E RESISTÊNCIA :**

N <sub>Ed</sub> = 442.30 kN	My <sub>Ed</sub> = 0.34 kN*m	Mz <sub>Ed</sub> = 2.26 kN*m	Vy <sub>Ed</sub> = 2.35 kN
N <sub>c,Rd</sub> = 1533.41 kN	My <sub>pl,Rd</sub> = 113.15 kN*m	Mz <sub>pl,Rd</sub> = 54.29 kN*m	Vy <sub>T,Rd</sub> = 744.39 kN
N <sub>b,Rd</sub> = 1078.57 kN	My <sub>c,Rd</sub> = 113.15 kN*m	Mz <sub>c,Rd</sub> = 54.29 kN*m	Vz <sub>Ed</sub> = -0.19 kN
	MN <sub>y,Rd</sub> = 90.85 kN*m	MN <sub>z,Rd</sub> = 53.95 kN*m	Vz <sub>T,Rd</sub> = 274.58 kN
			Tt <sub>Ed</sub> = -0.00 kN*m



Classe da secção = 1

---

 **PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

---

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**

 em relação ao eixo y:	 em relação ao eixo z:
Ly = 6.00 m	Lz = 2.00 m
Lcr,y = 6.00 m	Lcr,z = 2.00 m
Lamy = 78.30	Lamz = 43.76
Lam <sub>y</sub> = 0.83	Lam <sub>z</sub> = 0.47
Xy = 0.70	Xz = 0.86
kyy = 1.18	kyz = 0.62

---

**FÓRMULA DE VERIFICAÇÃO:**

**Control de resistência da secção:**  
 $N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.29 < 1.00$  (6.2.4.(1))  
 $(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^2 + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^2 = 0.01 < 1.00$  (6.2.9.1.(6))  
 $V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00$  (6.2.6-7)  
 $V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.00 < 1.00$  (6.2.6-7)  
 $\tau_{xy,Ed}/(f_y/\sqrt{3}) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)  
 $\tau_{xz,Ed}/(f_y/\sqrt{3}) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)

**Control da estabilidade global da barra:**  
 $\lambda_{y,Ed} = 78.30 < \lambda_{y,max} = 210.00$      $\lambda_{z,Ed} = 43.76 < \lambda_{z,max} = 210.00$     ESTÁVEL  
 $N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.44 < 1.00$  (6.3.3.(4))  
 $N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.38 < 1.00$  (6.3.3.(4))

**Perfil correcto !!!**

Ver quadro comparativo na página 49.

Figura 2.15 – Folha de Verificação.

Rádios de dimensionamento - Resistência das Secções Transversais

Compressão				Momento Flector			
$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$		<b>Verificação</b>		$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$		<b>Verificação</b>	
		0,29    OK				0,042    OK	
		$N_{Ed} =$	442,3			$M_{Ed} =$	2,26 [kN.m]
Classe	1	$N_{c,Rd} =$	1533,38	Classe	1	$M_{c,Rd} =$	54,29 [kN.m]
<b>Classe 1, 2 e 3</b>				<b>Classe 1 e 2</b>			
		$N_{c,Rd} =$	1533,38 [kN]	$M_{pl,y,Rd} =$	113,13 [kN.m]		
		$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$		$M_{pl,z,Rd} =$	54,29 [kN.m]	$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$	
<b>Esforço Transverso (direcção y e z)</b>							
$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$		<b>Verificação</b>		$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$		<b>Verificação</b>	
		0,003    OK				0    OK	
		$V_{Ed} =$	2,35 [kN]			$V_{Ed} =$	0,19 [kN]
		$V_{pl,Rd} =$	744,6 [kN]			$V_{pl,Rd} =$	274,61 [kN]
<b>Cálculo plástico</b>				<b>Cálculo plástico</b>			
		$V_{pl,Rd} =$	744,6 [kN]	$V_{pl,Rd} =$	274,61 [kN]		
		$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$				$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$	

Rádios de dimensionamento – Encurvadura – Elementos Comprimidos

Encurvadura - Robot				
Parâmetros de análise de encurvadura				
<b>Ao redor do eixo y da secção</b>				
Curva,y	b		Curva da encurvadura	(Tabela 6.2)
Lcr,y	6.00	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra	(6.3.1.2.(1))
Lamy	78.30		Esbelteza da barra	(6.3.1.2.(1))
Lam_y	0.83		esbelteza relativa da barra para a encurvadura	(6.3.1.2.(1))
alfa,y	0.34		parâmetro de imperfeição	(6.3.1.2.(2))
fi,y	0.96		coeficiente para o cálculo de X	(6.3.1.2.(1))
Xy	0.70		Factor de redução para encurvadura	(6.3.1.2.(1))
Ny,b,Rd	1078.57	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri	(6.3.1.1.(3))
<b>Ao redor do eixo z da secção</b>				
Curva,z	c		Curva da encurvadura	(Tabela 6.2)
Lcr,z	2.00	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra	(6.3.1.2.(1))
Lamz	43.76		Esbelteza da barra	(6.3.1.2.(1))
Lam_z	0.47		esbelteza relativa da barra para a encurvadura	(6.3.1.2.(1))
alfa,z	0.49		parâmetro de imperfeição	(6.3.1.2.(2))
fi,z	0.67		coeficiente para o cálculo de X	(6.3.1.2.(1))
Xz	0.86		Factor de redução para encurvadura	(6.3.1.2.(1))
Nz,b,Rd	1321.52	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri	(6.3.1.1.(3))

Encurvadura - Excel				
<b>Classe 1, 2 e 3</b>				
<b>Eixo y-y</b>				
Lcr (m)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$	
6,00	0,83417	1,0	0,70	
<b>Eixo z-z</b>				
Lcr (m)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$	
2,00	0,46607	0,7	0,86	
Curvas de encurvadura		Curvas de encurvadura		
Eixo de maior Inércia (y-y)		Eixo de menor Inércia (z-z)		
Parâmetros		Parâmetros		
$\lambda_1 =$	93,9	$\lambda_1 =$	93,9	
Aço S235		Aço S235		
$\alpha =$	0,34	$\alpha =$	0,49	
$\beta_A =$	1	$\beta_A =$	1	

$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$							
Eixo y-y	Classe 1 $N_{y,Ed} = 442,3$ $N_{b,y,Rd} = 1078,181$						
Eixo z-z	Classe 1 $N_{z,Ed} = 442,3$ $N_{b,z,Rd} = 1321,421$						
<b>Classe 1, 2 e 3</b>							
$N_{b,y,Rd} = 1078,181$ [kN] $N_{b,z,Rd} = 1321,421$ [kN]							
$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$							
<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">Eixo y-y</th> </tr> <tr> <td>Verificação</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>0,410228</td> <td></td> </tr> </table>		Eixo y-y		Verificação	OK	0,410228	
Eixo y-y							
Verificação	OK						
0,410228							

Rádios Finais					
	Rácio N	Rácio My	Rácio Mz	Rácio Total	
Equação 6.61	0,41	0,026	0,013	0,449	OK
Equação 6.62	0,335	0,016	0,019	0,37	OK



2.4.5 Cordões de alçados (Pórticos das Empenas)

Estudo feito para a barra 3573. Como se pode verificar nas Figuras 2.16 e 2.17.

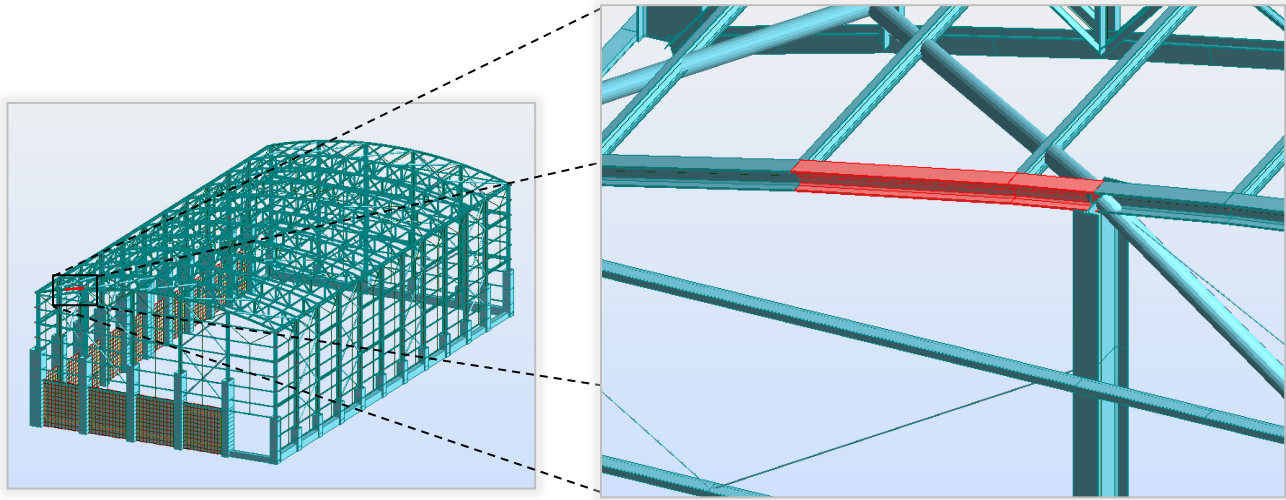


Figura 2.16 – Cordão Verificado (HEB 200).

**NORMA:** EN 1993-1:2005/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.  
**TIPO DE ANÁLISE:** Verificação dos grupos de barras

---

**GRUPO:** 19 Cordões Alçados  
**BARRA:** 3573      **PONTO:** 3      **COORDENADA:** x = 1.00 L = 0.81 m

---

**CARGAS:**  
 Caso de carga dimensionante: 61 ELU T+ (Wy) (1+4)\*1.35+(23+27)\*1.50+30\*0.90

---

**MATERIAL:**  
 Steel ( S235 )    fy = 235.00 MPa

---

**PARÂMETROS DA SECÇÃO: HEB 200**

h=20.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=20.0 cm	Ay=66.02 cm <sup>2</sup>	Az=24.83 cm <sup>2</sup>	Ax=78.08 cm <sup>2</sup>
tw=0.9 cm	Iy=5696.18 cm <sup>4</sup>	Iz=2003.37 cm <sup>4</sup>	Ix=61.40 cm <sup>4</sup>
tf=1.5 cm	Wply=642.58 cm <sup>3</sup>	Wplz=305.82 cm <sup>3</sup>	

---

**FORÇAS INTERNAS E RESISTÊNCIA :**

N <sub>Ed</sub> = 34.78 kN	My <sub>Ed</sub> = 16.81 kN*m	Mz <sub>Ed</sub> = -38.26 kN*m	Vy <sub>Ed</sub> = 69.53 kN
N <sub>c,Rd</sub> = 1834.91 kN	My <sub>pl,Rd</sub> = 151.01 kN*m	Mz <sub>pl,Rd</sub> = 71.87 kN*m	Vy <sub>T,Rd</sub> = 884.83 kN
N <sub>b,Rd</sub> = 1317.56 kN	My <sub>c,Rd</sub> = 151.01 kN*m	Mz <sub>c,Rd</sub> = 71.87 kN*m	Vz <sub>Ed</sub> = 11.73 kN
	MN <sub>y,Rd</sub> = 151.01 kN*m	MN <sub>z,Rd</sub> = 71.87 kN*m	Vz <sub>T,Rd</sub> = 334.44 kN
			Tt <sub>Ed</sub> = 0.17 kN*m
			Classe da secção = 1

---

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

---

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**

	em relação ao eixo y:		em relação ao eixo z:
Ly = 6.50 m	Lam <sub>y</sub> = 0.81	Lz = 2.00 m	Lam <sub>z</sub> = 0.42
Lcr,y = 6.50 m	Xy = 0.72	Lcr,z = 2.00 m	Xz = 0.89
Lamy = 76.10	kzy = 0.53	Lamz = 39.48	kzz = 1.00

---

**FÓRMULA DE VERIFICAÇÃO:**  
**Control de resistência da secção:**  
 N<sub>Ed</sub>/N<sub>c,Rd</sub> = 0.02 < 1.00 (6.2.4.(1))  
 (My<sub>Ed</sub>/MN<sub>y,Rd</sub>)<sup>2</sup> + (Mz<sub>Ed</sub>/MN<sub>z,Rd</sub>)<sup>2</sup> = 0.54 < 1.00 (6.2.9.1.(6))  
 Vy<sub>Ed</sub>/Vy<sub>T,Rd</sub> = 0.08 < 1.00 (6.2.6-7)  
 Vz<sub>Ed</sub>/Vz<sub>T,Rd</sub> = 0.04 < 1.00 (6.2.6-7)  
 Tau<sub>ty,Ed</sub>/(fy/(sqrt(3)\*gM0)) = 0.03 < 1.00 (6.2.6)  
 Tau<sub>tz,Ed</sub>/(fy/(sqrt(3)\*gM0)) = 0.02 < 1.00 (6.2.6)  
**Control da estabilidade global da barra:**  
 Lambda<sub>y</sub> = 76.10 < Lambda<sub>max</sub> = 210.00    Lambda<sub>z</sub> = 39.48 < Lambda<sub>max</sub> = 210.00    ESTAVEL  
 N<sub>Ed</sub>/(Xy\*N<sub>Rk</sub>/gM1) + kyy\*My<sub>Ed</sub>/(XLT\*My<sub>Rk</sub>/gM1) + kyz\*Mz<sub>Ed</sub>/(Mz<sub>Rk</sub>/gM1) = 0.50 < 1.00 (6.3.3.(4))  
 N<sub>Ed</sub>/(Xz\*N<sub>Rk</sub>/gM1) + kzy\*My<sub>Ed</sub>/(XLT\*My<sub>Rk</sub>/gM1) + kzz\*Mz<sub>Ed</sub>/(Mz<sub>Rk</sub>/gM1) = 0.61 < 1.00 (6.3.3.(4))

**Perfil correcto !!!**

Ver quadro comparativo na página 52.

Figura 2.17 – Folha de Verificação.

Rádios de dimensionamento - Resistência da secção transversal

Compressão		Momento Flector	
$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b> 0,019 OK	$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b> 0,53 OK
Classe 1	$N_{Ed} = 34,78$ $N_{c,Rd} = 1834,88$	Classe 1	$M_{Ed} = 38,26$ [kN.m] $M_{c,Rd} = 71,86$ [kN.m]
<b>Classe 1, 2 e 3</b>		<b>Classe 1 e 2</b>	
$N_{c,Rd} = 1834,88$ [kN]		$M_{pl,y,Rd} = 150,99$ [kN.m] $M_{pl,z,Rd} = 71,86$ [kN.m]	
$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$		$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$	
<b>Esforço Transverso (direcção y e z)</b>			
$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b> 0,08 OK	$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b> 0,03 OK
	$V_{Ed} = 69,53$ [kN] $V_{pl,Rd} = 895,74$ [kN]		$V_{Ed} = 11,73$ [kN] $V_{pl,Rd} = 336,89$ [kN]
<b>Cálculo plástico</b>		<b>Cálculo plástico</b>	
$V_{pl,Rd} = 895,74$ [kN]		$V_{pl,Rd} = 336,89$ [kN]	
$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$		$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$	

Rácios de dimensionamento – Encurvadura – Elementos Comprimidos

Encurvadura - Robot			
Parâmetros de análise de encurvadura			
<b>Ao redor do eixo y da secção</b>			
Curva,y	b		Curva da encurvadura (Tabela 6.2)
Lcr,y	6.50	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra (6.3.1.2.(1))
Lamy	76.10		Esbelteza da barra (6.3.1.2.(1))
Lam_y	0.81		esbelteza relativa da barra para a encurvadura (6.3.1.2.(1))
alfa,y	0.34		parâmetro de imperfecção (6.3.1.2.(2))
fi,y	0.93		coeficiente para o cálculo de X (6.3.1.2.(1))
Xy	0.72		Factor de redução para encurvadura (6.3.1.2.(1))
Ny,b,Rd	1317.56	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri (6.3.1.1.(3))
<b>Ao redor do eixo z da secção</b>			
Curva,z	c		Curva da encurvadura (Tabela 6.2)
Lcr,z	2.00	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra (6.3.1.2.(1))
Lamz	39.48		Esbelteza da barra (6.3.1.2.(1))
Lam_z	0.42		esbelteza relativa da barra para a encurvadura (6.3.1.2.(1))
alfa,z	0.49		parâmetro de imperfecção (6.3.1.2.(2))
fi,z	0.64		coeficiente para o cálculo de X (6.3.1.2.(1))
Xz	0.89		Factor de redução para encurvadura (6.3.1.2.(1))
Nz,b,Rd	1626.57	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri (6.3.1.1.(3))

Encurvadura - Excel			
<b>Classe 1, 2 e 3</b>			
<b>Eixo y-y</b>			
Lcr (m)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$
6,50	0,81057	0,9	0,72
<b>Eixo z-z</b>			
Lcr (m)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$
2,00	0,42010	0,6	0,89
Curvas de encurvadura		Curvas de encurvadura	
Eixo de maior Inércia (y-y)		Eixo de menor Inércia (z-z)	
Parâmetros		Parâmetros	
$\lambda_1 =$	93,9	$\lambda_1 =$	93,9
Aço S235		Aço S235	
$\alpha =$	0,34	$\alpha =$	0,49
$\beta_A =$	1	$\beta_A =$	1
$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$			
Eixo y-y	Classe 1	$N_{y,Ed} =$	34,78
		$N_{b,y,Rd} =$	1317,278
Eixo z-z	Classe 1	$N_{z,Ed} =$	34,78
		$N_{b,z,Rd} =$	1626,871
<b>Classe 1, 2 e 3</b>			
		$N_{b,y,Rd} =$	1317,278 [kN]
		$N_{b,z,Rd} =$	1626,871 [kN]
$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$			
<b>Eixo y-y</b>			
Verificação			
		0,026403	OK

Rácios Finais					
	Rácio N	Rácio M <sub>y</sub>	Rácio M <sub>z</sub>	Rácio Total	
Equação 6.61	0,026	0,113	0,367	0,506	OK
Equação 6.62	0,021	0,066	0,532	0,619	OK

2.4.6 Travamentos dos cordões inferiores (Pórticos Centrais)

Estudo feito para barra 1262. Como se pode verificar nas Figuras 2.18 e 2.19.

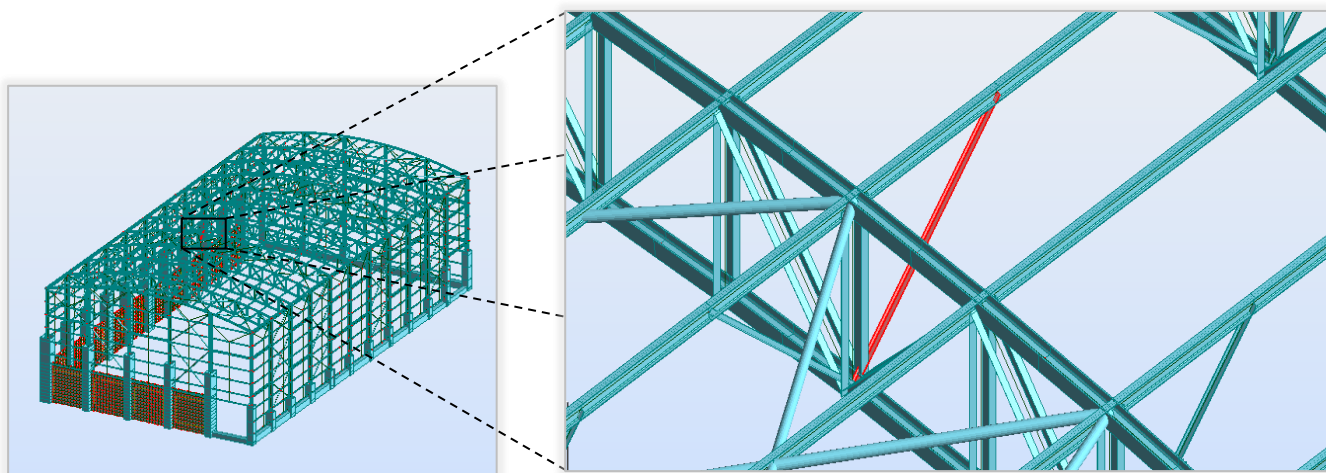


Figura 2.18 – Travamento Verificado (L60x6).

NORMA: EN 1993-1:2005/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.  
 TIPO DE ANÁLISE: Verificação dos grupos de barras

---

GRUPO: 6 Travamentos Cordões Inferiores  
 BARRA: 1262 Pilar\_2 PONTO: 1 COORDENADA: x = 0.00 L = 0.00 m


---

CARGAS:  
 Caso de carga dimensionante: 63 ELU T- (Wx) (1+4)\*1.35+(24+27)\*1.50+32\*0.90

---

MATERIAL:  
 Steel ( S235 ) fy = 235.00 MPa

---

 PARÂMETROS DA SECÇÃO: CAE 60x6

h=6.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=6.0 cm	Ay=3.60 cm <sup>2</sup>	Az=3.60 cm <sup>2</sup>	Ax=6.91 cm <sup>2</sup>
tw=0.6 cm	Iy=22.79 cm <sup>4</sup>	Iz=22.79 cm <sup>4</sup>	Ix=0.82 cm <sup>4</sup>
tf=0.6 cm	Wely=5.29 cm <sup>3</sup>	Welz=5.29 cm <sup>3</sup>	

---

FORÇAS INTERNAS E RESISTÊNCIA :



N <sub>Ed</sub> = 10.57 kN	M <sub>y,Ed</sub> = -0.17 kN*m	M <sub>z,Ed</sub> = 0.00 kN*m	V <sub>y,Ed</sub> = 0.01 kN
N <sub>c,Rd</sub> = 162.35 kN	M <sub>y,e,Rd</sub> = 1.24 kN*m	M <sub>z,e,Rd</sub> = 1.24 kN*m	V <sub>y,T,Rd</sub> = 48.83 kN
N <sub>b,Rd</sub> = 44.15 kN	M <sub>y,c,Rd</sub> = 1.24 kN*m	M <sub>z,c,Rd</sub> = 1.24 kN*m	V <sub>z,Ed</sub> = 0.18 kN
			V <sub>z,T,Rd</sub> = 48.83 kN
			T <sub>t,Ed</sub> = 0.00 kN*m
			Classe da secção = 3

---

PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:

---

PARÂMETROS DE ENCURVADURA:

 em relação ao eixo y:	 em relação ao eixo z:
L <sub>y</sub> = 2.94 m	L <sub>z</sub> = 2.94 m
L <sub>cr,y</sub> = 2.94 m	L <sub>cr,z</sub> = 2.94 m
L <sub>amy</sub> = 161.75	L <sub>amz</sub> = 161.75
L <sub>am,y</sub> = 1.72	L <sub>am,z</sub> = 1.72
X <sub>y</sub> = 0.27	X <sub>z</sub> = 0.27
k <sub>yy</sub> = 1.06	k <sub>zz</sub> = 1.06

---

FÓRMULA DE VERIFICAÇÃO:

Control de resistência da secção:  
 $N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.12 < 1.00$  (6.2.9.3.(1))  
 $V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00$  (6.2.6-7)  
 $V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.00 < 1.00$  (6.2.6-7)  
 $\tau_{xy,Ed}/(f_y/\sqrt{3}) \cdot g_{M0} = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)  
 $\tau_{xz,Ed}/(f_y/\sqrt{3}) \cdot g_{M0} = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)

Control da estabilidade global da barra:  
 $\lambda_{by} = 161.75 < \lambda_{b,max} = 210.00$      $\lambda_{bz} = 161.75 < \lambda_{b,max} = 210.00$  ESTÁVEL  
 $N_{Ed} \cdot (X_y \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed} / (XLT \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed} / (M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.30 < 1.00$  (6.3.3.(4))  
 $N_{Ed} \cdot (X_z \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed} / (XLT \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed} / (M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.30 < 1.00$  (6.3.3.(4))

**Perfil correcto !!!**

Ver quadro comparativo na página 55.

Figura 2.19 – Folha de Verificação.

Rádios de dimensionamento - Resistência das Secções Transversais

Compressão		Momento Flector									
$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$		$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2" style="background-color: #008000; color: white;">Verificação</th></tr> <tr><td style="width: 50%; text-align: center;">0,065</td><td style="width: 50%; text-align: center;">OK</td></tr> </table>		Verificação		0,065	OK	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2" style="background-color: #008000; color: white;">Verificação</th></tr> <tr><td style="width: 50%; text-align: center;">0,14</td><td style="width: 50%; text-align: center;">OK</td></tr> </table>		Verificação		0,14	OK
Verificação											
0,065	OK										
Verificação											
0,14	OK										
Classe 3	$N_{Ed} = 10,57$ $N_{c,Rd} = 162,39$	Classe 3	$M_{Ed} = 0,17$ [kN.m] $M_{c,Rd} = 1,24$ [kN.m]								
<b>Classe 1, 2 e 3</b> $N_{c,Rd} = 162,39$ [kN]		<b>Classe 1 e 2</b> $M_{pl,y,Rd} = 1,24$ [kN.m] $M_{pl,z,Rd} = 1,24$ [kN.m]									
$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$		$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$									
<b>Esforço Transverso (direcção z)</b>											
$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2" style="background-color: #008000; color: white;">Verificação</th></tr> <tr><td style="width: 50%; text-align: center;">0,003</td><td style="width: 50%; text-align: center;">OK</td></tr> </table>				Verificação		0,003	OK				
Verificação											
0,003	OK										
$V_{Ed} = 0,18$ [kN] $V_{pl,Rd} = 48,84$ [kN]											
<b>Cálculo plástico</b> $V_{pl,Rd} = 48,84$ [kN]											
$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$											

Rádios de dimensionamento – Encurvadura – Elementos Comprimidos

Encurvadura - Robot			
Parâmetros de análise de encurvadura			
<b>Ao redor do eixo y da secção</b>			
Curva,y	b		Curva da encurvadura
Lcr,y	2.94	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra
Lamy	161.75		Esbelteza da barra
Lam_y	1.72		esbelteza relativa da barra para a encurvadura
alfa,y	0.34		parâmetro de imperfeição
fi,y	2.24		coeficiente para o cálculo de X
Xy	0.27		Factor de redução para encurvadura
Ny,b,Rd	44.15	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri
<b>Ao redor do eixo z da secção</b>			
Curva,z	b		Curva da encurvadura
Lcr,z	2.94	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra
Lamz	161.75		Esbelteza da barra
Lam_z	1.72		esbelteza relativa da barra para a encurvadura
alfa,z	0.34		parâmetro de imperfeição
fi,z	2.24		coeficiente para o cálculo de X
Xz	0.27		Factor de redução para encurvadura
Nz,b,Rd	44.15	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri

Encurvadura - Excel									
<b>Classe 1, 2 e 3</b>									
<b>Eixo y-y</b>									
Lcr (m)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$						
2,94	1,73944	2,3	0,27						
<b>Eixo z-z</b>									
Lcr (m)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$						
2,94	1,73944	2,3	0,27						
Curvas de encurvadura		Curvas de encurvadura							
Eixo de maior Inércia (y-y)		Eixo de menor Inércia (z-z)							
Parâmetros		Parâmetros							
$\lambda_1 =$	93,9	$\lambda_1 =$	93,9						
Aço S235		Aço S235							
$\alpha =$	0,34	$\alpha =$	0,34						
$\beta_A =$	1	$\beta_A =$	1						
$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$									
Eixo y-y	Classe 3	$N_{y,Ed} = 10,57$	$N_{b,y,Rd} = 43,41755$						
Eixo z-z	Classe 3	$N_{z,Ed} = 10,57$	$N_{b,z,Rd} = 43,41755$						
<b>Classe 1, 2 e 3</b>									
$N_{b,y,Rd} = 43,41755$ [kN]		$N_{b,z,Rd} = 43,41755$ [kN]							
$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$									
			<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td colspan="2"><b>Eixo y-y</b></td> </tr> <tr> <td>Verificação</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>0,24345</td> <td>OK</td> </tr> </table>	<b>Eixo y-y</b>		Verificação	OK	0,24345	OK
<b>Eixo y-y</b>									
Verificação	OK								
0,24345	OK								

Rádios Finais					
	Rácio N	Rácio M <sub>y</sub>	Rácio M <sub>z</sub>	Rácio Total	
Equação 6.61	0,243	0,121	0	0,364	OK
Equação 6.62	0,243	0,121	0	0,364	OK



2.4.7 Madres da Cobertura

Estudo feito para a barra 1262. Como se pode verificar nas Figuras 2.20 e 2.21.

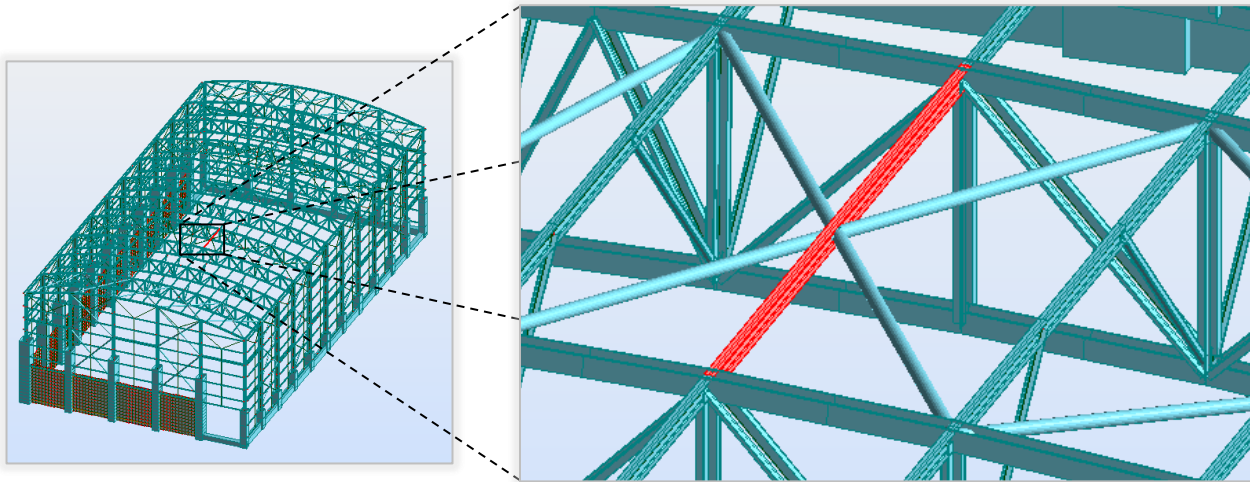


Figura 2.20 – Madre Verificada (IPE 160).

**NORMA:** EN 1993-1:2005/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.  
**TIPO DE ANÁLISE:** Verificação das barras

---

**GRUPO:**  
**BARRA:** 1356 Madres da Cobertura\_1356 **PONTO:** 1 **COORDENADA:** x = 0.00 L = 0.00 m


---

**CARGAS:**  
 Caso de carga dimensionante: 57 ELU Wy- (T+) (1+4)\*1.35+23\*0.90+(28+27)\*1.50

---

**MATERIAL:**  
 Steel ( S235 ) fy = 235.00 MPa

---

 **PARÂMETROS DA SECÇÃO: IPE 160**


h=16.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=8.2 cm	Ay=13.73 cm <sup>2</sup>	Az=9.66 cm <sup>2</sup>	Ax=20.09 cm <sup>2</sup>
tw=0.5 cm	Iy=869.29 cm <sup>4</sup>	Iz=68.31 cm <sup>4</sup>	Ir=3.53 cm <sup>4</sup>
tf=0.7 cm	Wply=123.87 cm <sup>3</sup>	Wplz=26.10 cm <sup>3</sup>	

---

**FORÇAS INTERNAS E RESISTÊNCIA :**

N <sub>Ed</sub> = -38.09 kN	My <sub>Ed</sub> = 9.44 kN*m	Mz <sub>Ed</sub> = -0.08 kN*m	Vy <sub>Ed</sub> = -0.08 kN
N <sub>t,Rd</sub> = 472.15 kN	My <sub>pL,Rd</sub> = 29.11 kN*m	Mz <sub>pL,Rd</sub> = 6.13 kN*m	Vy <sub>T,Rd</sub> = 186.26 kN
	My <sub>c,Rd</sub> = 29.11 kN*m	Mz <sub>c,Rd</sub> = 6.13 kN*m	Vz <sub>Ed</sub> = -8.23 kN
	MN <sub>y,Rd</sub> = 29.11 kN*m	MN <sub>z,Rd</sub> = 6.13 kN*m	Vz <sub>T,Rd</sub> = 131.01 kN
	Mb <sub>Rd</sub> = 10.91 kN*m		Tt <sub>Ed</sub> = 0.00 kN*m
			Classe da secção = 1

---

 **PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

z = 1.00	M <sub>cr</sub> = 10.93 kN*m	Curva <sub>LT</sub> - b	XLT = 0.37
L <sub>cr,upp</sub> = 6.00 m	L <sub>am,LT</sub> = 1.63	fi <sub>LT</sub> = 1.71	XLT <sub>mod</sub> = 0.37

---

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**

em relação ao eixo y:       em relação ao eixo z:

---

**FÓRMULA DE VERIFICAÇÃO:**  
**Control de resistência da secção:**  
 N<sub>Ed</sub>/N<sub>t,Rd</sub> = 0.08 < 1.00 (6.2.3.(1))  
 (My<sub>Ed</sub>/MN<sub>y,Rd</sub>)<sup>2</sup> + (Mz<sub>Ed</sub>/MN<sub>z,Rd</sub>)<sup>2</sup> = 0.12 < 1.00 (6.2.9.1.(6))  
 Vy<sub>Ed</sub>/Vy<sub>T,Rd</sub> = 0.00 < 1.00 (6.2.6-7)  
 Vz<sub>Ed</sub>/Vz<sub>T,Rd</sub> = 0.06 < 1.00 (6.2.6-7)  
 Tau<sub>ty,Ed</sub> / (fy / (sqrt(3) \* gM0)) = 0.00 < 1.00 (6.2.6)  
 Tau<sub>tz,Ed</sub> / (fy / (sqrt(3) \* gM0)) = 0.00 < 1.00 (6.2.6)  
**Control da estabilidade global da barra:**  
 My<sub>Ed</sub>/Mb<sub>Rd</sub> = 0.86 < 1.00 (6.3.2.1.(1))

*Perfil correcto !!!*

Ver quadro comparativo na página 58.

Figura 2.21 – Folha de Verificação.

Rádios de dimensionamento - Resistência das Secções Transversais

Tração		Momento Flector	
$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b>	$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b>
	0,08    OK		0,32    OK
$N_{Ed} = 38,09$		$M_{Ed} = 9,44$ [kN.m]	
$N_{t,Rd} = 472,12$		Classe 1 $M_{c,Rd} = 29,12$ [kN.m]	
<b>Secção bruta</b>		<b>Classe 1 e 2</b>	
$N_{pl,Rd} = 472,12$ [kN]		$M_{pl,y,Rd} = 29,12$ [kN.m]	
$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$		$M_{pl,z,Rd} = 6,13$ [kN.m]	
		$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$	
<b>Esforço Transverso (dircção z)</b>			
$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b>		
	0,06    OK		
		$V_{Ed} = 8,23$ [kN]	
		$V_{pl,Rd} = 131,06$ [kN]	
<b>Cálculo plástico</b>			
		$V_{pl,Rd} = 131,06$ [kN]	
		$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$	

Rácios de dimensionamento – Encurvadura Lateral

**Encurvadura Lateral - Robot**

método detalhado [6.3.2.3]				
Lcr,upp	6.00	m	Comprimento de encurvadura lateral do banzo superior	activo
Lcr,low	6.00	m	Comprimento de encurvadura lateral do banzo inferior	inactivo
C1	1.13		Coefficiente para o cálculo de M <sub>cr</sub>	ENV311(F.1.2.)
C2	0.46		Coefficiente para o cálculo de M <sub>cr</sub>	ENV311(F.1.2.)
C3	0.53		Coefficiente para o cálculo de M <sub>cr</sub>	ENV311(F.1.2.)
Iw	3977.1	cm <sup>6</sup>	Constante de empenamento	(6.3.2.2)
z <sub>g</sub>	8.0	cm	Distância do ponto onde a carga é aplicada para o centr	ENV311(F.1.2.)
M <sub>cr</sub>	10.93	kN*m	Momento crítico para o encurvadura lateral	ENV311(F.1)
kc	0.94		parâmetro correctivo dependente do modo da cargar	(6.3.2.3.(2))
Lam_LT	1.63		esbelteza relativa da barra para a encurvadura lateral	(6.3.2.2.(1))
Lam,LT0	0.40		esbelteza comparativa	(6.3.2.3.(1))
Curva,LT	b		Curva de encurvadura lateral	(6.3.2.3.(1))
alfa,LT	0.34		parâmetro de imperfecção para as curvas de encurvad	(Tabela 6.3)
f <sub>i,LT</sub>	1.71		coeficiente para o cálculo de XLT	(6.3.2.3.(1))
Beta	0.75		coeficiente para o cálculo de XLT	(6.3.2.3.(1))
XLT	0.37		Factor de redução para encurvadura lateral	(6.3.2.3.(1))
f	1.00		coeficiente de reduccão para os cálculos de XLT,mod	(6.3.2.3.(2))
XLT,mod	0.37		coeficiente de encurvadura lateral modificado	(6.3.2.3.(2))

**M<sub>b,Rd</sub>**

**10.91**

**kN\*m**

**Momento resistente de cálculo devido à encurvadura lat**

**(6.3.2.1)**

**Encurvadura Lateral - Excel**

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

Classe 1 e 2			
$\bar{\lambda}_{LT}$	=	1,52	$M_{y,Ed} / M_{cr,y}$ 1,264837 <b>CONSIDERAR EFEITOS DE ENCURVADURA</b>
$\bar{\lambda}_{LT}$	=	0,37	$M_{z,Ed} / M_{cr,z}$ 0,007359 <b>IGNORAR EFEITOS DE ENCURVADURA</b>

Classe 1 e 2				
Eixo y-y	M <sub>cr</sub>	$\bar{\lambda}_{LT}$	$\psi_{LT}$	X <sub>LT</sub>
Lcr (m)				
6.00	12,57	1,52	1,59	0,40

**Curvas de encurvadura**

Eixo (y-y)  
Parâmetros

$\lambda_1 = 93,9$

Aço S235  $f_y = 235$

$\alpha_{LT} = 0,34$

$C_1 = 1,132$

**Não Desprezar Efeito Encurvadura**

Classe 1 e 2

**M<sub>b,y,Rd</sub> = 11,70024 [kN.m]**

$$M_{b,Rd} = \frac{x_{LT} W_y f_y}{\gamma_{M1}}$$

M<sub>b,z,Rd</sub> = 5,971285 [kN.m]

Classe 1 e 2: W<sub>y</sub> = W<sub>pl,y</sub>

**Rácios Finais**

		Verificação	
y-y	0,81	OK	
z-z	0,01	OK	

$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$

M <sub>y,Ed</sub> =	9,44	[kN.m]
M <sub>z,Ed</sub> =	0,08	[kN.m]
Classe 1	M <sub>b,y,Rd</sub> =	11,7 [kN.m]
	M <sub>b,z,Rd</sub> =	5,97 [kN.m]

Estudo feito para a barra 1349. Como se pode verificar nas Figuras 2.22 e 2.23.

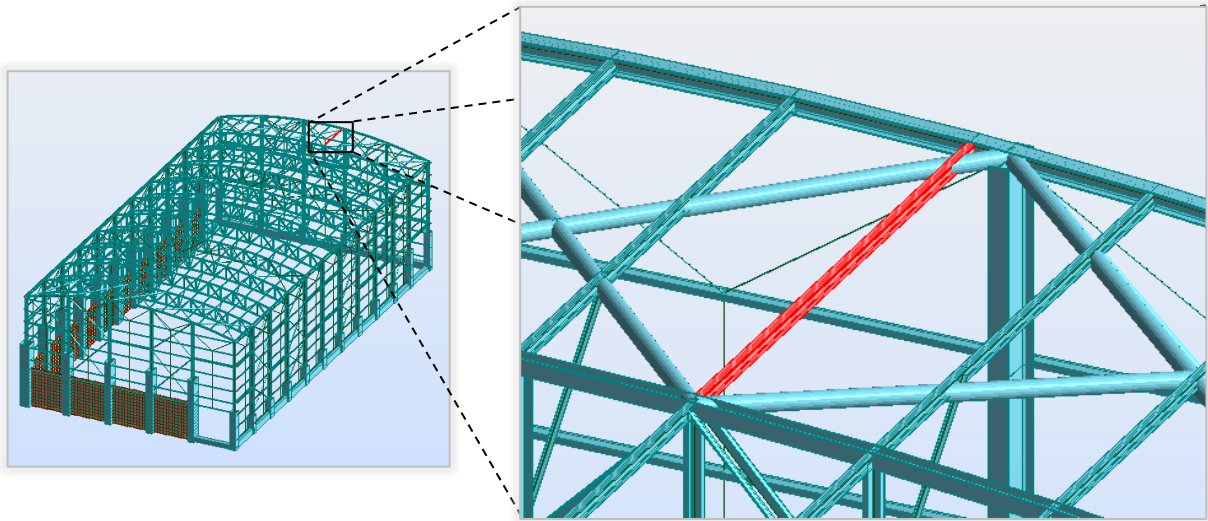


Figura 2.22 – Madre Verificada (IPE 160).

NORMA: EN 1993-1-2:2005/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.  
 TIPO DE ANÁLISE: Verificação das barras

---

GRUPO:  
 BARRA: 1349 Madres da Cobertura\_1349 PUNTO: 3 COORDENADA: x = 1.00 L = 6.50 m


---

CARGAS:  
 Caso de carga dimensionante: 57 ELU Wy- (T+) (1+4)\*1.35+23\*0.90+(28+27)\*1.50

---

MATERIAL:  
 Steel (S235) fy = 235.00 MPa

---

 **PARÂMETROS DA SECÇÃO: IPE 160**

h=16.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=8.2 cm	Ay=13.73 cm <sup>2</sup>	Az=9.66 cm <sup>2</sup>	Ax=20.09 cm <sup>2</sup>
tw=0.5 cm	Iy=869.29 cm <sup>4</sup>	Iz=68.31 cm <sup>4</sup>	Ix=3.53 cm <sup>4</sup>
tf=0.7 cm	Wply=123.87 cm <sup>3</sup>	Wplz=26.10 cm <sup>3</sup>	


---

**FORÇAS INTERNAS E RESISTÊNCIA :**

N,Ed = -1.10 kN	My,Ed = 11.07 kN*m	Mz,Ed = -0.13 kN*m	Vy,Ed = 0.10 kN
Nt,Rd = 472.15 kN	My,pl,Rd = 29.11 kN*m	Mz,pl,Rd = 6.13 kN*m	Vy,T,Rd = 186.30 kN
	My,c,Rd = 29.11 kN*m	Mz,c,Rd = 6.13 kN*m	Vz,Ed = 10.08 kN
	MN,y,Rd = 29.11 kN*m	MN,z,Rd = 6.13 kN*m	Vz,T,Rd = 131.03 kN
	Mb,Rd = 10.13 kN*m		Tt,Ed = -0.00 kN*m

Classe da secção = 1

---

 **PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

z = 1.00	Mcr = 10.13 kN*m	Curva,LT - b	XLT = 0.35
Lcr,upp=6.50 m	Lam_LT = 1.70	fi,LT = 1.80	XLT,mod = 0.35

---

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**

em relação ao eixo y:  em relação ao eixo z:

---

**FÓRMULA DE VERIFICAÇÃO:**  
**Control de resistência da secção:**  
 N,Ed/Nt,Rd = 0.00 < 1.00 (6.2.3.(1))  
 (My,Ed/MN,y,Rd)<sup>2</sup> + (Mz,Ed/MN,z,Rd)<sup>2</sup> = 0.17 < 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 = 0.08 < 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)  
**Control da estabilidade global da barra:**  
 My,Ed/Mb,Rd = 1.09 > 1.00 (6.3.2.1.(1))

**Perfil incorrecto !!!**

Ver quadro comparativo na página 61.

Figura 2.23 – Folha de Verificação.

Rádios de dimensionamento - Resistência das Secções Transversais

Tracção		Momento Flector	
$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b> 0,002 OK	$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b> 0,38 OK
$N_{Ed} = 1,1$		$M_{Ed} = 11,07$ [kN.m]	
$N_{t,Rd} = 472,12$		Classe 1 $M_{c,Rd} = 29,12$ [kN.m]	
<b>Secção bruta</b>		<b>Classe 1 e 2</b>	
$N_{pl,Rd} = 472,12$ [kN]		$M_{pl,y,Rd} = 29,12$ [kN.m]	
$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$		$M_{pl,z,Rd} = 6,13$ [kN.m]	
		$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$	
<b>Esforço Transverso (direcção z)</b>			
$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b> 0,07 OK		
		$V_{Ed} = 10,08$ [kN]	
		$V_{pl,Rd} = 131,06$ [kN]	
		<b>Cálculo plástico</b>	
		$V_{pl,Rd} = 131,06$ [kN]	
		$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$	

Rácios de dimensionamento – Encurvadura Lateral

**Encurvadura Lateral - Robot**

método detalhado [6.3.2.3]				
Lcr,upp	6.50	m	Comprimento de encurvadura lateral do banzo superior	activo
Lcr,low	6.50	m	Comprimento de encurvadura lateral do banzo inferior	inactivo
C1	1.13		Coefficiente para o cálculo de Mcr	ENV311(F.1.2)
C2	0.46		Coefficiente para o cálculo de Mcr	ENV311(F.1.2)
C3	0.53		Coefficiente para o cálculo de Mcr	ENV311(F.1.2)
Iw	3977.1	cm <sup>6</sup>	Constante de empenamento	(6.3.2.2)
zg	8.0	cm	Distância do ponto onde a carga é aplicada para o centr	ENV311(F.1.2)
Mcr	10.13	kN*m	Momento crítico para o encurvadura lateral	ENV311(F.1)
kc	0.94		parâmetro correctivo dependente do modo da cargar	(6.3.2.3.(2))
Lam_LT	1.70		esbelteza relativa da barra para a encurvadura lateral	(6.3.2.2.(1))
Lam,LT0	0.40		esbelteza comparativa	(6.3.2.3.(1))
Curva,LT	b		Curva de encurvadura lateral	(6.3.2.3.(1))
alfa,LT	0.34		parâmetro de imperfeição para as curvas de encurvad	(Tabela 6.3)
fi,LT	1.80		coeficiente para o cálculo de XLT	(6.3.2.3.(1))
Beta	0.75		coeficiente para o cálculo de XLT	(6.3.2.3.(1))
XLT	0.35		Factor de redução para encurvadura lateral	(6.3.2.3.(1))
f	1.00		coeficiente de reducccão para os cálculos de XLT,mod	(6.3.2.3.(2))
XLT,mod	0.35		coeficiente de encurvadura lateral modificado	(6.3.2.3.(2))

<b>Mb,Rd</b>	<b>10.13</b>	<b>kN*m</b>	Momento resistente de cálculo devido à encurvadura lat	(6.3.2.1)
--------------	--------------	-------------	--	-----------

**Encurvadura Lateral - Excel**

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

Classe 1 e 2	
$\bar{\lambda}_{LT}$	1,59
$\bar{\lambda}_{LT}$	0,39

$M_{y,Ed}/M_{cr,y}$	0,959169	CONSIDERAR EFEITOS DE ENCURVADURA
$M_{z,Ed}/M_{cr,z}$	0,003158	IGNORAR EFEITOS DE ENCURVADURA

Classe 1 e 2				
Eixo y-y	M <sub>cr</sub>	$\bar{\lambda}_{LT}$	$\phi_{LT}$	X <sub>LT</sub>
6.50	11,54	1,59	1,68	0,38

Curvas de encurvadura	
Eixo (y-y)	
Parâmetros	
$\lambda_1 =$	93,9
Aço S235	$f_y = 235$
$\alpha_{LT} =$	0,34
$C_1 =$	1,132

**Não Desprezar Efeito Encurvadura**

Classe 1 e 2

$M_{b,y,Rd} = 10,98653$  [kN.m]

$M_{b,z,Rd} = 5,952662$  [kN.m]

Classe 1 e 2 :  $W_y = W_{pl,y}$

$$M_{b,Rd} = \frac{x_{LT} W_y f_y}{\gamma_{M1}}$$

**Rácios Finais**

		Verificação	
y-y	1.01	KO	
z-z	0.02	OK	

$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$	$M_{y,Ed} =$	11,07	[kN.m]
	$M_{z,Ed} =$	0,13	[kN.m]
Classe 1	$M_{b,y,Rd} =$	10,99	[kN.m]
	$M_{b,z,Rd} =$	5,95	[kN.m]

Trabalho Final de Mestrado

61

### 2.4.8 Madres dos Alçados

Estudo feito para a barra 237. Como se pode verificar nas Figuras 2.24 e 2.25.

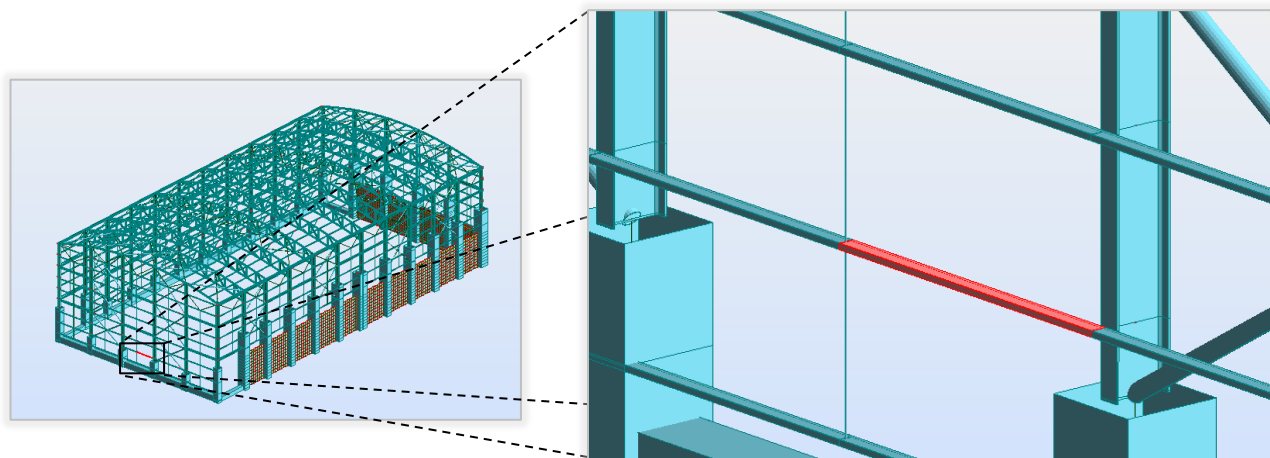


Figura 2.24 – Madre Verificada (UNP 160).

<b>NORMA:</b> EN 1993-1:2005/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.			
<b>TIPO DE ANÁLISE:</b> Verificação das barras			
<b>GRUPO:</b>			
<b>BARRA:</b> 237	<b>PONTO:</b> 3	<b>COORDENADA:</b> x = 1.00 L = 3.40 m	
<b>CARGAS:</b>			
Caso de carga dimensionante: 51 ELU Wx (T+) (1+4)*1.35+(29+27)*1.50+23*0.90			
<b>MATERIAL:</b>			
Steel ( S235 ) fy = 235.00 MPa			
<b>PARÂMETROS DA SEÇÃO: UNP 160</b>			
h=16.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=6.5 cm	Ay=15.04 cm <sup>2</sup>	Az=12.13 cm <sup>2</sup>	Ax=23.89 cm <sup>2</sup>
tw=0.8 cm	Iy=924.55 cm <sup>4</sup>	Iz=85.08 cm <sup>4</sup>	Ix=6.83 cm <sup>4</sup>
tf=1.1 cm	Wply=137.51 cm <sup>3</sup>	Wplz=35.16 cm <sup>3</sup>	
<b>FORÇAS INTERNAS E RESISTÊNCIA :</b>			
N,Ed = 121.71 kN	My,Ed = 10.24 kN*m	Mz,Ed = -1.41 kN*m	Vy,Ed = 1.42 kN
Nc,Rd = 561.51 kN	My,pl,Rd = 32.31 kN*m	Mz,pl,Rd = 8.26 kN*m	Vy,T,Rd = 204.11 kN
Nb,Rd = 561.51 kN	My,c,Rd = 32.31 kN*m	Mz,c,Rd = 8.26 kN*m	Vz,Ed = 8.81 kN
	MN,y,Rd = 30.80 kN*m	MN,z,Rd = 7.88 kN*m	Vz,T,Rd = 164.63 kN
	Mb,Rd = 17.68 kN*m		Tt,Ed = 0.00 kN*m
			Classe da secção = 1
<b>PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:</b>			
z = 1.00	Mcr = 29.44 kN*m	Curva,LT - d	XLT = 0.53
Lcr,upp=3.40 m	Lam_LT = 1.05	fi,LT = 1.16	XLT,mod = 0.55
<b>PARÂMETROS DE ENCURVADURA:</b>			
<input checked="" type="checkbox"/>	em relação ao eixo y:	<input checked="" type="checkbox"/>	em relação ao eixo z:
	kyy = 1.00		kzz = 1.00
<b>FÓRMULA DE VERIFICAÇÃO:</b>			
<b>Control de resistência da secção:</b>			
$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.22 < 1.00$ (6.2.4.(1))			
$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^2 + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^2 = 0.51 < 1.00$ (6.2.9.1.(6))			
$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.01 < 1.00$ (6.2.6-7)			
$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.05 < 1.00$ (6.2.6-7)			
$\tau_{xy,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}) * g_{M0}) = 0.00 < 1.00$ (6.2.6)			
$\tau_{xz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}) * g_{M0}) = 0.00 < 1.00$ (6.2.6)			
<b>Control da estabilidade global da barra:</b>			
$M_{y,Ed}/M_{b,Rd} = 0.58 < 1.00$ (6.3.2.1.(1))			
$N_{Ed}/(X_y * N_{Rk}/g_{M1}) + k_{yy} * M_{y,Ed}/(X_{LT} * M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{yz} * M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.97 < 1.00$ (6.3.3.(4))			
$N_{Ed}/(X_z * N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} * M_{y,Ed}/(X_{LT} * M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} * M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.97 < 1.00$ (6.3.3.(4))			
<b>Perfil correcto !!!</b>			

Ver quadro comparativo na página 64.

Figura 2.25 – Folha de Verificação.

Rádios de dimensionamento - Resistência das Secções Transversais

Compressão		Momento Flector	
$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b>	$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b>
	0,22    OK		0,32    OK
	$N_{Ed} = 121,71$		$M_{Ed} = 10,24$ [kN.m]
Classe 1	$N_{c,Rd} = 561,42$	Classe 1	$M_{c,Rd} = 32,31$ [kN.m]
<b>Classe 1, 2 e 3</b>		<b>Classe 1 e 2</b>	
	$N_{c,Rd} = 561,42$ [kN]		$M_{pl,y,Rd} = 32,31$ [kN.m]
	$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$		$M_{pl,z,Rd} = 8,26$ [kN.m]
			$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$
<b>Esforço Transverso (direcção y e z)</b>			
$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b>	$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b>
	0,01    OK		0,05    OK
	$V_{Ed} = 1,42$ [kN]		$V_{Ed} = 8,81$ [kN]
	$V_{pl,Rd} = 204,06$ [kN]		$V_{pl,Rd} = 164,58$ [kN]
<b>Cálculo plástico</b>		<b>Cálculo plástico</b>	
	$V_{pl,Rd} = 204,06$ [kN]		$V_{pl,Rd} = 164,58$ [kN]
	$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$		$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$

Rácios de dimensionamento – Encurvadura Lateral

**Encurvadura Lateral - Robot**

método detalhado [6.3.2.3]				
Lcr,upp	3.40	m	Comprimento de encurvadura lateral do banzo superior	activo
Lcr,low	3.40	m	Comprimento de encurvadura lateral do banzo inferior	inactivo
C1	1.13		Coefficiente para o cálculo de M <sub>cr</sub>	ENV311(F.1.2.)
C2	0.46		Coefficiente para o cálculo de M <sub>cr</sub>	ENV311(F.1.2.)
C3	0.53		Coefficiente para o cálculo de M <sub>cr</sub>	ENV311(F.1.2.)
Iw	4618.8	cm <sup>6</sup>	Constante de empenamento	(6.3.2.2)
zg	8.0	cm	Distância do ponto onde a carga é aplicada para o centr	ENV311(F.1.2.)
M <sub>cr</sub>	29.44	kN*m	Momento crítico para o encurvadura lateral	ENV311(F.1)
kc	0.94		parâmetro correctivo dependente do modo da cargar	(6.3.2.3.(2))
Lam_LT	1.05		esbelteza relativa da barra para a encurvadura lateral	(6.3.2.2.(1))
Lam,LTO	0.40		esbelteza comparativa	(6.3.2.3.(1))
Curva,LT	d		Curva de encurvadura lateral	(6.3.2.3.(1))
alfa,LT	0.76		parâmetro de imperfecção para as curvas de encurvad	(Tabela 6.3)
fi,LT	1.16		coeficiente para o cálculo de XLT	(6.3.2.3.(1))
Beta	0.75		coeficiente para o cálculo de XLT	(6.3.2.3.(1))
XLT	0.53		Factor de redução para encurvadura lateral	(6.3.2.3.(1))
f	0.97		coeficiente de reduccão para os cálculos de XLT,mod	(6.3.2.3.(2))
XLT,mod	0.55		coeficiente de encurvadura lateral modificado	(6.3.2.3.(2))

**M<sub>b,Rd</sub>**

**17.68**

**kN\*m**

**Momento resistente de cálculo devido à encurvadura lat**

**(6.3.2.1)**

**Encurvadura Lateral - Excel**

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

Classe 1 e 2				
$\bar{\lambda}_{LT}$	=	0,96	$M_{y,Ed} / M_{cr,y}$	14,19794
$\bar{\lambda}_{LT}$	=	0,27	$M_{z,Ed} / M_{cr,z}$	0,861398

CONSIDERAR EFEITOS DE ENCURVADURA

IGNORAR EFEITOS DE ENCURVADURA

Classe 1 e 2				
<b>Eixo y-y</b>				
Lcr (m)	M <sub>cr</sub>	$\bar{\lambda}_{LT}$	$\psi_{LT}$	$\chi_{LT}$
3,40	35,22	0,96	1,13	0,53
Curvas de encurvadura				
Eixo (y-y)				
Parâmetros				
$\lambda_1 =$	93,9			
Aço S235	$f_y = 235$			
$\alpha_{1T} =$	0,76			
$C_1 =$	1,132			

Não Desprezar Efeito Encurvadura

Classe 1 e 2

**M<sub>b,y,Rd</sub> = 16,98561 [kN.m]**

$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_y f_y}{\gamma_{M1}}$

M<sub>b,z,Rd</sub> = 7,843258 [kN.m]

Classe 1 e 2 : W<sub>y</sub> = W<sub>pl,y</sub>

**Rácios Finais**

	Rácio N	Rácio M <sub>y</sub>	Rácio M <sub>z</sub>	Rácio Total	
Equação 6.61	0,217	0,603	0,171	0,991	OK
Equação 6.62	0,217	0,603	0,171	0,991	OK

Estudo feito para a barra 1942. Como se pode verificar nas Figuras 2.26 e 2.27.

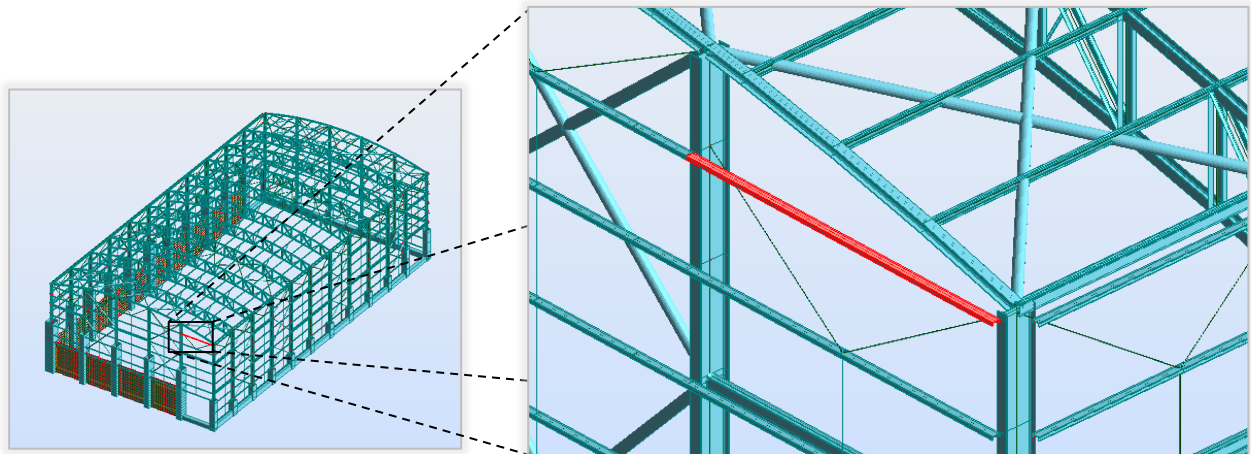


Figura 2.26 – Madre Verificada (UNP 160).

**NORMA:** EN 1993-1-2:2005/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.  
**TIPO DE ANÁLISE:** Verificação das barras

---

**GRUPO:**  
**BARRA:** 1942 Madres dos Alçados\_1942 **PONTO:** 3 **COORDENADA:** x = 1.00 L = 6.80 m


---

**CARGAS:**  
 Caso de carga dimensionante: 58 ELU Wy- (T-) (1+4)\*1.35+24\*0.90+(27+28)\*1.50

---

**MATERIAL:**  
 Steel ( S235 ) fy = 235.00 MPa

---

 **PARÂMETROS DA SECÇÃO: UNP 160**


h=16.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=6.5 cm	Ay=15.04 cm <sup>2</sup>	Az=12.13 cm <sup>2</sup>	Ax=23.89 cm <sup>2</sup>
tw=0.8 cm	Iy=924.55 cm <sup>4</sup>	Iz=85.08 cm <sup>4</sup>	Ix=6.83 cm <sup>4</sup>
tf=1.1 cm	Wply=137.51 cm <sup>3</sup>	Wplz=35.16 cm <sup>3</sup>	

---

**FORÇAS INTERNAS E RESISTÊNCIA :**

N <sub>Ed</sub> = 5.68 kN	My <sub>Ed</sub> = 16.21 kN*m	Mz <sub>Ed</sub> = -2.13 kN*m	Vy <sub>Ed</sub> = 1.80 kN
N <sub>c,Rd</sub> = 561.51 kN	My <sub>pl,Rd</sub> = 32.31 kN*m	Mz <sub>pl,Rd</sub> = 8.26 kN*m	Vy <sub>T,Rd</sub> = 203.94 kN
N <sub>b,Rd</sub> = 561.51 kN	My <sub>c,Rd</sub> = 32.31 kN*m	Mz <sub>c,Rd</sub> = 8.26 kN*m	Vz <sub>Ed</sub> = 15.26 kN
	MN <sub>y,Rd</sub> = 32.31 kN*m	MN <sub>z,Rd</sub> = 8.26 kN*m	Vz <sub>T,Rd</sub> = 164.53 kN
	Mb <sub>Rd</sub> = 11.45 kN*m		Tt <sub>Ed</sub> = -0.00 kN*m
			Classe da secção = 1

---

 **PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

z = 1.00	Mcr = 15.21 kN*m	Curva <sub>LT</sub> - d	XLT = 0.35
L <sub>cr,upp</sub> = 6.80 m	Lam <sub>LT</sub> = 1.46	fi <sub>LT</sub> = 1.70	XLT <sub>mod</sub> = 0.35

---

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**

<input checked="" type="checkbox"/> em relação ao eixo y:	<input checked="" type="checkbox"/> em relação ao eixo z:
kyy = 1.00	kzz = 1.00

---

**FÓRMULA DE VERIFICAÇÃO:**  
**Control de resistência da secção:**  
 N<sub>Ed</sub>/N<sub>c,Rd</sub> = 0.01 < 1.00 (6.2.4.(1))  
 (My<sub>Ed</sub>/MN<sub>y,Rd</sub>)<sup>1.00</sup> + (Mz<sub>Ed</sub>/MN<sub>z,Rd</sub>)<sup>1.00</sup> = 0.76 < 1.00 (6.2.9.1.(6))  
 Vy<sub>Ed</sub>/Vy<sub>T,Rd</sub> = 0.01 < 1.00 (6.2.6-7)  
 Vz<sub>Ed</sub>/Vz<sub>T,Rd</sub> = 0.09 < 1.00 (6.2.6-7)  
 Tau<sub>ty,Ed</sub>/(fy/(sqrt(3))\*gM0) = 0.00 < 1.00 (6.2.6)  
 Tau<sub>tz,Ed</sub>/(fy/(sqrt(3))\*gM0) = 0.00 < 1.00 (6.2.6)  
**Control da estabilidade global da barra:**  
 My<sub>Ed</sub>/Mb<sub>Rd</sub> = 1.42 > 1.00 (6.3.2.1.(1))  
 N<sub>Ed</sub>/(Xy\*N<sub>Rk</sub>/gM1) + kyy\*My<sub>Ed</sub>/(XLT\*My<sub>Rk</sub>/gM1) + kyz\*Mz<sub>Ed</sub>/(Mz<sub>Rk</sub>/gM1) = 1.68 > 1.00 (6.3.3.(4))  
 N<sub>Ed</sub>/(Xz\*N<sub>Rk</sub>/gM1) + kzv\*Mv<sub>Ed</sub>/(XLT\*Mv<sub>Rk</sub>/gM1) + kzz\*Mz<sub>Ed</sub>/(Mz<sub>Rk</sub>/gM1) = 1.68 > 1.00 (6.3.3.(4))

**Perfil incorrecto !!!**

← Ver quadro comparativo na página 67.

Figura 2.27 – Folha de Verificação.

Rádios de dimensionamento - Resistência das Secções Transversais

Compressão		Momento Flector	
$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b> 0,01 OK	$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b> 0,5 OK
	$N_{Ed} = 5,68$		$M_{Ed} = 16,21$ [kN.m]
Classe 1	$N_{c,Rd} = 561,42$	Classe 1	$M_{c,Rd} = 32,31$ [kN.m]
<b>Classe 1, 2 e 3</b>		<b>Classe 1 e 2</b>	
$N_{c,Rd} = 561,42$ [kN]		$M_{pl,y,Rd} = 32,31$ [kN.m]	
		$M_{pl,z,Rd} = 8,26$ [kN.m]	
$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$		$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$	
Esforço Transverso (direcção y e z)			
$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b> 0,01 OK	$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b> 0,09 OK
	$V_{Ed} = 1,8$ [kN]		$V_{Ed} = 15,26$ [kN]
	$V_{pl,Rd} = 204,06$ [kN]		$V_{pl,Rd} = 164,58$ [kN]
<b>Cálculo plástico</b>		<b>Cálculo plástico</b>	
$V_{pl,Rd} = 204,06$ [kN]		$V_{pl,Rd} = 164,58$ [kN]	
$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$		$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$	

Rácios de dimensionamento – Encurvadura Lateral

Encurvadura Lateral - Robot				
<b>método detalhado [6.3.2.3]</b>				
Lcr,upp	6.80	m	Comprimento de encurvadura lateral do banzo superior	activo
Lcr,low	6.80	m	Comprimento de encurvadura lateral do banzo inferior	inactivo
C1	1.13		Coefficiente para o cálculo de M <sub>cr</sub>	ENV311(F.1.2.)
C2	0.46		Coefficiente para o cálculo de M <sub>cr</sub>	ENV311(F.1.2.)
C3	0.53		Coefficiente para o cálculo de M <sub>cr</sub>	ENV311(F.1.2.)
I <sub>w</sub>	4618.8	cm <sup>6</sup>	Constante de empenamento	(6.3.2.2)
z <sub>g</sub>	8.0	cm	Distância do ponto onde a carga é aplicada para o centr	ENV311(F.1.2.)
M <sub>cr</sub>	15.21	kN*m	Momento crítico para o encurvadura lateral	ENV311(F.1)
k <sub>c</sub>	0.94		parâmetro correctivo dependente do modo da cargar	(6.3.2.3.(2))
Lam_LT	1.46		esbelteza relativa da barra para a encurvadura lateral	(6.3.2.2.(1))
Lam,LT0	0.40		esbelteza comparativa	(6.3.2.3.(1))
Curva,LT	d		Curva de encurvadura lateral	(6.3.2.3.(1))
alfa,LT	0.76		parâmetro de imperfecção para as curvas de encurvad	(Tabela 6.3)
fi,LT	1.70		coeficiente para o cálculo de XLT	(6.3.2.3.(1))
Beta	0.75		coeficiente para o cálculo de XLT	(6.3.2.3.(1))
XLT	0.35		Factor de redução para encurvadura lateral	(6.3.2.3.(1))
f	1.00		coeficiente de reduccão para os cálculos de XLT,mod	(6.3.2.3.(2))
XLT,mod	0.35		coeficiente de encurvadura lateral modificado	(6.3.2.3.(2))
<hr/>				
M <sub>b,Rd</sub>	11.45	kN*m	Momento resistente de cálculo devido à encurvadura lat	(6.3.2.1)

Encurvadura Lateral - Excel				
<b>Classe 1 e 2</b>				
$\bar{\lambda}_{LT}$ =	1,39	$M_{y,Ed} / M_{cr,y}$	0,969257	CONSIDERAR EFEITOS DE ENCURVADURA
$\bar{\lambda}_{LT}$ =	0,39	$M_{z,Ed} / M_{cr,z}$	0,038635	IGNORAR EFEITOS DE ENCURVADURA
<hr/>				
<b>Classe 1 e 2</b>				
<b>Eixo y-y</b>				
Lcr (m)	M <sub>cr</sub>	$\bar{\lambda}_{LT}$	$\psi_{LT}$	$\chi_{LT}$
6,80	16,72	1,39	1,68	0,35
Curvas de encurvadura				
Eixo (y-y)				
Parâmetros				
$\lambda_1$ =	93,9			
Aço S235	$f_y = 235$			
$\alpha_{LT}$ =	0,76			
$C_1$ =	1,132			
<hr/>				
Não Desprezar Efeito Encurvadura				
Classe 1 e 2				
$M_{b,y,Rd}$ =	11,36222 [kN.m]	$M_{b,Rd} = \frac{x_{LT} W_y f_y}{\gamma_{M1}}$		
$M_{b,z,Rd}$ =	8,2626 [kN.m]			
Classe 1 e 2 : $W_y = W_{pl,y}$				

Rácios Finais					
	Rácio N	Rácio M <sub>y</sub>	Rácio M <sub>z</sub>	Rácio Total	
Equação 6.61	0,01	1,427	0,258	1,695	KO
Equação 6.62	0,01	1,427	0,258	1,695	KO



### 2.4.9 Travamentos dos Alçados e Cobertura

Estudo feito para a barra 3293. Como se pode verificar nas Figuras 2.28 e 2.29.

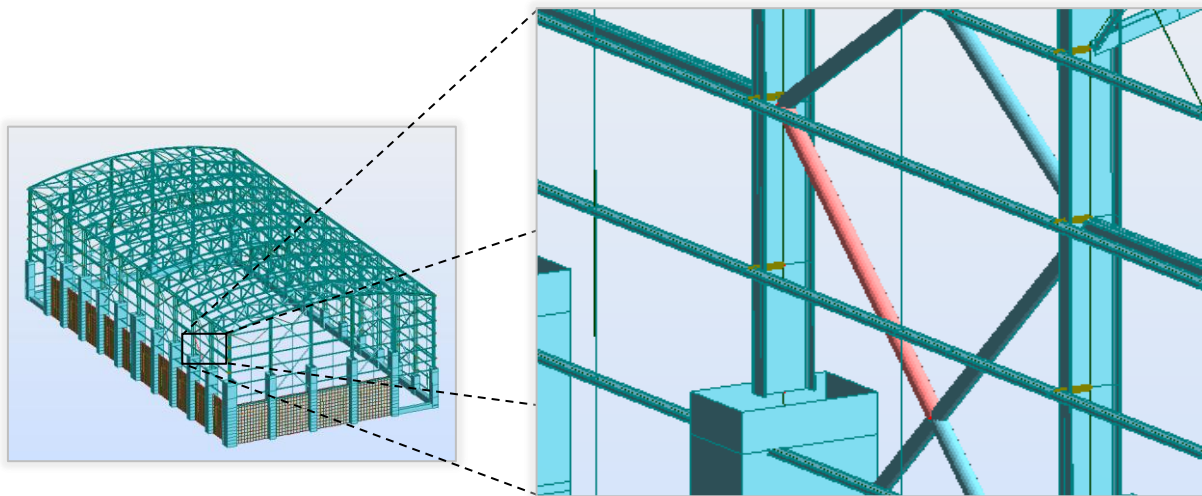


Figura 2.28 – Travamento Verificado (Tubo 193.7x6.3).

<b>NORMA:</b> EN 1993-1:2005/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.			
<b>TIPO DE ANÁLISE:</b> Verificação das barras			
<b>GRUPO:</b>	<b>BARRA:</b> 3293	<b>PONTO:</b> 3	<b>COORDENADA:</b> x = 1.00 L = 4.23 m
<b>CARGAS:</b> Caso de carga dimensionante: 59 ELU T+ (Wx) (1+4)*1.35+(23+27)*1.50+29*0.90			
<b>MATERIAL:</b> Steel (S235) fy = 235.00 MPa			
<b>PARÂMETROS DA SEÇÃO: PIPE_193,7x6,3</b>			
h=19.4 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
tw=0.6 cm	Ay=23.61 cm <sup>2</sup>	Az=23.61 cm <sup>2</sup>	Ax=37.09 cm <sup>2</sup>
	Iy=1630.05 cm <sup>4</sup>	Iz=1630.05 cm <sup>4</sup>	Ix=3260.09 cm <sup>4</sup>
	Wply=221.33 cm <sup>3</sup>	Wplz=221.33 cm <sup>3</sup>	
<b>FORÇAS INTERNAS E RESISTÊNCIA :</b>			
N,Ed = 640.11 kN	My,Ed = 2.87 kN*m	Mz,Ed = -1.35 kN*m	Vy,Ed = 0.44 kN
Nc,Rd = 871.62 kN	My,pl,Rd = 52.01 kN*m	Mz,pl,Rd = 52.01 kN*m	Vy,T,Rd = 316.46 kN
Nb,Rd = 747.40 kN	My,c,Rd = 52.01 kN*m	Mz,c,Rd = 52.01 kN*m	Vz,Ed = 0.76 kN
	MN,y,Rd = 21.24 kN*m	MN,z,Rd = 21.24 kN*m	Vz,T,Rd = 316.46 kN
			Tt,Ed = -0.56 kN*m
			Classe da secção = 1
<b>PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:</b>			
<b>PARÂMETROS DE ENCURVADURA:</b>			
em relação ao eixo y:		em relação ao eixo z:	
Ly = 4.23 m	Lam_y = 0.68	Lz = 4.23 m	Lam_z = 0.68
Lcr,y = 4.23 m	Xy = 0.86	Lcr,z = 4.23 m	Xz = 0.86
Lamy = 63.75	kyy = 1.25	Lamz = 63.75	kyz = 0.79
<b>FÓRMULA DE VERIFICAÇÃO:</b>			
<b>Control de resistência da secção:</b>			
N,Ed/Nc,Rd = 0.73 < 1.00 (6.2.4.(1))			
(My,Ed/MN,y,Rd)^2.00 + (Mz,Ed/MN,z,Rd)^2.00 = 0.02 < 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 = 0.00 < 1.00 (6.2.6-7)			
Tau,ty,Ed/(fy/(sqrt(3))*gM0) = 0.01 < 1.00 (6.2.6)			
Tau,tz,Ed/(fy/(sqrt(3))*gM0) = 0.01 < 1.00 (6.2.6)			
<b>Control da estabilidade global da barra:</b>			
Lambda,y = 63.75 < Lambda,max = 210.00    Lambda,z = 63.75 < Lambda,max = 210.00    ESTAVEL			
N,Ed/(Xy*N,Rk/gM1) + kyy*My,Ed/(XL T*My,Rk/gM1) + kyzz*Mz,Ed/(Mz,Rk/gM1) = 0.95 < 1.00 (6.3.3.(4))			
N,Ed/(Xz*N,Rk/gM1) + kzy*My,Ed/(XLT*My,Rk/gM1) + kzz*Mz,Ed/(Mz,Rk/gM1) = 0.93 < 1.00 (6.3.3.(4))			
<b>Perfil correcto !!!</b>			

Ver quadro comparativo na página 70.

Figura 2.29 – Folha de Verificação.

Rádios de dimensionamento - Resistência das Secções Transversais

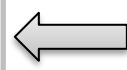
Compressão		Momento Flector	
$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b> 0,73 OK	$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b> 0,06 OK
	$N_{Ed} = 640,11$		$M_{Ed} = 2,87$ [kN.m]
Classe 1	$N_{c,Rd} = 871,62$	Classe 1	$M_{c,Rd} = 52,01$ [kN.m]
<b>Classe 1, 2 e 3</b>		<b>Classe 1 e 2</b>	
	$N_{c,Rd} = 871,62$ [kN]		$M_{pl,y,Rd} = 52,01$ [kN.m]
			$M_{pl,z,Rd} = 52,01$ [kN.m]
$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$		$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$	
<b>Esforço Transverso (direcção y e z)</b>			
$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b> 0 OK	$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b> 0 OK
	$V_{Ed} = 0,44$ [kN]		$V_{Ed} = 0,76$ [kN]
	$V_{pl,Rd} = 320,33$ [kN]		$V_{pl,Rd} = 320,33$ [kN]
<b>Cálculo plástico</b>		<b>Cálculo plástico</b>	
	$V_{pl,Rd} = 320,33$ [kN]		$V_{pl,Rd} = 320,33$ [kN]
$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$		$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$	

Rácios de dimensionamento – Encurvadura – Elementos Comprimidos

Encurvadura - Robot				
Parâmetros de análise de encurvadura				
<b>Ao redor do eixo y da secção</b>				
Curva,y	a		Curva da encurvadura	(Tabela 6.2)
Lcr,y	4.23	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra	(6.3.1.2.(1))
Lamy	63.75		Esbelteza da barra	(6.3.1.2.(1))
Lam_y	0.68		esbelteza relativa da barra para a encurvadura	(6.3.1.2.(1))
alfa,y	0.21		parâmetro de imperfeição	(6.3.1.2.(2))
fi,y	0.78		coeficiente para o cálculo de X	(6.3.1.2.(1))
Xv	0.86		Factor de redução para encurvadura	(6.3.1.2.(1))
Nv.b.Rd	747.40	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri	(6.3.1.1.(3))
<b>Ao redor do eixo z da secção</b>				
Curva,z	a		Curva da encurvadura	(Tabela 6.2)
Lcr,z	4.23	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra	(6.3.1.2.(1))
Lamz	63.75		Esbelteza da barra	(6.3.1.2.(1))
Lam_z	0.68		esbelteza relativa da barra para a encurvadura	(6.3.1.2.(1))
alfa,z	0.21		parâmetro de imperfeição	(6.3.1.2.(2))
fi,z	0.78		coeficiente para o cálculo de X	(6.3.1.2.(1))
Xv	0.86		Factor de redução para encurvadura	(6.3.1.2.(1))
Nz.b.Rd	747.40	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri	(6.3.1.1.(3))

Encurvadura - Excel							
<b>Classe 1, 2 e 3</b>							
<b>Eixo y-y</b>	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$				
Lcr (m)	4,23	0,68254	0,8	0,86			
<b>Eixo z-z</b>	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$				
Lcr (m)	4,23	0,68254	0,8	0,86			
Curvas de encurvadura		Curvas de encurvadura					
Eixo de maior Inércia (y-y)		Eixo de menor Inércia (z-z)					
Parâmetros		Parâmetros					
$\lambda_1 =$	93,9	$\lambda_1 =$	93,9				
Aço S235		Aço S235					
$\alpha =$	0,21	$\alpha =$	0,21				
$\beta_A =$	1	$\beta_A =$	1				
$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$							
Eixo y-y	Classe	1	$N_{y,Ed} =$	640,11			
			$N_{b,y,Rd} =$	745,9136			
Eixo z-z	Classe	1	$N_{z,Ed} =$	640,11			
			$N_{b,z,Rd} =$	745,9136			
<b>Classe 1, 2 e 3</b>							
$N_{b,y,Rd} = 745,9136 \text{ [kN]}$ $N_{b,z,Rd} = 745,9136 \text{ [kN]}$							
$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$							
				<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td><b>Eixo y-y</b></td> </tr> <tr> <td>Verificação</td> </tr> <tr> <td>0,858156 OK</td> </tr> </table>	<b>Eixo y-y</b>	Verificação	0,858156 OK
<b>Eixo y-y</b>							
Verificação							
0,858156 OK							

Rácios Finais					
	Rácio N	Rácio $M_y$	Rácio $M_z$	Rácio Total	
Equação 6.61	0,858	0,088	0,021	0,967	OK
Equação 6.62	0,858	0,056	0,032	0,946	OK



### 2.4.10 Travamentos dos Alçados - Horizontais

Estudo feito para a barra 1223. Como se pode verificar nas Figuras 2.30 e 2.31.

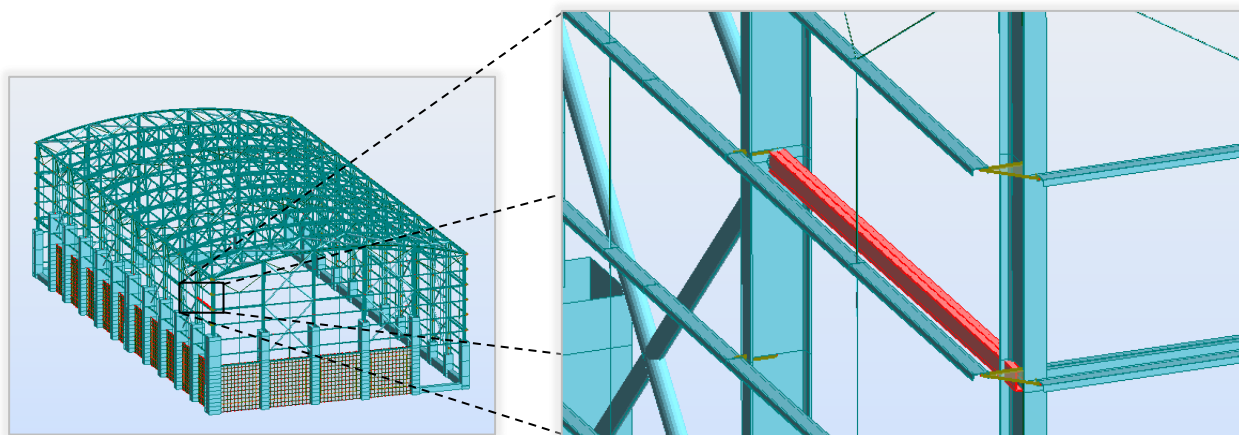


Figura 2.30 – Travamento Verificado (2 UNP200).

**NORMA:** EN 1993-1-2:2005/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.  
**TIPO DE ANÁLISE:** Verificação das barras

---

**GRUPO:**  
**BARRA:** 1223 Barra\_1223      **PONTO:** 3      **COORDENADA:** x = 1.00 L = 6.00 m

---

**CARGAS:**  
 Caso de carga dimensionante: 60 ELU T+ (Wx) (1+4)\*1.35+(23+27)\*1.50+31\*0.90

---

**MATERIAL:**  
 Steel (S235)    fy = 235.00 MPa

---

**PARÂMETROS DA SECÇÃO: 2 UNP 200**

h=20.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=15.0 cm	Ay=34.50 cm <sup>2</sup>	Az=34.00 cm <sup>2</sup>	Ax=64.05 cm <sup>2</sup>
tw=0.9 cm	Iy=3821.00 cm <sup>4</sup>	Iz=2222.40 cm <sup>4</sup>	Ix=22.06 cm <sup>4</sup>
tf=1.1 cm	Wply=455.42 cm <sup>3</sup>	Wplz=351.28 cm <sup>3</sup>	

---

**FORÇAS INTERNAS E RESISTÊNCIA :**

N <sub>Ed</sub> = 391.56 kN	My <sub>Ed</sub> = -20.17 kN*m	Mz <sub>Ed</sub> = -5.12 kN*m	Vy <sub>Ed</sub> = 1.51 kN
N <sub>c,Rd</sub> = 1505.06 kN	My <sub>pl,Rd</sub> = 107.02 kN*m	Mz <sub>pl,Rd</sub> = 82.55 kN*m	Vy <sub>T,Rd</sub> = 468.09 kN
N <sub>b,Rd</sub> = 741.27 kN	My <sub>c,Rd</sub> = 107.02 kN*m	Mz <sub>c,Rd</sub> = 82.55 kN*m	Vz <sub>Ed</sub> = -7.42 kN
	MN <sub>y,Rd</sub> = 99.78 kN*m	MN <sub>z,Rd</sub> = 76.96 kN*m	Vz <sub>T,Rd</sub> = 461.50 kN
			Tt <sub>Ed</sub> = 0.00 kN*m

Classe da secção = 1

---

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**

em relação ao eixo y:	em relação ao eixo z:
Ly = 6.00 m	Lz = 6.00 m
Lcr,y = 6.00 m	Lcr,z = 6.00 m
Lamy = 77.68	Lamz = 101.86
Lam_y = 0.83	Lam_z = 1.08
Xy = 0.65	Xz = 0.49
kzy = 0.80	kzz = 1.26

---

**FÓRMULA DE VERIFICAÇÃO:**

**Control de resistência da secção:**

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

$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^1 + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^1 = 0.27 < 1.00$  (6.2.9.1.(6))

$V_{y,Ed}/V_{y,c,Rd} = 0.00 < 1.00$  (6.2.6.(1))

$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.02 < 1.00$  (6.2.6.(1))

**Control da estabilidade global da barra:**

Lambda,y = 77.68 < Lambda,max = 210.00      Lambda,z = 101.86 < Lambda,max = 210.00      ESTÁVEL

$N_{Ed}/(X_y*N_{Rk}/gM1) + k_{yy}*M_{y,Ed}/(X_{LT}*M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz}*M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.70 < 1.00$  (6.3.3.(4))

$N_{Ed}/(X_z*N_{Rk}/gM1) + k_{zy}*M_{y,Ed}/(X_{LT}*M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz}*M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.76 < 1.00$  (6.3.3.(4))

*Perfil correcto !!!*

Ver quadro comparativo na página 73.

Figura 2.31 – Folha de Verificação.



Rácios de dimensionamento – Encurvadura – Elementos Comprimidos

Encurvadura - Robot				
Parâmetros de análise de encurvadura				
<b>Ao redor do eixo y da secção</b>				
Curva,y	c		Curva da encurvadura	(Tabela 6.2)
Lcr,y	6.00	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra	(6.3.1.2.(1))
Lamy	77.68		Esbelteza da barra	(6.3.1.2.(1))
Lam_y	0.83		esbelteza relativa da barra para a encurvadura	(6.3.1.2.(1))
alfa,y	0.49		parâmetro de imperfeição	(6.3.1.2.(2))
fi,y	1.00		coeficiente para o cálculo de X	(6.3.1.2.(1))
Xy	0.65		Factor de redução para encurvadura	(6.3.1.2.(1))
N <sub>y,b,Rd</sub>	970.95	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri	(6.3.1.1.(3))
<b>Ao redor do eixo z da secção</b>				
Curva,z	c		Curva da encurvadura	(Tabela 6.2)
Lcr,z	6.00	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra	(6.3.1.2.(1))
Lamz	101.86		Esbelteza da barra	(6.3.1.2.(1))
Lam_z	1.08		esbelteza relativa da barra para a encurvadura	(6.3.1.2.(1))
alfa,z	0.49		parâmetro de imperfeição	(6.3.1.2.(2))
fi,z	1.30		coeficiente para o cálculo de X	(6.3.1.2.(1))
Xz	0.49		Factor de redução para encurvadura	(6.3.1.2.(1))
N <sub>z,b,Rd</sub>	741.27	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri	(6.3.1.1.(3))

Encurvadura - Excel				
<b>Classe 1, 2 e 3</b>				
<b>Eixo y-y</b>				
Lcr (m)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$	
6,00	0,82984	1,0	0,64	
<b>Eixo z-z</b>				
Lcr (m)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$	
6,00	1,08301	1,3	0,49	
Curvas de encurvadura		Curvas de encurvadura		
Eixo de maior Inércia (y-y)		Eixo de menor Inércia (z-z)		
Parâmetros		Parâmetros		
$\lambda_1 =$	93,9	$\lambda_1 =$	93,9	
Aço S235		Aço S235		
$\alpha =$	0,49	$\alpha =$	0,49	
$\beta_A =$	1	$\beta_A =$	1	

$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$		
Eixo y-y	Classe 1	$N_{y,Ed} = 391,56$ $N_{b,y,Rd} = 968,476$
Eixo z-z	Classe 1	$N_{z,Ed} = 391,56$ $N_{b,z,Rd} = 742,5903$
<b>Classe 1, 2 e 3</b>		
$N_{b,y,Rd} = 968,476$ [kN]		
$N_{b,z,Rd} = 742,5903$ [kN]		
$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$		
<b>Eixo y-y</b>		
Verificação		
0,404305 OK		

Rácios Finais					
	Rácio N	Rácio M <sub>y</sub>	Rácio M <sub>z</sub>	Rácio Total	
Equação 6.61	0,404	0,289	0,067	0,76	OK
Equação 6.62	0,527	0,191	0,078	0,796	OK

### 2.4.11 Pilares metálicos

Existem pilares metálicos com alturas diferentes, pelo que se decidiu agrupar os mesmos em grupos (em que o factor condicionantes é a altura dos mesmos). Nas figuras seguintes, é possível verificar o pilar mais desfavorável de cada grupo, bem como os que foram escolhidos para proceder à comparação de resultados (ver Figuras 2.32 até 2.40).

Peca	Perfil	Material	Lav	Laz	Solicita	Caso
<b>Família : 9 Pilares Metálicos (Interiores-L=7.5)</b>						
1142	IPÉ 600	Steel	30.87	42.92	0.61	59 ELU T+ (Wx)
<b>Família : 10 Pilares Metálicos (Interiores-L=11.5)</b>						
3820	IPÉ 600	Steel	47.33	42.92	0.60	59 ELU T+ (Wx)
<b>Família : 11 Pilares Metálicos (Interiores-L=14.75)</b>						
3426	IPÉ 600	Steel	60.71	42.92	0.66	60 ELU T+ (Wx-)
<b>Família : 12 Pilares Metálicos (Alçados-L=7.5)</b>						
3714	IPÉ 600	Steel	30.87	42.92	0.94	59 ELU T+ (Wx)
<b>Família : 13 Pilares Metálicos (Alçados-L=8.2)</b>						
3700	IPÉ 600	Steel	33.75	42.92	0.74	62 ELU T+ (Wy-)
<b>Família : 14 Pilares Metálicos (Alçados-L=10)</b>						
3688	IPÉ 600	Steel	41.16	42.92	0.32	62 ELU T+ (Wy-)
<b>Família : 15 Pilares Metálicos (Alçados-L=11.5)</b>						
3712	IPÉ 600	Steel	47.33	42.92	0.74	58 ELU Wy- (T-)
<b>Família : 16 Pilares Metálicos (Alçados-L=16.41)</b>						
432	IPÉ 600	Steel	67.54	42.92	0.63	57 ELU Wy- (T+)
<b>Família : 17 Pilares Metálicos (Alçados-L=17.19)</b>						
344	IPÉ 600	Steel	70.75	42.92	0.57	58 ELU Wy- (T-)

Figura 2.32 – Pilares escolhidos em que foi feita a comparação Robot vs Excel.

1

RESULTS - Code - EN 1993-1:2005/AC:2009

Code: 9 Pilares Metálicos (Interiores-L=7.5) Perfil correcto

Bar: 1142

Point / Coordinate: 1 / x = 0.00 L = 0.00 m

Load case: 59 ELU T+ (Wx) [1+1]1.35(23+27)1.50+290.90

Simplified results: Detailed results

FORCES

N.Ed = 508.81 kN	M <sub>y</sub> .Ed = 116.56 kN/m	M <sub>z</sub> .Ed = 43.79 kN/m	V <sub>y</sub> .Ed = 45.32 kN
Nc.Rd = 3865.62 kN	M <sub>y</sub> .pl.Rd = 825.47 kN/m	M <sub>z</sub> .pl.Rd = 114.13 kN/m	V <sub>y</sub> .l.Rd = 1263.10 kN
Nb.Rd = 3309.27 kN	M <sub>y</sub> .c.Rd = 825.47 kN/m	M <sub>z</sub> .c.Rd = 114.13 kN/m	V <sub>c</sub> .Ed = 48.48 kN
	M <sub>N</sub> .y.Rd = 825.47 kN/m	M <sub>N</sub> .z.Rd = 114.13 kN/m	V <sub>z</sub> .l.Rd = 1127.56 kN
	M <sub>b</sub> .Rd = 816.14 kN/m		T <sub>c</sub> .Ed = 0.38 kN/m

LATERAL BUCKLING

z = 1.00 Mcr = 3883.61 kN/m Curva.LT : c XLT = 0.97

Lcr,y=2.00 m Lam,LT = 0.46 iL,LT = 0.99 XLT.mod = 0.99

BUCKLING y

Ly = 7.50 m Lam,y = 0.33 XLT = 0.97

Lcr,y = 7.50 m Xy = 0.97 Lz = 2.00 m Lam,z = 0.46

Lcr,y = 30.87 kzy = 0.56 Lcr,z = 2.00 m Xz = 0.99

Lcr,z = 42.92 kzz = 0.99

CONTROL DA SECÇÃO

(M<sub>y</sub>.Ed/M<sub>y</sub>.Rd)² + (M<sub>z</sub>.Ed/M<sub>z</sub>.Rd)² < 1.00 < 0.40 < 1.00 (6.2.3.1.6f)

V<sub>y</sub>.Ed/V<sub>y</sub>.l.Rd < 0.04 < 1.00 (6.2.6.7)

MEMBER STABILITY CHECK

Lcr,y = 30.87 < Lam,max = 210.00 Lcr,z = 42.92 < Lam,max = 210.00 ESTÁVEL

N.Ed/(c\*N.Rd) + k<sub>y</sub>\*M<sub>y</sub>.Ed/(L<sub>cr,y</sub>\*M<sub>y</sub>.Rd) + k<sub>z</sub>\*M<sub>z</sub>.Ed/(L<sub>cr,z</sub>\*M<sub>z</sub>.Rd) = 0.61 < 1.00 (6.3.3.4f)

Figura 2.33 – Barra 1142 e resultados de cálculo do Robot.

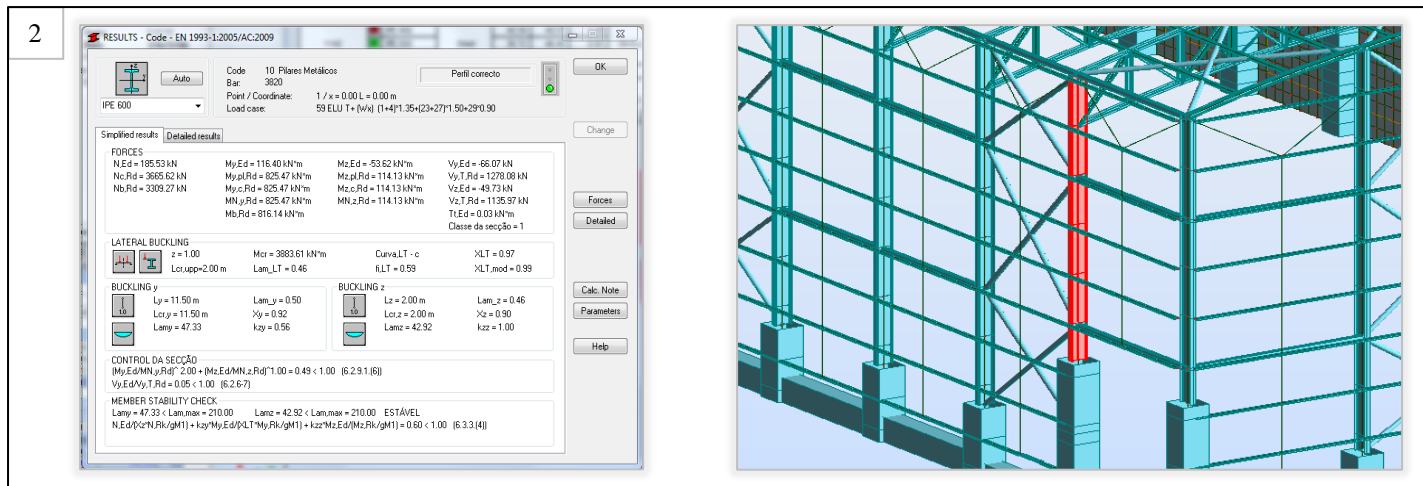


Figura 2.34 – Barra 3820 e resultados de cálculo do Robot.

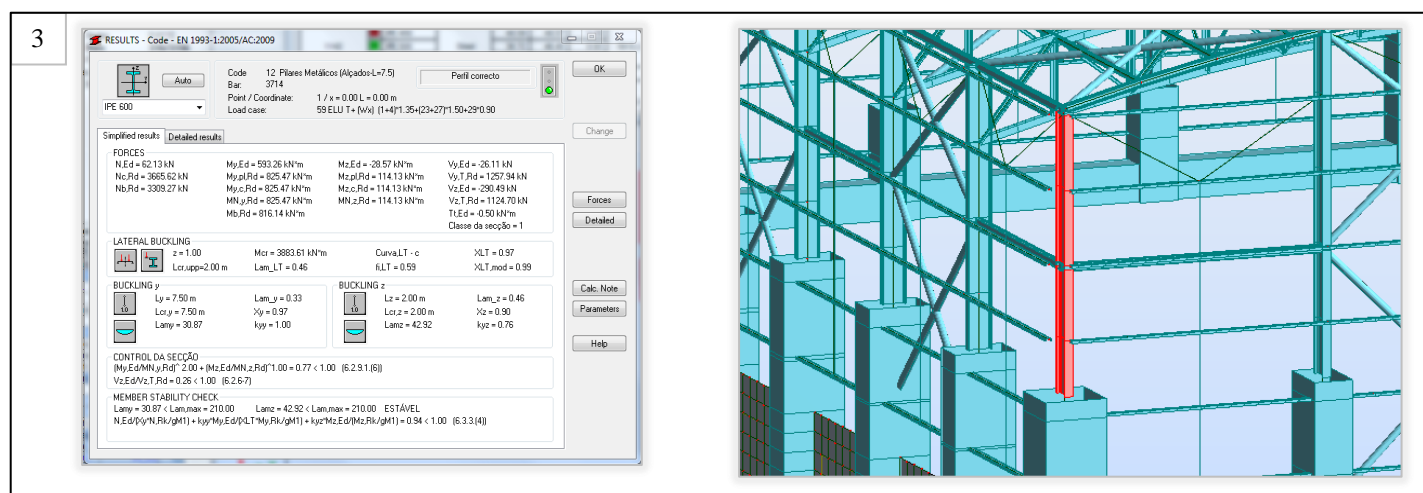


Figura 2.35 – Barra 3714 e resultados de cálculo do Robot.

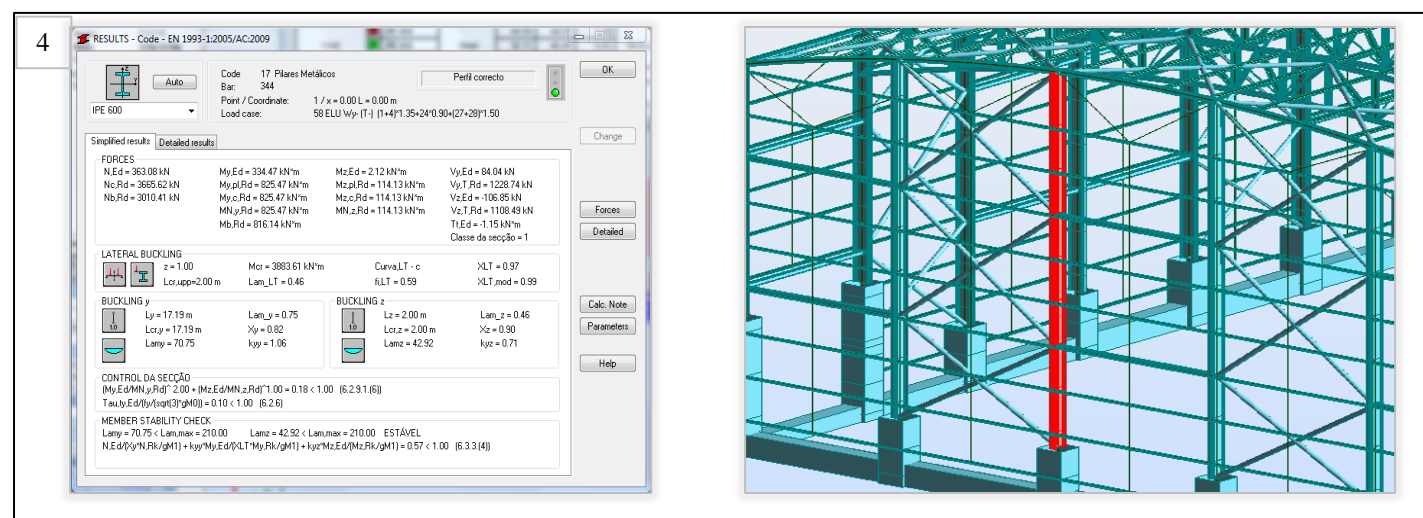


Figura 2.36 – Barra 344 e resultados de cálculo do Robot.



Rácios de dimensionamento - Resistência das Secções Transversais

**Compressão**

$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b>
	0,14 OK
	N <sub>Ed</sub> = 509,36
Classe 1	N <sub>c,Rd</sub> = 3666
<b>Classe 1, 2 e 3</b>	
	N <sub>c,Rd</sub> = 3666 [kN]
$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$	

**Flexão Desviada**

$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$	Dados do perfil Perfil IPE 600
<b>Classe 1 ou 2</b>	
Eixo y-y	Eixo z-z
M <sub>N,y,Rd</sub> = 825,32 [kN.m]	M <sub>N,z,Rd</sub> = 114,116 [kN.m]
M <sub>y,Ed</sub> = 116,57 [kN.m]	M <sub>z,Ed</sub> = 43,8 [kN.m]
<b>Verificação</b>	
0,4 OK	

**Esforço Transverso (d direcção y e z)**

$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b>
	0,04 OK
	V <sub>Ed</sub> = 45,32 [kN]
	V <sub>pl,Rd</sub> = 1279,44 [kN]
<b>Cálculo plástico</b>	
	V <sub>pl,Rd</sub> = 1279,44 [kN]
$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$	

$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b>
	0,04 OK
	V <sub>Ed</sub> = 48,41 [kN]
	V <sub>pl,Rd</sub> = 1136,71 [kN]
<b>Cálculo plástico</b>	
	V <sub>pl,Rd</sub> = 1136,71 [kN]
$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$	

Rácios de dimensionamento – Encurvadura – Elementos Comprimidos

Encurvadura - Robot			
Parâmetros de análise de encurvadura			
<b>Ao redor do eixo y da secção</b>			
Curva,y	a		Curva da encurvadura (Tabela 6.2)
Lcr,y	7.50	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra (6.3.1.2.(1))
Lamy	30.87		Esbelteza da barra (6.3.1.2.(1))
Lam_y	0.33		esbelteza relativa da barra para a encurvadura (6.3.1.2.(1))
alfa,y	0.21		parâmetro de imperfeição (6.3.1.2.(2))
fi,y	0.57		coeficiente para o cálculo de X (6.3.1.2.(1))
Xy	0.97		Factor de redução para encurvadura (6.3.1.2.(1))
Ny,b,Rd	3558.20	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri (6.3.1.1.(3))
<b>Ao redor do eixo z da secção</b>			
Curva,z	b		Curva da encurvadura (Tabela 6.2)
Lcr,z	2.00	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra (6.3.1.2.(1))
Lamz	42.92		Esbelteza da barra (6.3.1.2.(1))
Lam_z	0.46		esbelteza relativa da barra para a encurvadura (6.3.1.2.(1))
alfa,z	0.34		parâmetro de imperfeição (6.3.1.2.(2))
fi,z	0.65		coeficiente para o cálculo de X (6.3.1.2.(1))
Xz	0.90		Factor de redução para encurvadura (6.3.1.2.(1))
Nz,b,Rd	3309.27	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri (6.3.1.1.(3))

Encurvadura - Excel									
<b>Classe 1, 2 e 3</b>									
<b>Eixo y-y</b>									
Lcr (m)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$						
7,50	0,32869	0,6	0,97						
<b>Eixo z-z</b>									
Lcr (m)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$						
2,00	0,45707	0,6	0,90						
Curvas de encurvadura		Curvas de encurvadura							
Eixo de maior Inércia (y-y)		Eixo de menor Inércia (z-z)							
Parâmetros		Parâmetros							
$\lambda_1 =$	93,9	$\lambda_1 =$	93,9						
Aço S235		Aço S235							
$\alpha =$	0,21	$\alpha =$	0,34						
$\beta_A =$	1	$\beta_A =$	1						
$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$									
Eixo y-y	Classe 1	$N_{y,Ed} = 509,36$	$N_{b,y,Rd} = 3558,561$						
Eixo z-z	Classe 1	$N_{z,Ed} = 509,36$	$N_{b,z,Rd} = 3309,509$						
<b>Classe 1, 2 e 3</b>									
		$N_{b,y,Rd} = 3558,561$ [kN]							
		$N_{b,z,Rd} = 3309,509$ [kN]							
$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$									
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Eixo y-y</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Verificação</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,143136</td> <td style="text-align: center;">OK</td> </tr> </table>		Eixo y-y		Verificação		0,143136	OK
Eixo y-y									
Verificação									
0,143136	OK								

### Rácios de dimensionamento – Encurvadura Lateral

**Encurvadura Lateral - Robot**

método detalhado [6.3.2.3]				
Lcr,upp	2.00	m	Comprimento de encurvadura lateral do banzo superior	activo
Lcr,low	2.00	m	Comprimento de encurvadura lateral do banzo inferior	inactivo
C1	1.13		Coefficiente para o cálculo de M <sub>cr</sub>	ENV311(F.1.2.)
C2	0.46		Coefficiente para o cálculo de M <sub>cr</sub>	ENV311(F.1.2.)
C3	0.53		Coefficiente para o cálculo de M <sub>cr</sub>	ENV311(F.1.2.)
I <sub>w</sub>	2858584.7	cm <sup>6</sup>	Constante de empenamento	(6.3.2.2)
z <sub>g</sub>	30.0	cm	Distância do ponto onde a carga é aplicada para o centr	ENV311(F.1.2.)
M <sub>cr</sub>	3883.61	kN*m	Momento crítico para o encurvadura lateral	ENV311(F.1)
kc	0.94		parâmetro correctivo dependente do modo da carga	(6.3.2.3.(2))
Lam_LT	0.46		esbelteza relativa da barra para a encurvadura lateral	(6.3.2.2.(1))
Lam,LTO	0.40		esbelteza comparativa	(6.3.2.3.(1))
Curva,LT	c		Curva de encurvadura lateral	(6.3.2.3.(1))
alfa,LT	0.49		parâmetro de imperfecção para as curvas de encurvad	(Tabela 6.3)
f <sub>i,LT</sub>	0.59		coeficiente para o cálculo de XLT	(6.3.2.3.(1))
Beta	0.75		coeficiente para o cálculo de XLT	(6.3.2.3.(1))
XLT	0.97		Factor de redução para encurvadura lateral	(6.3.2.3.(1))
f	0.98		coeficiente de reduccão para os cálculos de XLT <sub>mod</sub>	(6.3.2.3.(2))
XLT <sub>mod</sub>	0.99		coeficiente de encurvadura lateral modificado	(6.3.2.3.(2))

Mb,Rd
816.14
kN\*m
Momento resistente de cálculo devido à encurvadura lat
(6.3.2.1)

**Encurvadura Lateral - Excel**

Classe 1 e 2				
Eixo y-y				
Lcr (m)	M <sub>cr</sub>	$\bar{\lambda}_{LT}$	$\psi_{LT}$	$\chi_{LT}$
2,00	6013,97	0,37	0,59	0,92

Não Desprezar Efeito Encurvadura

Classe 1 e 2

$M_{b,y,Rd} = 755,642 \text{ [kN.m]}$

$$M_{b,Rd} = \frac{x_{LT} W_y f_y}{\gamma_{M1}}$$

$M_{b,z,Rd} = 114,116 \text{ [kN.m]}$

Classe 1 e 2:  $W_y = W_{pl,y}$

**Curvas de encurvadura**

Eixo (y-y)  
Parâmetros

$\lambda_1 = 93,9$

Aço S235  $f_y = 235$





$\alpha_{LT} = 0,49$

$C_1 = 1,132$

**Rácios Finais**

	Rácio N	Rácio M <sub>y</sub>	Rácio M <sub>z</sub>	Rácio Total	
Equação 6.61	0,143	0,154	0,249	0,546	OK
Equação 6.62	0,154	0,087	0,384	0,625	OK



<b>GRUPO:</b>			
<b>BARRA:</b> 3820	<b>PONTO:</b> 1	<b>COORDENADA:</b> x = 0.00 L = 0.00 m	
<b>CARGAS:</b>			
Caso de carga dimensionante: 59 ELU T+ (Wx) (1+4)*1.35+(23+27)*1.50+29*0.90			
<b>MATERIAL:</b>			
Steel (S235) fy = 235.00 MPa			
			
<b>PARÂMETROS DA SECÇÃO: IPE 600</b>			
h=60.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=22.0 cm	Ay=94.30 cm <sup>2</sup>	Az=83.78 cm <sup>2</sup>	Ax=155.98 cm <sup>2</sup>
tw=1.2 cm	Iy=92083.40 cm <sup>4</sup>	Iz=3387.34 cm <sup>4</sup>	Ix=166.20 cm <sup>4</sup>
tf=1.9 cm	Wply=3512.62 cm <sup>3</sup>	Wplz=485.66 cm <sup>3</sup>	
<b>FORÇAS INTERNAS E RESISTÊNCIA :</b>			
N <sub>Ed</sub> = 185.48 kN	My <sub>Ed</sub> = 116.38 kN*m	Mz <sub>Ed</sub> = -53.62 kN*m	Vy <sub>Ed</sub> = -66.07 kN
Nc <sub>Rd</sub> = 3665.62 kN	My <sub>pl,Rd</sub> = 825.47 kN*m	Mz <sub>pl,Rd</sub> = 114.13 kN*m	Vy <sub>T,Rd</sub> = 1278.08 kN
Nb <sub>Rd</sub> = 3309.27 kN	My <sub>c,Rd</sub> = 825.47 kN*m	Mz <sub>c,Rd</sub> = 114.13 kN*m	Vz <sub>Ed</sub> = -49.73 kN
	MN <sub>y,Rd</sub> = 825.47 kN*m	MN <sub>z,Rd</sub> = 114.13 kN*m	Vz <sub>T,Rd</sub> = 1135.97 kN
	Mb <sub>Rd</sub> = 816.14 kN*m		Tt <sub>Ed</sub> = 0.03 kN*m
			Classe da secção = 1
			
<b>PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:</b>			
z = 1.00	Mcr = 3883.61 kN*m	Curva <sub>LT</sub> - c	XLT = 0.97
L <sub>cr,upp</sub> = 2.00 m	Lam <sub>LT</sub> = 0.46	fi <sub>LT</sub> = 0.59	XLT <sub>mod</sub> = 0.99
<b>PARÂMETROS DE ENCURVADURA:</b>			
			
em relação ao eixo y:			
Ly = 11.50 m	Lam <sub>y</sub> = 0.50		
L <sub>cr,y</sub> = 11.50 m	Xy = 0.92	Lz = 2.00 m	Lam <sub>z</sub> = 0.46
Lamy = 47.33	kzy = 0.56	L <sub>cr,z</sub> = 2.00 m	Xz = 0.90
		Lam <sub>z</sub> = 42.92	kzz = 1.00
<b>FÓRMULA DE VERIFICAÇÃO:</b>			
<b>Control de resistência da secção:</b>			
N <sub>Ed</sub> /N <sub>c,Rd</sub> = 0.05 < 1.00 (6.2.4.(1))			
(My <sub>Ed</sub> /MN <sub>y,Rd</sub> ) <sup>2.00</sup> + (Mz <sub>Ed</sub> /MN <sub>z,Rd</sub> ) <sup>1.00</sup> = 0.49 < 1.00 (6.2.9.1.(6))			
Vy <sub>Ed</sub> /Vy <sub>T,Rd</sub> = 0.05 < 1.00 (6.2.6-7)			
Vz <sub>Ed</sub> /Vz <sub>T,Rd</sub> = 0.04 < 1.00 (6.2.6-7)			
Tau <sub>ty,Ed</sub> /(fy/(sqrt(3))*gM0) = 0.00 < 1.00 (6.2.6)			
Tau <sub>tz,Ed</sub> /(fy/(sqrt(3))*gM0) = 0.00 < 1.00 (6.2.6)			
<b>Control da estabilidade global da barra:</b>			
Lambda <sub>y</sub> = 47.33 < Lambda <sub>max</sub> = 210.00		Lambda <sub>z</sub> = 42.92 < Lambda <sub>max</sub> = 210.00 ESTÁVEL	
M <sub>y,Ed</sub> /M <sub>b,Rd</sub> = 0.14 < 1.00 (6.3.2.1.(1))			
N <sub>Ed</sub> /(Xy*N <sub>Rk</sub> /gM1) + kyy*My <sub>Ed</sub> /(XLT*My <sub>Rk</sub> /gM1) + kyz*Mz <sub>Ed</sub> /(Mz <sub>Rk</sub> /gM1) = 0.52 < 1.00 (6.3.3.(4))			
N <sub>Ed</sub> /(Xz*N <sub>Rk</sub> /gM1) + kzy*My <sub>Ed</sub> /(XLT*My <sub>Rk</sub> /gM1) + kzz*Mz <sub>Ed</sub> /(Mz <sub>Rk</sub> /gM1) = 0.60 < 1.00 (6.3.3.(4))			
<b>Perfil correcto !!!</b>			

Ver quadro comparativo na página 83.

Figura 2.38 – Folha de Verificação.

Rácios de dimensionamento - Resistência das Secções Transversais

Compressão		Flexão Desviada	
$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b> 0,05 OK	$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$	Dados do perfil Perfil IPE 600
	$N_{Ed} = 185,48$		Classe 1 ou 2
Classe 1	$N_{c,Rd} = 3666$	Eixo y-y	Eixo z-z
		$M_{N,y,Rd} = 825,32$ [kN.m]	$M_{N,z,Rd} = 114,12$ [kN.m]
		$M_{y,Ed} = 116,38$ [kN.m]	$M_{z,Ed} = 53,62$ [kN.m]
Classe 1, 2 e 3		<b>Verificação</b> 0,49 OK	
	$N_{c,Rd} = 3666$ [kN]		
$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$			
Esforço Transverso (d direcção y e z)			
$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b> 0,05 OK	$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$	<b>Verificação</b> 0,04 OK
	$V_{Ed} = 66,07$ [kN]		$V_{Ed} = 49,73$ [kN]
	$V_{pl,Rd} = 1279,44$ [kN]		$V_{pl,Rd} = 1136,71$ [kN]
Cálculo plástico		Cálculo plástico	
	$V_{pl,Rd} = 1279,44$ [kN]		$V_{pl,Rd} = 1136,71$ [kN]
$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$		$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$	

Rácios de dimensionamento – Encurvadura – Elementos Comprimidos

Encurvadura - Robot			
Parâmetros de análise de encurvadura			
<b>Ao redor do eixo y da secção</b>			
Curva,y	a		Curva da encurvadura (Tabela 6.2)
Lcr,y	11.50	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra (6.3.1.2.(1))
Lamy	47.33		Esbelteza da barra (6.3.1.2.(1))
Lam_y	0.50		esbelteza relativa da barra para a encurvadura (6.3.1.2.(1))
alfa,y	0.21		parâmetro de imperfeição (6.3.1.2.(2))
fi,y	0.66		coeficiente para o cálculo de X (6.3.1.2.(1))
Xy	0.92		Factor de redução para encurvadura (6.3.1.2.(1))
Ny,b,Rd	3383.48	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri (6.3.1.1.(3))
<b>Ao redor do eixo z da secção</b>			
Curva,z	b		Curva da encurvadura (Tabela 6.2)
Lcr,z	2.00	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra (6.3.1.2.(1))
Lamz	42.92		Esbelteza da barra (6.3.1.2.(1))
Lam_z	0.46		esbelteza relativa da barra para a encurvadura (6.3.1.2.(1))
alfa,z	0.34		parâmetro de imperfeição (6.3.1.2.(2))
fi,z	0.65		coeficiente para o cálculo de X (6.3.1.2.(1))
Xz	0.90		Factor de redução para encurvadura (6.3.1.2.(1))
Nz,b,Rd	3309.27	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri (6.3.1.1.(3))

Encurvadura - Excel			
<b>Classe 1, 2 e 3</b>			
<b>Eixo y-y</b>			
Lcr (m)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$
11,50	0,50399	0,7	0,92
<b>Eixo z-z</b>			
Lcr (m)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$
2,00	0,45707	0,6	0,90
Curvas de encurvadura		Curvas de encurvadura	
Eixo de maior Inércia (y-y)		Eixo de menor Inércia (z-z)	
Parâmetros		Parâmetros	
$\lambda_1 =$	93,9	$\lambda_1 =$	93,9
Aço S235		Aço S235	
$\alpha =$	0,21	$\alpha =$	0,34
$\beta_A =$	1	$\beta_A =$	1

$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$		
Eixo y-y	Classe 1	$N_{y,Ed} = 185,48$ $N_{b,y,Rd} = 3383,821$
Eixo z-z	Classe 1	$N_{z,Ed} = 185,48$ $N_{b,z,Rd} = 3309,509$
<b>Classe 1, 2 e 3</b>		
$N_{b,y,Rd} = 3383,821$ [kN] $N_{b,z,Rd} = 3309,509$ [kN]		
$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$		
<b>Eixo y-y</b>		
Verificação		
0,054814 OK		

### Rácios de dimensionamento – Encurvadura Lateral

#### Encurvadura Lateral - Robot

método detalhado [6.3.2.3]				
Lcr,upp	2.00	m	Comprimento de encurvadura lateral do banzo superior	activo
Lcr,low	2.00	m	Comprimento de encurvadura lateral do banzo inferior	inactivo
C1	1.13		Coefficiente para o cálculo de M <sub>cr</sub>	ENV311(F.1.2.)
C2	0.46		Coefficiente para o cálculo de M <sub>cr</sub>	ENV311(F.1.2.)
C3	0.53		Coefficiente para o cálculo de M <sub>cr</sub>	ENV311(F.1.2.)
I <sub>w</sub>	2858584.7	cm <sup>6</sup>	Constante de empenamento	(6.3.2.2)
z <sub>g</sub>	30.0	cm	Distância do ponto onde a carga é aplicada para o centr	ENV311(F.1.2.)
M <sub>cr</sub>	3883.61	kN*m	Momento crítico para o encurvadura lateral	ENV311(F.1)
kc	0.94		parâmetro correctivo dependente do modo da carga	(6.3.2.3.(2))
Lam_LT	0.46		esbelteza relativa da barra para a encurvadura lateral	(6.3.2.2.(1))
Lam,LTO	0.40		esbelteza comparativa	(6.3.2.3.(1))
Curva,LT	c		Curva de encurvadura lateral	(6.3.2.3.(1))
alfa,LT	0.49		parâmetro de imperfeição para as curvas de encurvad	(Tabela 6.3)
fi,LT	0.59		coeficiente para o cálculo de XLT	(6.3.2.3.(1))
Beta	0.75		coeficiente para o cálculo de XLT	(6.3.2.3.(1))
XLT	0.97		Factor de redução para encurvadura lateral	(6.3.2.3.(1))
f	0.98		coeficiente de reduccão para os cálculos de XLT,mod	(6.3.2.3.(2))
XLT,mod	0.99		coeficiente de encurvadura lateral modificado	(6.3.2.3.(2))

Mb,Rd	816.14	kN*m	Momento resistente de cálculo devido à encurvadura lat	(6.3.2.1)
-------	--------	------	--	-----------

#### Encurvadura Lateral - Excel

Classe 1 e 2					
Eixo y-y	Lcr (m)	M <sub>cr</sub>	$\bar{\lambda}_{LT}$	$\psi_{LT}$	X <sub>LT</sub>
	2,00	6013,97	0,37	0,59	0,92

Curvas de encurvadura	
Eixo (y-y)	
Parâmetros	
$\lambda_1 =$	93,9
Aço S235	$f_y = 235$
$\alpha_{LT} =$	0,49
$C_1 =$	1,132

Não Desprezar Efeito Encurvadura	
Classe 1 e 2	
$M_{b,v,Rd} = 755,642$ [kN.m]	$M_{b,Rd} = \frac{x_{LT} W_y f_y}{\gamma_{M1}}$
$M_{b,z,Rd} = 114,116$ [kN.m]	
<b>Classe 1 e 2: <math>W_y = W_{pl,y}</math></b>	

#### Rácios Finais

	Rácio N	Rácio M <sub>y</sub>	Rácio M <sub>z</sub>	Rácio Total	
Equação 6.61	0,055	0,155	0,305	0,515	OK
Equação 6.62	0,056	0,089	0,47	0,615	OK

**BARRA:** 3714                      **PONTO:** 1                      **COORDENADA:** x = 0.00 L = 0.00 m


---

**CARGAS:**  
*Caso de carga dimensionante:* 59 ELU T+ (Wx) (1+4)\*1.35+(23+27)\*1.50+29\*0.90

---

**MATERIAL:**  
 Steel ( S235)     $f_y = 235.00$  MPa

---

 **PARÂMETROS DA SECÇÃO: IPE 600**


h=60.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=22.0 cm	Ay=94.30 cm <sup>2</sup>	Az=83.78 cm <sup>2</sup>	Ax=155.98 cm <sup>2</sup>
tw=1.2 cm	Iy=92083.40 cm <sup>4</sup>	Iz=3387.34 cm <sup>4</sup>	Ix=166.20 cm <sup>4</sup>
tf=1.9 cm	Wply=3512.62 cm <sup>3</sup>	Wplz=483.66 cm <sup>3</sup>	

---

**FORÇAS INTERNAS E RESISTÊNCIA :**

N <sub>Ed</sub> = 63.27 kN	My <sub>Ed</sub> = 593.64 kN*m	Mz <sub>Ed</sub> = -28.54 kN*m	Vy <sub>Ed</sub> = -26.08 kN
Nc,Rd = 3665.62 kN	My,pl,Rd = 825.47 kN*m	Mz,pl,Rd = 114.13 kN*m	Vy,T,Rd = 1257.94 kN
Nb,Rd = 3309.27 kN	My,c,Rd = 825.47 kN*m	Mz,c,Rd = 114.13 kN*m	Vz <sub>Ed</sub> = -290.61 kN
	MN <sub>y,Rd</sub> = 825.47 kN*m	MN <sub>z,Rd</sub> = 114.13 kN*m	Vz,T,Rd = 1124.71 kN
	Mb,Rd = 816.14 kN*m		Tt <sub>Ed</sub> = -0.50 kN*m
			Classe da secção = 1



---

 **PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

z = 1.00	Mcr = 3883.61 kN*m	Curva,LT - c	XLT = 0.97
Lcr,upp=2.00 m	Lam_LT = 0.46	fi,LT = 0.59	XLT,mod = 0.99

---

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**

 em relação ao eixo y:	 em relação ao eixo z:
L <sub>y</sub> = 7.50 m	L <sub>z</sub> = 2.00 m
Lcr,y = 7.50 m	Lcr,z = 2.00 m
Lam <sub>y</sub> = 30.87	Lam <sub>z</sub> = 42.92
Lam <sub>y</sub> = 0.33	Lam <sub>z</sub> = 0.46
X <sub>y</sub> = 0.97	X <sub>z</sub> = 0.90
k <sub>yy</sub> = 1.00	k <sub>yz</sub> = 0.76

---

**FÓRMULA DE VERIFICAÇÃO:**  
*Control de resistência da secção:*  
 $N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.02 < 1.00$  (6.2.4.(1))  
 $(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^2 + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^2 = 0.77 < 1.00$  (6.2.9.1.(6))  
 $V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.02 < 1.00$  (6.2.6-7)  
 $V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.26 < 1.00$  (6.2.6-7)  
 $\tau_{xy,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} * g_{M0})) = 0.04 < 1.00$  (6.2.6)  
 $\tau_{tz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} * g_{M0})) = 0.03 < 1.00$  (6.2.6)  
*Control da estabilidade global da barra:*  
 $\lambda_{y} = 30.87 < \lambda_{max} = 210.00$      $\lambda_{z} = 42.92 < \lambda_{max} = 210.00$     ESTÁVEL  
 $M_{y,Ed}/M_{b,Rd} = 0.73 < 1.00$  (6.3.2.1.(1))  
 $N_{Ed}/(X_y * N_{Rk}/g_{M1}) + k_{yy} * M_{y,Ed}/(XLT * M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{yz} * M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.94 < 1.00$  (6.3.3.(4))  
 $N_{Ed}/(X_z * N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} * M_{y,Ed}/(XLT * M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} * M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.72 < 1.00$  (6.3.3.(4))

---

**Perfil correcto !!!**

Ver quadro comparativo na página 87.

Figura 2.39 – Folha de Verificação.

Rádios de dimensionamento - Resistência das Secções Transversais

### Compressão

$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$		<b>Verificação</b>	
		0,017	OK
		N <sub>Ed</sub> =	63,27
Classe	1	N <sub>c,Rd</sub> =	3666
<b>Classe 1, 2 e 3</b>			
		N <sub>c,Rd</sub> =	3666 [kN]
$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$			

### Flexão Desviada

$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$		Dados do perfil	
		Perfil IPE 600	
<b>Classe 1 ou 2</b>			
Eixo y-y		Eixo z-z	
M <sub>N,y,Rd</sub> =	825,32 [kN.m]	M <sub>N,z,Rd</sub> =	114,12 [kN.m]
M <sub>y,Ed</sub> =	593,64 [kN.m]	M <sub>z,Ed</sub> =	28,54 [kN.m]
<b>Verificação</b>			
		0,77	OK

**Esforço Transverso (d direcção y e z)**

$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$		<b>Verificação</b>	
		0,02	OK
		V <sub>Ed</sub> =	26,08 [kN]
		V <sub>pl,Rd</sub> =	1279,44 [kN]
<b>Cálculo plástico</b>			
		V <sub>pl,Rd</sub> =	1279,44 [kN]
$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$			

$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$		<b>Verificação</b>	
		0,26	OK
		V <sub>Ed</sub> =	290,61 [kN]
		V <sub>pl,Rd</sub> =	1136,71 [kN]
<b>Cálculo plástico</b>			
		V <sub>pl,Rd</sub> =	1136,71 [kN]
$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$			

Rácios de dimensionamento – Encurvadura – Elementos Comprimidos

Encurvadura - Robot				
Parâmetros de análise de encurvadura				
<b>Ao redor do eixo y da secção</b>				
Curva,y	a		Curva da encurvadura	(Tabela 6.2)
Lcr,y	7.50	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra	(6.3.1.2.(1))
Lamy	30.87		Esbelteza da barra	(6.3.1.2.(1))
Lam_y	0.33		esbelteza relativa da barra para a encurvadura	(6.3.1.2.(1))
alfa,y	0.21		parâmetro de imperfeição	(6.3.1.2.(2))
fi,y	0.57		coeficiente para o cálculo de X	(6.3.1.2.(1))
Xy	0.97		Factor de redução para encurvadura	(6.3.1.2.(1))
Ny,b,Rd	3558.20	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri	(6.3.1.1.(3))
<b>Ao redor do eixo z da secção</b>				
Curva,z	b		Curva da encurvadura	(Tabela 6.2)
Lcr,z	2.00	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra	(6.3.1.2.(1))
Lamz	42.92		Esbelteza da barra	(6.3.1.2.(1))
Lam_z	0.46		esbelteza relativa da barra para a encurvadura	(6.3.1.2.(1))
alfa,z	0.34		parâmetro de imperfeição	(6.3.1.2.(2))
fi,z	0.65		coeficiente para o cálculo de X	(6.3.1.2.(1))
Xz	0.90		Factor de redução para encurvadura	(6.3.1.2.(1))
Nz,b,Rd	3309.27	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri	(6.3.1.1.(3))

Encurvadura - Excel				
<b>Classe 1, 2 e 3</b>				
<b>Eixo y-y</b>				
Lcr (m)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$	
7,50	0,32869	0,6	0,97	
<b>Eixo z-z</b>				
Lcr (m)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$	
2,00	0,45707	0,6	0,90	
<b>Curvas de encurvadura</b>		<b>Curvas de encurvadura</b>		
Eixo de maior Inércia (y-y)		Eixo de menor Inércia (z-z)		
Parâmetros		Parâmetros		
$\lambda_1 =$	93,9	$\lambda_1 =$	93,9	
Aço S235		Aço S235		
$\alpha =$	0,21	$\alpha =$	0,34	
$\beta_A =$	1	$\beta_A =$	1	

$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$				
Eixo y-y	Classe	1	$N_{y,Ed} =$	63,27
			$N_{b,y,Rd} =$	3558,561
Eixo z-z	Classe	1	$N_{z,Ed} =$	63,27
			$N_{b,z,Rd} =$	3309,509
<b>Classe 1, 2 e 3</b>				
$N_{b,y,Rd} = 3558,561$ [kN]				
$N_{b,z,Rd} = 3309,509$ [kN]				
$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$				
<b>Eixo y-y</b>				
<b>Verificação</b>				
0.01778 OK				

### Rádios de dimensionamento – Encurvadura Lateral

#### Encurvadura Lateral - Robot

método detalhado [6.3.2.3]				
Lcr,upp	2.00	m	Comprimento de encurvadura lateral do banzo superior	activo
Lcr,low	2.00	m	Comprimento de encurvadura lateral do banzo inferior	inactivo
C1	1.13		Coefficiente para o cálculo de Mcr	ENV311(F.1.2.)
C2	0.46		Coefficiente para o cálculo de Mcr	ENV311(F.1.2.)
C3	0.53		Coefficiente para o cálculo de Mcr	ENV311(F.1.2.)
Iw	2858584.7	cm <sup>6</sup>	Constante de empenamento	(6.3.2.2)
zg	30.0	cm	Distância do ponto onde a carga é aplicada para o centr	ENV311(F.1.2.)
Mcr	3883.61	kN*m	Momento crítico para o encurvadura lateral	ENV311(F.1)
kc	0.94		parâmetro correctivo dependente do modo da carga	(6.3.2.3.(2))
Lam_LT	0.46		esbelteza relativa da barra para a encurvadura lateral	(6.3.2.2.(1))
Lam,LTO	0.40		esbelteza comparativa	(6.3.2.3.(1))
Curva,LT	c		Curva de encurvadura lateral	(6.3.2.3.(1))
alfa,LT	0.49		parâmetro de imperfeição para as curvas de encurvad	(Tabela 6.3)
fi,LT	0.59		coeficiente para o cálculo de XLT	(6.3.2.3.(1))
Beta	0.75		coeficiente para o cálculo de XLT	(6.3.2.3.(1))
XLT	0.97		Factor de redução para encurvadura lateral	(6.3.2.3.(1))
f	0.98		coeficiente de redução para os cálculos de XLT,mod	(6.3.2.3.(2))
XLT,mod	0.99		coeficiente de encurvadura lateral modificado	(6.3.2.3.(2))

Mb,Rd	816.14	kN*m	Momento resistente de cálculo devido à encurvadura lat	(6.3.2.1)
-------	--------	------	--	-----------

#### Encurvadura Lateral - Excel

Classe 1 e 2				
Eixo y-y				
Lcr (m)	M <sub>cr</sub>	$\bar{\lambda}_{LT}$	$\psi_{LT}$	$\chi_{LT}$
2,00	6013,97	0,37	0,59	0,92

**Curvas de encurvadura**

Eixo (y-y)

Parâmetros

$\lambda_1 = 93,9$

Aço S235  $f_y = 235$

$\alpha_{LT} = 0,49$

$C_1 = 1,132$

Não Desprezar Efeito Encurvadura	
Classe 1 e 2	
$M_{b,y,Rd} = 755,642$ [kN.m]	$M_{b,Rd} = \frac{x_{LT} W_y f_y}{\gamma_{M1}}$
$M_{b,z,Rd} = 114,116$ [kN.m]	
Classe 1 e 2 : $W_y = W_{pl,y}$	

#### Rádios Finais

	Rácio N	Rácio M <sub>y</sub>	Rácio M <sub>z</sub>	Rácio Total	
Equação 6.61	0,018	0,787	0,163	0,968	OK
Equação 6.62	0,019	0,525	0,25	0,794	OK



**BARRA:** 344      **PONTO:** 1      **COORDENADA:** x = 0.00 L = 0.00 m


---

**CARGAS:**  
*Caso de carga dimensionante:* 58 ELU Wy- (T-) (1+4)\*1.35+24\*0.90+(27+28)\*1.50

---

**MATERIAL:**  
 Steel ( S235 )    fy = 235.00 MPa

---

 **PARÂMETROS DA SECÇÃO: IPE 600**


h=60.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=22.0 cm	Ay=94.30 cm <sup>2</sup>	Az=83.78 cm <sup>2</sup>	Ax=155.98 cm <sup>2</sup>
tw=1.2 cm	Iy=92083.40 cm <sup>4</sup>	Iz=3387.34 cm <sup>4</sup>	Ix=166.20 cm <sup>4</sup>
tf=1.9 cm	Wply=3512.62 cm <sup>3</sup>	Wplz=485.66 cm <sup>3</sup>	

---

**FORÇAS INTERNAS E RESISTÊNCIA :**

N <sub>Ed</sub> = 363.21 kN	My <sub>Ed</sub> = 334.47 kN*m	Mz <sub>Ed</sub> = 2.12 kN*m	Vy <sub>Ed</sub> = 84.07 kN
N <sub>c,Rd</sub> = 3665.62 kN	My <sub>pl,Rd</sub> = 825.47 kN*m	Mz <sub>pl,Rd</sub> = 114.13 kN*m	Vy <sub>T,Rd</sub> = 1228.74 kN
N <sub>b,Rd</sub> = 3010.41 kN	My <sub>c,Rd</sub> = 825.47 kN*m	Mz <sub>c,Rd</sub> = 114.13 kN*m	Vz <sub>Ed</sub> = -106.85 kN
	MN <sub>y,Rd</sub> = 825.47 kN*m	MN <sub>z,Rd</sub> = 114.13 kN*m	Vz <sub>T,Rd</sub> = 1108.49 kN
	Mb <sub>Rd</sub> = 816.14 kN*m		Tt <sub>Ed</sub> = -1.15 kN*m
			Classe da secção = 1



---

 **PARÂMETROS DE ENCURVADURA LATERAL:**

z = 1.00	Mcr = 3883.61 kN*m	Curva <sub>LT</sub> - c	XLT = 0.97
L <sub>cr,upp</sub> = 2.00 m	Lam <sub>LT</sub> = 0.46	fi <sub>LT</sub> = 0.59	XLT <sub>mod</sub> = 0.99

---

**PARÂMETROS DE ENCURVADURA:**

 em relação ao eixo y:	 em relação ao eixo z:		
Ly = 17.19 m	Lam <sub>y</sub> = 0.75	Lz = 2.00 m	Lam <sub>z</sub> = 0.46
L <sub>cr,y</sub> = 17.19 m	Xy = 0.82	L <sub>cr,z</sub> = 2.00 m	Xz = 0.90
Lamy = 70.75	ky <sub>y</sub> = 1.06	Lam <sub>z</sub> = 42.92	k <sub>yz</sub> = 0.71

---

**FÓRMULA DE VERIFICAÇÃO:**  
**Control de resistência da secção:**  
 N<sub>Ed</sub>/N<sub>c,Rd</sub> = 0.10 < 1.00 (6.2.4.(1))  
 (My<sub>Ed</sub>/MN<sub>y,Rd</sub>)<sup>2.00</sup> + (Mz<sub>Ed</sub>/MN<sub>z,Rd</sub>)<sup>1.00</sup> = 0.18 < 1.00 (6.2.9.1.(6))  
 Vy<sub>Ed</sub>/Vy<sub>T,Rd</sub> = 0.07 < 1.00 (6.2.6-7)  
 Vz<sub>Ed</sub>/Vz<sub>T,Rd</sub> = 0.10 < 1.00 (6.2.6-7)  
 Tau<sub>ty,Ed</sub>/(fy/(sqrt(3))\*gM0) = 0.10 < 1.00 (6.2.6)  
 Tau<sub>tz,Ed</sub>/(fy/(sqrt(3))\*gM0) = 0.06 < 1.00 (6.2.6)  
**Control da estabilidade global da barra:**  
 Lambda<sub>y</sub> = 70.75 < Lambda<sub>max</sub> = 210.00      Lambda<sub>z</sub> = 42.92 < Lambda<sub>max</sub> = 210.00    ESTÁVEL  
 My<sub>Ed</sub>/Mb<sub>Rd</sub> = 0.41 < 1.00 (6.3.2.1.(1))  
 N<sub>Ed</sub>/(Xy\*N<sub>Rk</sub>/gM1) + kyy\*My<sub>Ed</sub>/(XLT\*My<sub>Rk</sub>/gM1) + kyz\*Mz<sub>Ed</sub>/(Mz<sub>Rk</sub>/gM1) = 0.57 < 1.00 (6.3.3.(4))  
 N<sub>Ed</sub>/(Xz\*N<sub>Rk</sub>/gM1) + kzy\*My<sub>Ed</sub>/(XLT\*My<sub>Rk</sub>/gM1) + kzz\*Mz<sub>Ed</sub>/(Mz<sub>Rk</sub>/gM1) = 0.37 < 1.00 (6.3.3.(4))

---

**Perfil correcto !!!**

Ver quadro comparativo na página 91.

Figura 2.40 – Folha de Verificação.

Rácios de dimensionamento - Resistência da secção transversal

### Compressão

$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$		<b>Verificação</b>	
		0,1	OK
		$N_{Ed} =$	363,21
Classe	1	$N_{c,Rd} =$	3666
<b>Classe 1, 2 e 3</b>			
		$N_{c,Rd} =$	3666 [kN]
$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$			

### Flexão Desviada

$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$		Dados do perfil	
		Perfil IPE 600	
<b>Classe 1 ou 2</b>			
Eixo y-y		Eixo z-z	
$M_{N,y,Rd} =$	825,32 [kN.m]	$M_{N,z,Rd} =$	114,12 [kN.m]
$M_{y,Ed} =$	334,47 [kN.m]	$M_{z,Ed} =$	2,12 [kN.m]
<b>Verificação</b>			
		0,18	OK

### Esforço Transverso (direcção y e z)

$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$		<b>Verificação</b>	
		0,07	OK
		$V_{Ed} =$	84,07 [kN]
		$V_{pl,Rd} =$	1279,44 [kN]
<b>Cálculo plástico</b>			
		$V_{pl,Rd} =$	1279,44 [kN]
$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$			

$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$		<b>Verificação</b>	
		0,09	OK
		$V_{Ed} =$	106,85 [kN]
		$V_{pl,Rd} =$	1136,71 [kN]
<b>Cálculo plástico</b>			
		$V_{pl,Rd} =$	1136,71 [kN]
$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$			

Rácios de dimensionamento – Encurvadura – Elementos Comprimidos

Encurvadura - Robot			
Parâmetros de análise de encurvadura			
<b>Ao redor do eixo y da secção</b>			
Curva,y	a		Curva da encurvadura (Tabela 6.2)
Lcr,y	17.19	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra (6.3.1.2.(1))
Lamy	70.75		Esbelteza da barra (6.3.1.2.(1))
Lam_y	0.75		esbelteza relativa da barra para a encurvadura (6.3.1.2.(1))
alfa,y	0.21		parâmetro de imperfeição (6.3.1.2.(2))
fi,y	0.84		coeficiente para o cálculo de X (6.3.1.2.(1))
Xv	0.82		Factor de redução para encurvadura (6.3.1.2.(1))
Nv.b.Rd	3010.41	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri (6.3.1.1.(3))
<b>Ao redor do eixo z da secção</b>			
Curva,z	b		Curva da encurvadura (Tabela 6.2)
Lcr,z	2.00	m	Comprimento efectivo da encurvadura da barra (6.3.1.2.(1))
Lamz	42.92		Esbelteza da barra (6.3.1.2.(1))
Lam_z	0.46		esbelteza relativa da barra para a encurvadura (6.3.1.2.(1))
alfa,z	0.34		parâmetro de imperfeição (6.3.1.2.(2))
fi,z	0.65		coeficiente para o cálculo de X (6.3.1.2.(1))
Xz	0.90		Factor de redução para encurvadura (6.3.1.2.(1))
Nz.b.Rd	3309.27	kN	Resistência de cálculo à encurvadura de barras compri (6.3.1.1.(3))

Encurvadura - Excel			
<b>Classe 1, 2 e 3</b>			
<b>Eixo y-y</b>			
Lcr (m)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$
17,19	0,75336	0,8	0,82
<b>Eixo z-z</b>			
Lcr (m)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$
2,00	0,45707	0,6	0,90
Curvas de encurvadura		Curvas de encurvadura	
Eixo de maior Inércia (y-y)		Eixo de menor Inércia (z-z)	
Parâmetros		Parâmetros	
$\lambda_1 =$	93,9	$\lambda_1 =$	93,9
Aço S235		Aço S235	
$\alpha =$	0,21	$\alpha =$	0,34
$\beta_A =$	1	$\beta_A =$	1
$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$			
Eixo y-y	Classe 1	$N_{y,Ed} =$	363,21
		$N_{b,y,Rd} =$	3010,7
Eixo z-z	Classe 1	$N_{z,Ed} =$	363,21
		$N_{b,z,Rd} =$	3309,509
<b>Classe 1, 2 e 3</b>			
$N_{b,y,Rd} =$		3010,7 [kN]	
$N_{b,z,Rd} =$		3309,509 [kN]	
$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$			
<b>Eixo y-y</b>			
Verificação			
0,12064		OK	

Rádios de dimensionamento – Encurvadura Lateral

Encurvadura Lateral - Robot

método detalhado [6.3.2.3]				
Lcr,upp	2.00	m	Comprimento de encurvadura lateral do banzo superior	activo
Lcr,low	2.00	m	Comprimento de encurvadura lateral do banzo inferior	inactivo
C1	1.13		Coefficiente para o cálculo de M <sub>cr</sub>	ENV311(F.1.2.)
C2	0.46		Coefficiente para o cálculo de M <sub>cr</sub>	ENV311(F.1.2.)
C3	0.53		Coefficiente para o cálculo de M <sub>cr</sub>	ENV311(F.1.2.)
I <sub>w</sub>	2858584.7	cm <sup>6</sup>	Constante de empenamento	(6.3.2.2)
z <sub>g</sub>	30.0	cm	Distância do ponto onde a carga é aplicada para o centr	ENV311(F.1.2.)
M <sub>cr</sub>	3883.61	kN*m	Momento crítico para o encurvadura lateral	ENV311(F.1)
kc	0.94		parâmetro correctivo dependente do modo da carga	(6.3.2.3.(2))
Lam_LT	0.46		esbelteza relativa da barra para a encurvadura lateral	(6.3.2.2.(1))
Lam,LT0	0.40		esbelteza comparativa	(6.3.2.3.(1))
Curva,LT	c		Curva de encurvadura lateral	(6.3.2.3.(1))
alfa,LT	0.49		parâmetro de imperfeição para as curvas de encurvad	(Tabela 6.3)
fi,LT	0.59		coeficiente para o cálculo de XLT	(6.3.2.3.(1))
Beta	0.75		coeficiente para o cálculo de XLT	(6.3.2.3.(1))
XLT	0.97		Factor de redução para encurvadura lateral	(6.3.2.3.(1))
f	0.98		coeficiente de redução para os cálculos de XLT <sub>mod</sub>	(6.3.2.3.(2))
XLT <sub>mod</sub>	0.99		coeficiente de encurvadura lateral modificado	(6.3.2.3.(2))

Mb,Rd	816.14	kN*m	Momento resistente de cálculo devido à encurvadura lat	(6.3.2.1)
-------	--------	------	--	-----------

Encurvadura Lateral - Excel

Classe 1 e 2				
Eixo y-y				
Lcr (m)	M <sub>cr</sub>	$\bar{\lambda}_{LT}$	$\psi_{LT}$	X <sub>LT</sub>
2.00	6013.97	0,37	0,59	0,92

Não Desprezar Efeito Encurvadura

Classe 1 e 2

$M_{b,y,Rd} = 755,642 \text{ [kN.m]}$

$$M_{b,Rd} = \frac{x_{LT} W_y f_y}{\gamma_{M1}}$$

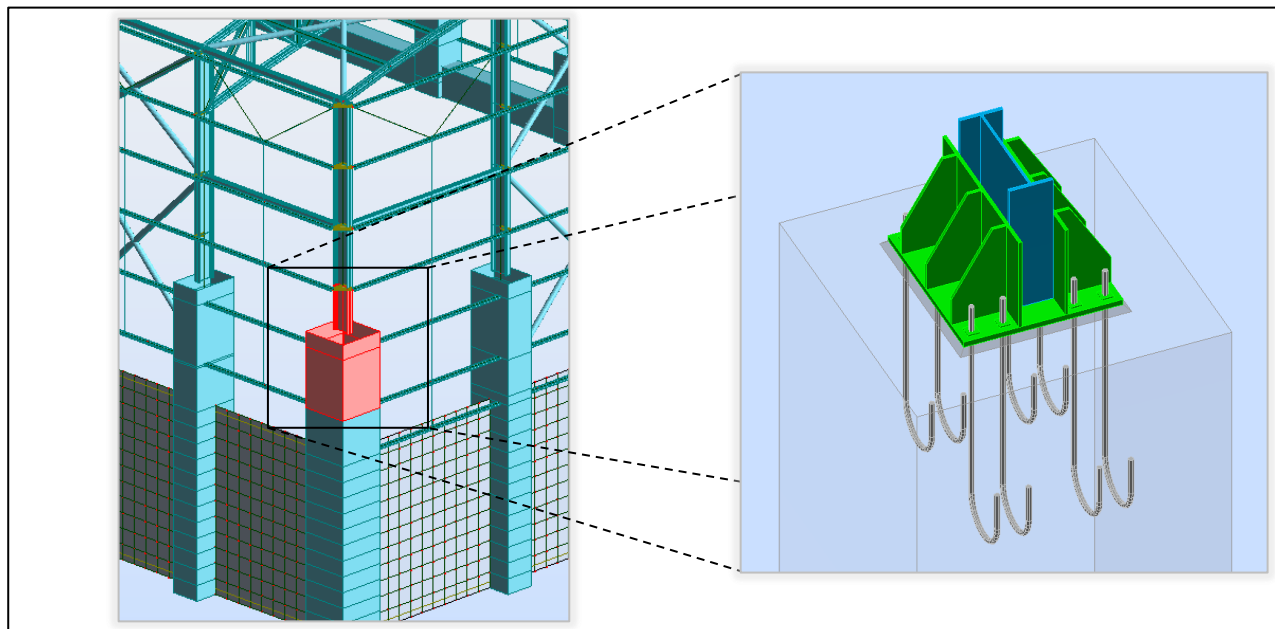
$M_{b,z,Rd} = 114,116 \text{ [kN.m]}$

Classe 1 e 2 :  $W_y = W_{pl,y}$

Rádios Finais					
	Rácio N	Rácio M <sub>y</sub>	Rácio M <sub>z</sub>	Rácio Total	
Equação 6.61	0,121	0,47	0,012	0,603	OK
Equação 6.62	0,11	0,26	0,019	0,389	OK

## 2.5 LIGAÇÕES

O programa de cálculo permite fazer o dimensionamento de alguns tipos de ligações, de que se apresentam dois exemplos estudados (Figuras 2.41 a 2.44).



CHAPA DA BASE DE PILAR			
$l_{pd} =$	880	[mm]	Comprimento
$b_{pd} =$	810	[mm]	Largura
$t_{pd} =$	30	[mm]	Espessura
Material:	S 235		
$f_{ypd} =$	235,00	[MPa]	Resistência
$f_{upd} =$	360,00	[MPa]	Límite de resistência do material
CHUMBADORES			
Classe =	9.8		Classe dos ancoragens
$f_{yb} =$	720,00	[MPa]	Límite de plasticidade do material do parafuso
$f_{ub} =$	900,00	[MPa]	Resistência do material do parafuso à tração
$d =$	27	[mm]	Dímetro do parafuso
$A_s =$	4,59	[cm <sup>2</sup> ]	Área activo do parafuso
$n_H =$	2		Número de colunas de parafusos
$n_V =$	4		Número de linhas de parafusos
Espaçamento horizontal $e_{H1} =$	760	[mm]	
Espaçamento vertical $e_{V1} =$	360;160	[mm]	
Dimensões dos ancoragens			
$L_1 =$	150	[mm]	
$L_2 =$	950	[mm]	
$L_3 =$	300	[mm]	
$L_4 =$	200	[mm]	
Plaqueta			
$l_{wd} =$	60	[mm]	Comprimento
$b_{wd} =$	60	[mm]	Largura
$t_{wd} =$	10	[mm]	Espessura
CHAVETA			
Perfil:	HEB 160		
$l_w =$	100	[mm]	Comprimento
Material:	S 235		
$f_{yw} =$	235,00	[MPa]	Resistência
ENRIJECEDOR			
$l_s =$	880	[mm]	Comprimento
$w_s =$	810	[mm]	Largura
$h_s =$	500	[mm]	Altura
$t_s =$	16	[mm]	Espessura
$d_1 =$	70	[mm]	Corte
$d_2 =$	150	[mm]	Corte
COEFICIENTES DE MATERIAL			
$\gamma_{M0} =$	1,00		Coefficiente de seguredade parcial
$\gamma_{M2} =$	1,25		Coefficiente de seguredade parcial
$\gamma_C =$	1,50		Coefficiente de seguredade parcial
SAPATA			
$L =$	1600	[mm]	Comprimento da sapata
$B =$	1600	[mm]	Largura da sapata
$H =$	9500	[mm]	Altura da sapata
Betão			
Classe	C25/30		
$f_{ck} =$	25,00	[MPa]	Resistência característica à compressão
Argamassa de nivelção			
$t_g =$	30	[mm]	Espessura da argamassa de nivelção
$f_{sk,g} =$	12,00	[MPa]	Resistência característica à compressão
$C_{fd} =$	0,30		Coef. de fricção entre a placa de base e o betão

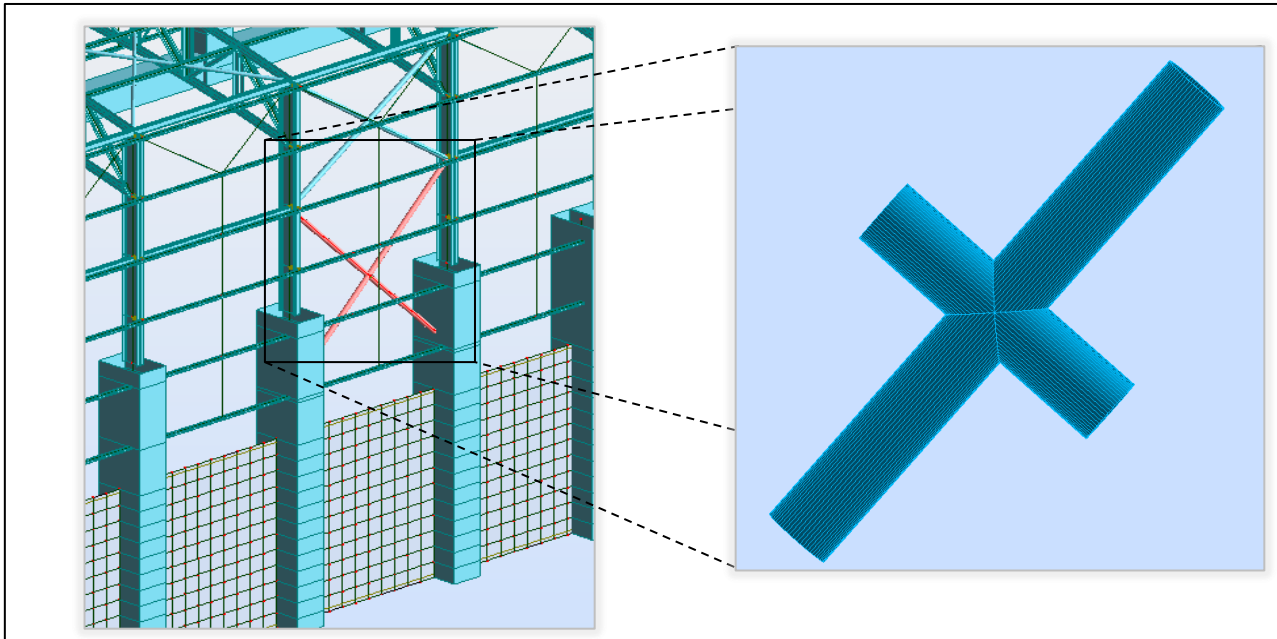
Figura 2.41 – Ligação da Base de um pilar tipo.

CONTROL DO CISLHAMENTO			
$V_{j,Rd,y} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,y}, F_{2,vb,Rd,y}, F_{v,Rd,sm}, F_{v,Rd,cp}, F_{v,Rd,cy}) + F_{v,Rd,wg,y} + F_{f,Rd}$			
$V_{j,Rd,y} =$	516,66	[kN]	Resistência da ligação ao corte
$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} \leq 1,0$			0,05 < 1,00 <span style="float:right">verificado</span>
$V_{j,Rd,z} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,z}, F_{2,vb,Rd,z}, F_{v,Rd,sm}, F_{v,Rd,cp}, F_{v,Rd,cz}) + F_{v,Rd,wg,z} + F_{f,Rd}$			
$V_{j,Rd,z} =$	516,66	[kN]	Resistência da ligação ao corte
$V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$			0,56 < 1,00 <span style="float:right">verificado</span>
$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} + V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$			0,61 < 1,00 <span style="float:right">verificado</span>

CONTROLE DOS ENRIJECEDORES			
<b>Placa trapezoidal paralel a alma do pilar</b>			
$M_1 =$	33,63	[kN*m]	Momento flector do enrijeecedor
$Q_1 =$	420,42	[kN]	Esforço cortante no enrijeecedor
$z_s =$	120	[mm]	Posição do eixo neutro (respecto à base da placa)
$I_s =$	50633,08	[cm <sup>4</sup> ]	Momento de inércia do enrijeecedor
$\sigma_d =$	5,99	[MPa]	Tensão normal no contacto enrijeecedor-placa
$\sigma_g =$	27,22	[MPa]	Tensão normal nas fibras superiores
$\tau =$	52,55	[MPa]	Tensão tangente no enrijeecedor
$\sigma_z =$	91,22	[MPa]	Tensão equivalente no contacto enrijeecedor-placa
$\max(\sigma_g, \tau / (0.58), \sigma_z) / (f_{yp} \cdot h_{rMO}) \leq 1.0 (6.1)$			0,39 < 1,00 <span style="float:right">verificado</span>
<b>Enrijeecedor perpendicular à alma (no meio da altura da alma do pilar)</b>			
$M_1 =$	37,27	[kN*m]	Momento flector do enrijeecedor
$Q_1 =$	267,17	[kN]	Esforço cortante no enrijeecedor
$z_s =$	141	[mm]	Posição do eixo neutro (respecto à base da placa)
$I_s =$	46096,14	[cm <sup>4</sup> ]	Momento de inércia do enrijeecedor
$\sigma_d =$	9,01	[MPa]	Tensão normal no contacto enrijeecedor-placa
$\sigma_g =$	31,41	[MPa]	Tensão normal nas fibras superiores
$\tau =$	33,40	[MPa]	Tensão tangente no enrijeecedor
$\sigma_z =$	58,54	[MPa]	Tensão equivalente no contacto enrijeecedor-placa
$\max(\sigma_g, \tau / (0.58), \sigma_z) / (f_{yp} \cdot h_{rMO}) \leq 1.0 (6.1)$			0,25 < 1,00 <span style="float:right">verificado</span>
<b>SOLDAS ENTRE O PILAR E LA PLACA DE BASE</b>			
$\sigma_{\perp} =$	55,40	[MPa]	Tensão normal na solda
$\tau_{\perp} =$	55,40	[MPa]	Tensão tangente perpendicular
$\tau_{yII} =$	1,20	[MPa]	Tensão normal paralela a $V_{j,Ed,y}$
$\tau_{zII} =$	13,24	[MPa]	Tensão normal paralela a $V_{j,Ed,z}$
$\beta_W =$	0,80		Coefficiente dependente da resistência
$\sigma_{\perp} / (0.9 \cdot f_u \cdot h_{rM2}) \leq 1.0 (4.1)$			0,21 < 1,00 <span style="float:right">verificado</span>
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{yII}^2 + \tau_{zII}^2))} / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2})) \leq 1.0 (4.1)$			0,31 < 1,00 <span style="float:right">verificado</span>
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{zII}^2 + \tau_{\perp}^2))} / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2})) \leq 1.0 (4.1)$			0,28 < 1,00 <span style="float:right">verificado</span>
<b>SOLDAS VERTICAIS DOS ENRIJEDEDORES</b>			
<b>Placa trapezoidal paralel a alma do pilar</b>			
$\sigma_{\perp} =$	0,00	[MPa]	Tensão normal na solda
$\tau_{\perp} =$	0,00	[MPa]	Tensão tangente perpendicular
$\tau_{II} =$	105,34	[MPa]	Tensão tangente paralela
$\sigma_z =$	0,00	[MPa]	Tensão equivalente total
$\beta_W =$	0,80		Coefficiente dependente da resistência
$\max(\sigma_{\perp}, \tau_{II} \cdot \sqrt{3}, \sigma_z) / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2})) \leq 1.0 (4.1)$			0,51 < 1,00 <span style="float:right">verificado</span>
<b>Enrijeecedor perpendicular à alma (no meio da altura da alma do pilar)</b>			
$\sigma_{\perp} =$	79,06	[MPa]	Tensão normal na solda
$\tau_{\perp} =$	79,06	[MPa]	Tensão tangente perpendicular
$\tau_{II} =$	66,79	[MPa]	Tensão tangente paralela
$\sigma_z =$	195,93	[MPa]	Tensão equivalente total
$\beta_W =$	0,80		Coefficiente dependente da resistência
$\max(\sigma_{\perp}, \tau_{II} \cdot \sqrt{3}, \sigma_z) / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2})) \leq 1.0 (4.1)$			0,54 < 1,00 <span style="float:right">verificado</span>
<b>Enrijeecedor perpendicular à alma (no prolongamento das alas do pilar)</b>			
$\sigma_{\perp} =$	79,06	[MPa]	Tensão normal na solda
$\tau_{\perp} =$	79,06	[MPa]	Tensão tangente perpendicular
$\tau_{II} =$	66,79	[MPa]	Tensão tangente paralela
$\sigma_z =$	195,93	[MPa]	Tensão equivalente total
$\beta_W =$	0,80		Coefficiente dependente da resistência
$\max(\sigma_{\perp}, \tau_{II} \cdot \sqrt{3}, \sigma_z) / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2})) \leq 1.0 (4.1)$			0,54 < 1,00 <span style="float:right">verificado</span>

Figura 2.42 – Verificação da Ligação.



**GEOMETRIA**

**BARRAS**

		Cordão	Diagonal 1	Diagonal 2	Montante	
Barra Nº		1135	1138	1137		
Perfil:		IRON 168x6.3	IRON 168x6.3	IRON 168x6.3		
	h	168	168	168		mm
	$b_f$	168	168	168		mm
	$t_w$	6	6	6		mm
	$t_f$	6	6	6		mm
	r	0	0	0		mm
Material:		Steel	Steel	Steel		
	$f_y$	235,00	235,00	235,00		MPa
	$f_u$	360,00	360,00	360,00		MPa
Ângulo	$\theta$	0,0	90,0	90,0		Deg
Comprimento	l	1000	4243	4243		mm

**SOLDAS**

$a_d =$  5 [mm] Espessura das soldas das diagonais

Figura 2.43 – Ligação soldada de dois travamentos.

FALHA DA FACE DO BANZO TUBULAR					
<b>DIAGONAL SUPERIOR</b>					
$k_p =$	1,00		Coefficiente dependente das tensões no cordão		$k_p = 1-0.3 \cdot n_p \cdot (1+n_p)$
$N_{2,Rd} =$	255,27	[kN]	Resistência à compressão		$N_{2,Rd} = k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sin(\theta_2) \cdot 5.2(1-0.81 \cdot \theta) / f_{M5}$
$ N_2  \leq N_{2,Rd}$				$ -109,33  < 255,27$	verificado (0,43)
$M_{2,Rd} =$	199,27	[kN*m]	Resistência à flexão		$M_{2,Rd} = 4.85 \cdot [f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot d_2 \cdot \sin(\theta_2)] \cdot \gamma_w \cdot \theta \cdot k_p / f_{M5}$
$ M_2  \leq M_{2,Rd}$				$ -0,55  < 199,27$	verificado (0,00)
$N_2/N_{2,Rd} + (M_2/M_{2,Rd})^2 \leq 1$				$0,43 < 1,00$	verificado (0,43)
<b>DIAGONAL INFERIOR</b>					
$k_p =$	1,00		Coefficiente dependente das tensões no cordão		$k_p = 1-0.3 \cdot n_p \cdot (1+n_p)$
$N_{1,Rd} =$	255,27	[kN]	Resistência à compressão		$N_{1,Rd} = k_p \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sin(\theta_1) \cdot 5.2(1-0.81 \cdot \theta) / f_{M5}$
$ N_1  \leq N_{1,Rd}$				$ -110,41  < 255,27$	verificado (0,43)
$M_{1,Rd} =$	199,27	[kN*m]	Resistência à flexão		$M_{1,Rd} = 4.85 \cdot [f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot d_1 \cdot \sin(\theta_1)] \cdot \gamma_w \cdot \theta \cdot k_p / f_{M5}$
$ M_1  \leq M_{1,Rd}$				$ 1,18  < 199,27$	verificado (0,01)
$N_1/N_{1,Rd} + (M_1/M_{1,Rd})^2 \leq 1$				$0,43 < 1,00$	verificado (0,43)
<b>PUNÇIONAMENTO DO CORDÃO</b>					
<b>DIAGONAL INFERIOR</b>					
$N_{1,Rd} =$	451,94	[kN]	Resistência à compressão		$N_{1,Rd} = f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot d_1 \cdot (1 + \sin(\theta_1)) / (2 \cdot \sin^2(\theta_1)) / f_{M5}$
$ N_1  \leq N_{1,Rd}$				$ -110,41  < 451,94$	verificado (0,24)
$M_{1,Rd} =$	24,21	[kN*m]	Resistência à flexão		$M_{1,Rd} = [f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot d_1^2 \cdot \sin(\theta_1) \cdot (1 + 3 \cdot \sin(\theta_1)) / (4 \cdot \sin^2(\theta_1))] / f_{M5}$
$ M_1  \leq M_{1,Rd}$				$ 1,18  < 24,21$	verificado (0,05)
$N_1/N_{1,Rd} + (M_1/M_{1,Rd})^2 \leq 1$				$0,25 < 1,00$	verificado (0,25)
<b>Solda longitudinal</b>					
$\sigma_{\perp} =$	-18,06	[MPa]	Tensão normal na solda		
$\tau_{\perp} =$	-18,06	[MPa]	Tensão tangente perpendicular		
$\tau_{\parallel} =$	-0,00	[MPa]	Tensão tangente		
$ \sigma_{\perp}  \leq 0.9 \cdot f_{tM2}$				$ -18,06  < 259,20$	verificado (0,07)
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_{t0} / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$				$36,12 < 360,00$	verificado (0,10)
<b>Solda transversal interior</b>					
$\sigma_{\perp} =$	-21,31	[MPa]	Tensão normal na solda		
$\tau_{\perp} =$	-21,31	[MPa]	Tensão tangente perpendicular		
$\tau_{\parallel} =$	0,00	[MPa]	Tensão tangente		
$ \sigma_{\perp}  \leq 0.9 \cdot f_{tM2}$				$ -21,31  < 259,20$	verificado (0,08)
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_{t0} / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$				$42,62 < 360,00$	verificado (0,12)
<b>Solda transversal exterior</b>					
$\sigma_{\perp} =$	-18,06	[MPa]	Tensão normal na solda		
$\tau_{\perp} =$	-18,06	[MPa]	Tensão tangente perpendicular		
$\tau_{\parallel} =$	0,00	[MPa]	Tensão tangente		
$ \sigma_{\perp}  \leq 0.9 \cdot f_{tM2}$				$ -18,06  < 259,20$	verificado (0,07)
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_{t0} / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$				$36,12 < 360,00$	verificado (0,10)
<b>Solda longitudinal</b>					
$\sigma_{\perp} =$	-23,37	[MPa]	Tensão normal na solda		
$\tau_{\perp} =$	-23,37	[MPa]	Tensão tangente perpendicular		
$\tau_{\parallel} =$	-0,00	[MPa]	Tensão tangente		
$ \sigma_{\perp}  \leq 0.9 \cdot f_{tM2}$				$ -23,37  < 259,20$	verificado (0,09)
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_{t0} / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$				$46,73 < 360,00$	verificado (0,13)
<b>Solda transversal interior</b>					
$\sigma_{\perp} =$	-16,40	[MPa]	Tensão normal na solda		
$\tau_{\perp} =$	-16,40	[MPa]	Tensão tangente perpendicular		
$\tau_{\parallel} =$	0,00	[MPa]	Tensão tangente		
$ \sigma_{\perp}  \leq 0.9 \cdot f_{tM2}$				$ -16,40  < 259,20$	verificado (0,06)
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_{t0} / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$				$32,79 < 360,00$	verificado (0,09)
<b>Solda transversal exterior</b>					
$\sigma_{\perp} =$	-23,37	[MPa]	Tensão normal na solda		
$\tau_{\perp} =$	-23,37	[MPa]	Tensão tangente perpendicular		
$\tau_{\parallel} =$	0,00	[MPa]	Tensão tangente		
$ \sigma_{\perp}  \leq 0.9 \cdot f_{tM2}$				$ -23,37  < 259,20$	verificado (0,09)
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq f_{t0} / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$				$46,73 < 360,00$	verificado (0,13)

Figura 2.44 – Verificação da Ligação.

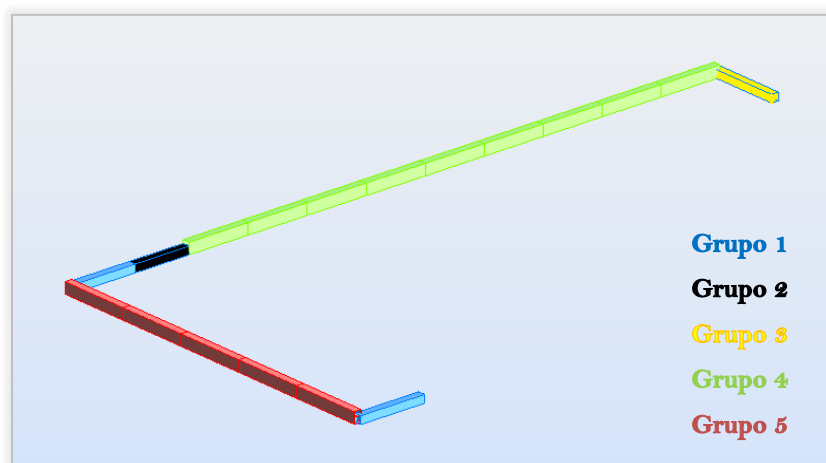
### 3 DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE BETÃO ARMADO

#### 3.1 VIGAS DE FUNDAÇÃO

A verificação da segurança aos Estados Limites Últimos e Estados Limites de Serviço (nomeadamente o controlo da Fendilhação) das vigas de betão armado foi efectuada a partir dos esforços obtidos no modelo 3D no *Robot Structural Analysis*.

Para o cálculo orgânico (armaduras) recorreu-se aos *softwares Robot e Gala*. Recorreu-se também às condições estipuladas no EN 1992, relativamente aos valores das armaduras mínimas e máximas de Flexão e Corte.

De modo a ser mais fácil proceder ao seu dimensionamento, as vigas foram agrupadas tendo em conta a sua geometria (Figura 3.1).



Viga	Grupo	Largura	Altura	Vão
VF.1	1	0,7	0,7	6,5
VF.2	1	0,7	0,7	6,5
VF.3	2	0,7	0,7	5,5
VF.4	3	0,7	0,7	6,8
VF.5	4	0,7	1	6
VF.6	4	0,7	1	6
VF.7	4	0,7	1	6
VF.8	4	0,7	1	6
VF.9	4	0,7	1	6
VF.10	4	0,7	1	6
VF.11	4	0,7	1	6
VF.12	4	0,7	1	6
VF.13	4	0,7	1	6
VF.14	5	0,7	1	6,8
VF.15	5	0,7	1	6,8
VF.16	5	0,7	1	6,8
VF.17	5	0,7	1	6,8
VF.18	5	0,7	1	6,8

Figura 3.1 – Vigas de Fundação.

Os quadros seguintes, estruturados da mesma forma para as diferentes vigas, resumem as verificações enunciadas anteriormente. Relativamente à nomenclatura utilizada pelo *Robot*, o significado das diferentes siglas é o seguinte:

- Mt max – Momento máximo positivo das envolventes de todas as combinações no tramo tipo a meio vão.
- Mt min - Momento mínimo negativo das envolventes de todas as combinações no tramo tipo a meio vão.
- Me – Momento mínimo negativo das envolventes de todas as combinações no tramo tipo no apoio à esquerda.
- Md – Momento mínimo negativo das envolventes de todas as combinações no tramo tipo no apoio à direita.
- Qe – Esforço Transverso das envolventes de todas as combinações n tramo tipo no apoio à esquerda.
- Qd – Esforço Transverso das envolventes de todas as combinações n tramo tipo no apoio à direita.

Grupo 1 – Vigas de 0.70m x 0.70m (L = 6.5m)

❖ Estados Limites Últimos

a) Resistência à Flexão

**Resultados obtidos do Robot**

Armaduras de Flexão e de Corte

Envolventes máximas dos esforços de todas as combinações.

**2.4.1 Solicitações em ELU**

Tramo	Mt max (kN*m)	Mt min (kN*m)	Me (kN*m)	Md (kN*m)	Qe (kN)	Qd (kN)
P1	132,61	-90,64	-198,14	-148,70	104,03	-88,37

**2.6 Armadura:**

**2.6.1 P1 : Tramo de 1,00 até 6,50 (m)**

**Armaduras longitudinais:**

- Armaduras inferiores (B500C)
 

7 $\phi$ 12	l = 11,97	de 0,52	até 12,48
-------------	-----------	---------	-----------
- apoio (B500C)
 

7 $\phi$ 12	l = 4,13	de 0,31	até 4,44
7 $\phi$ 12	l = 7,38	de 3,06	até 10,44

**Armadura transversal:**

- principais (B500C)
 

estribos	55 $\phi$ 6	l = 2,58
	e = 1*0,05 + 54*0,10 (m)	
- alfinetes
 

55 $\phi$ 6	l = 2,58
e = 1*0,05 + 54*0,10 (m)	

Armaduras de Flexão mínimas e máximas segundo o EC2.

Flexão					
Armadura mínima (cm <sup>2</sup> )					
Betão	Aço	Secção			A <sub>s,min</sub>
		b <sub>t</sub>	h	d	
C25/30	A500	0,7	0,7	0,654	5,9514

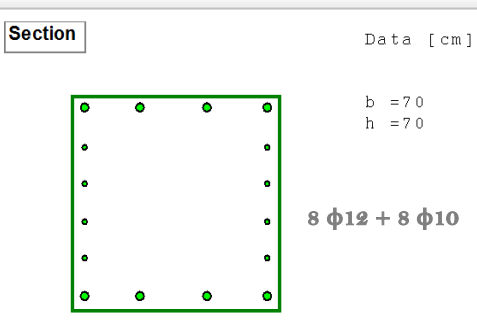
  

Armadura máxima (cm <sup>2</sup> )			
Secção			A <sub>s,max</sub>
b	h	Ac	
0,7	0,7	0,49	196

Estudo da mesma secção com recurso ao software *Gala*

**Conclusão - Armaduras adoptadas**

	Armaduras de Flexão (cm <sup>2</sup> )	
	Programa de cálculo - <i>Robot</i>	Software <i>Gala</i>
Superior	7,92	7,67
Inferior	7,92	7,67



Data [ cm ]  
b = 70  
h = 70  
8  $\phi$ 12 + 8  $\phi$ 10

De referir que as armaduras obtidas através dos 2 processos (*Robot* e *Gala*) conduzem a resultados semelhantes, verificando as condições necessárias de segurança ao E.L.U. de Flexão. Para as restantes vigas do grupo 1, poder-se-á também concluir que verificam a segurança em relação ao E.L.U.

Figura 3.2 – Verificação da viga mais desfavorável do grupo 1.

b) Resistência ao Esforço Transverso

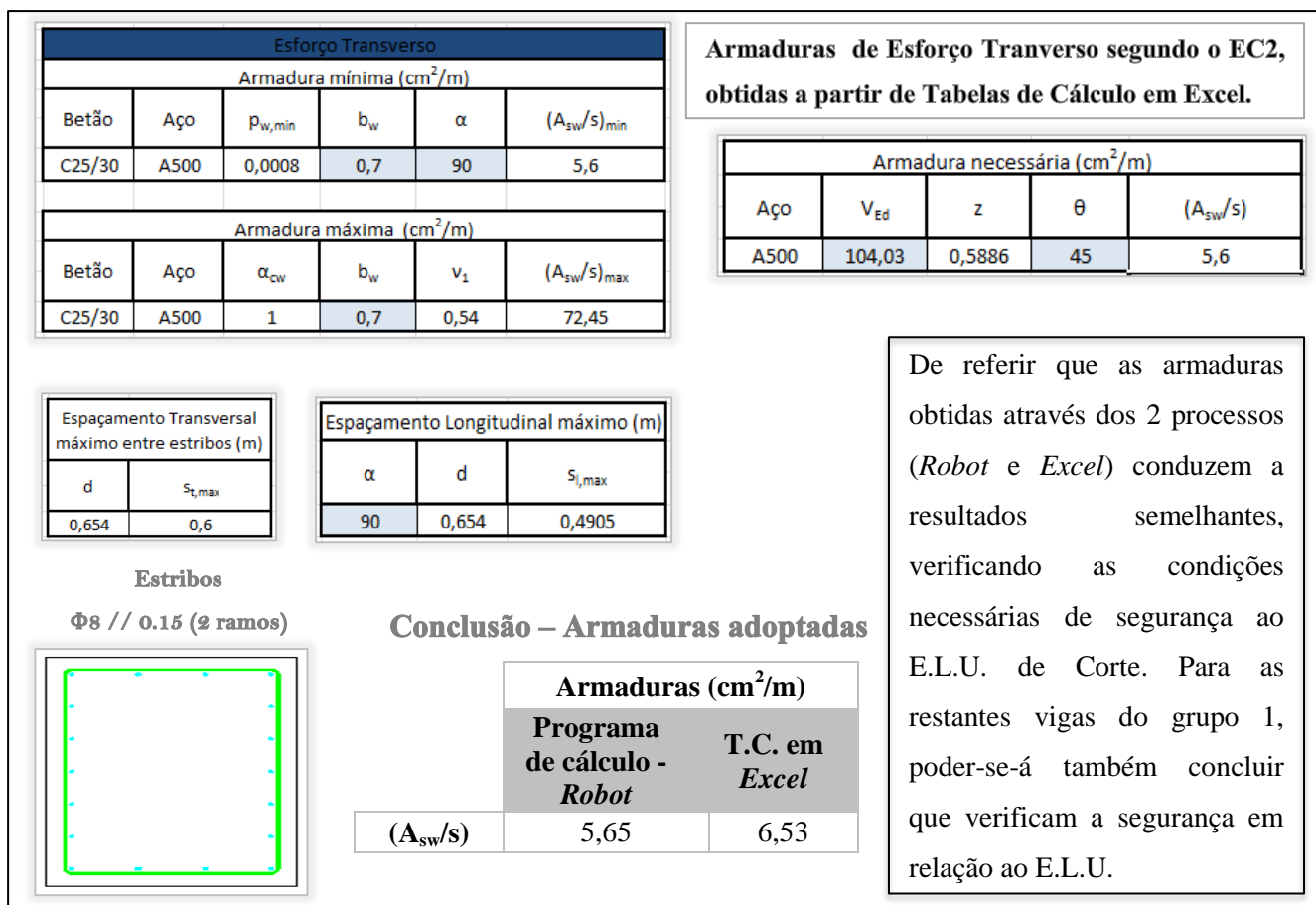


Figura 3.3 – Verificação da viga mais desfavorável do grupo 1.

❖ Estado Limite de Serviço

a) Controlo da Fendilhação (Método indirecto)

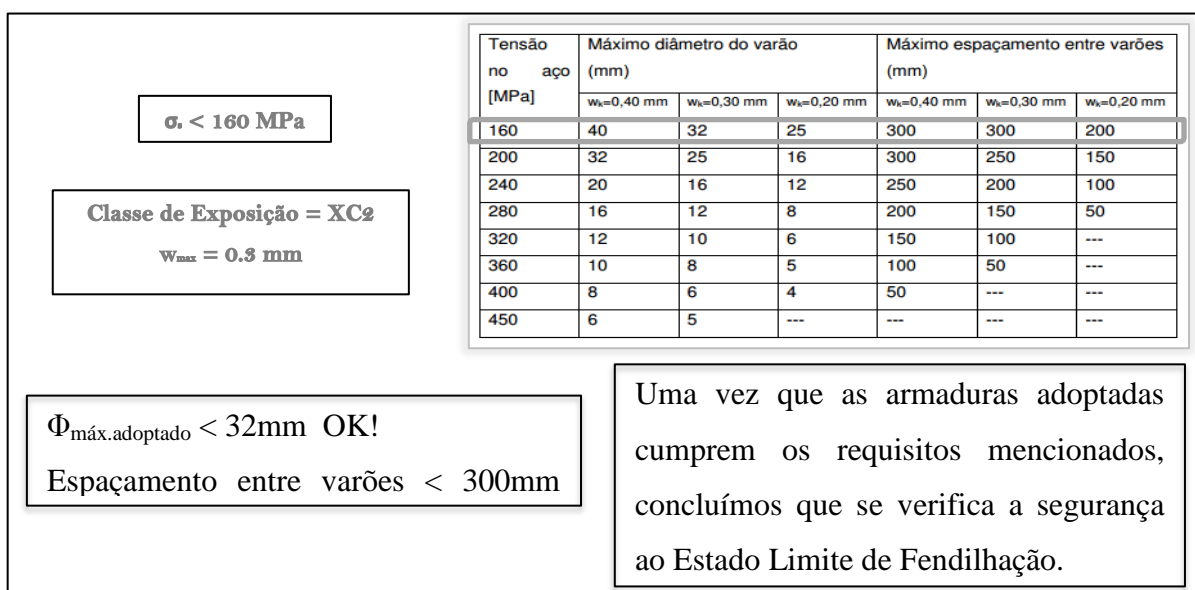


Figura 3.4 – Verificação da viga mais desfavorável do grupo 1.

Grupo 2 – Viga de 0.70m x 0.70m (L = 5.5m)

❖ Estados Limites Últimos

a) Resistência à Flexão

**Resultados obtidos do Robot** → Envolturas máximas dos esforços de todas as combinações.

Tramo	Mt max (kN*m)	Mt min (kN*m)	Me (kN*m)	Md (kN*m)	Qe (kN)	Qd (kN)
P2	143,58	-101,44	-188,68	143,58	109,80	-89,85

↓  
Armaduras de Flexão e de Corte

**2.6 Armadura:**

2.6.2 P2 : Tramo de 7,50 até 12,00 (m)

**Armaduras longitudinais:**

- apoio (B500C)  
7  $\phi$ 12 l = 3,63 de 9,06 até 12,69

**Armadura transversal:**

- principais (B500C)  
estribos 45  $\phi$ 6 l = 2,58  
e = 1\*0,05 + 44\*0,10 (m)
- alfinetes 45  $\phi$ 6 l = 2,58  
e = 1\*0,05 + 44\*0,10 (m)

**Armaduras de Flexão mínimas e máximas segundo o EC2.**

Flexão					
Armadura mínima (cm <sup>2</sup> )					
Betão	Aço	Secção			A <sub>s,min</sub>
		b <sub>t</sub>	h	d	
C25/30	A500	0,7	0,7	0,654	5,9514

Armadura máxima (cm <sup>2</sup> )			
Secção			A <sub>s,max</sub>
b	h	Ac	
0,7	0,7	0,49	196

Estudo da mesma secção com recurso ao software *Gala*

**Conclusão - Armaduras adoptadas**

**Armaduras de Flexão (cm<sup>2</sup>)**

	Programa de cálculo - <i>Robot</i>	Software <i>Gala</i>
<b>Superior</b>	7,92	7,67
<b>Inferior</b>	7,92	7,67

**Section** Data [cm]

b = 70  
h = 70

**8  $\phi$ 12 + 8  $\phi$ 10**

De referir que as armaduras obtidas através dos 2 processos (*Robot* e *Gala*) conduzem a resultados semelhantes, verificando as condições necessárias de segurança ao E.L.U. de Flexão. Para as restantes vigas do grupo 2, poder-se-á também concluir que verificam a segurança em relação ao E.L.U.

Figura 3.5 – Verificação da viga mais desfavorável do grupo 2.

b) Resistência ao Esforço Transverso

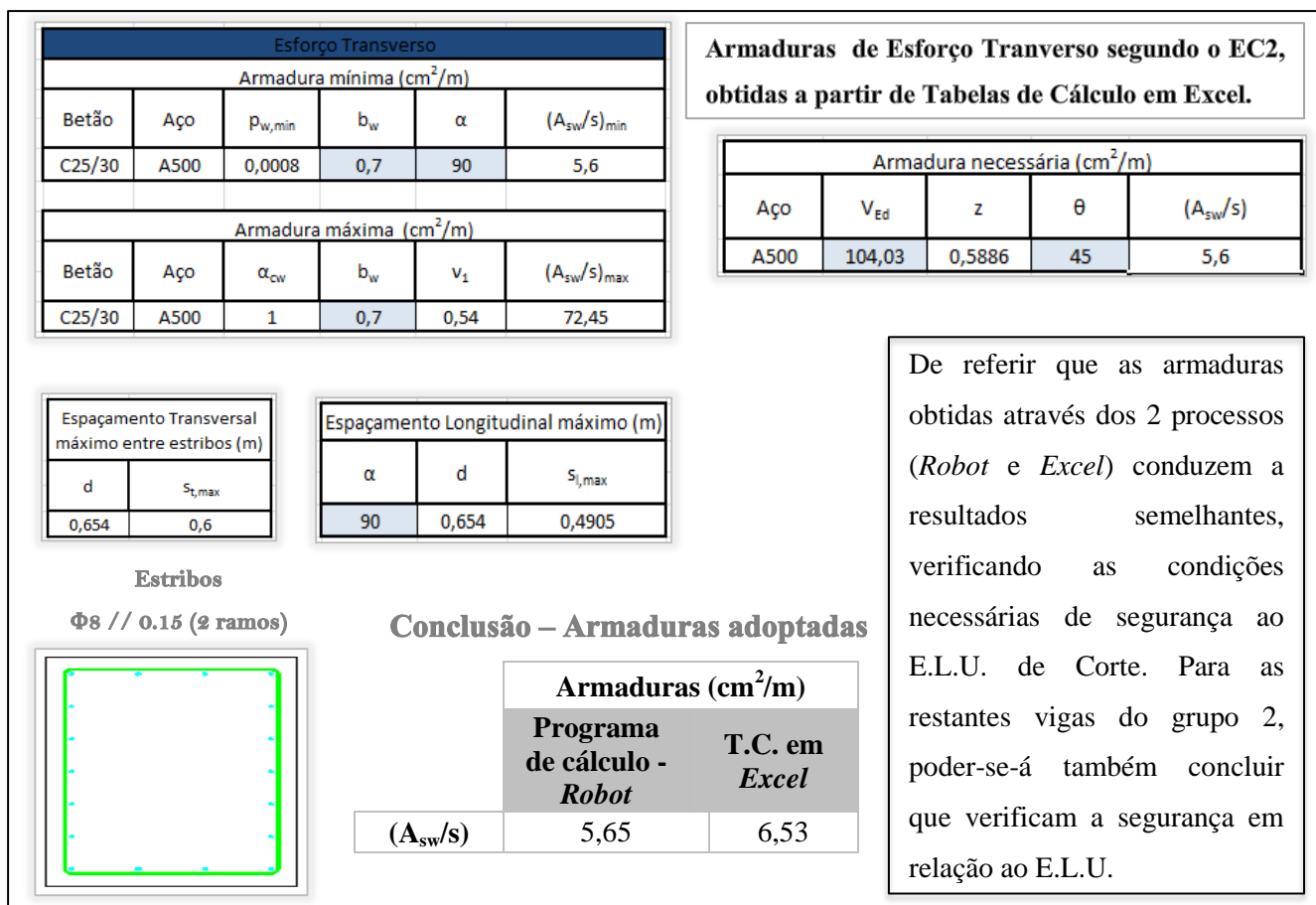


Figura 3.6 – Verificação da viga mais desfavorável do grupo 2.

❖ Estado Limite de Serviço

a) Controlo da Fendilhação (Método indirecto)

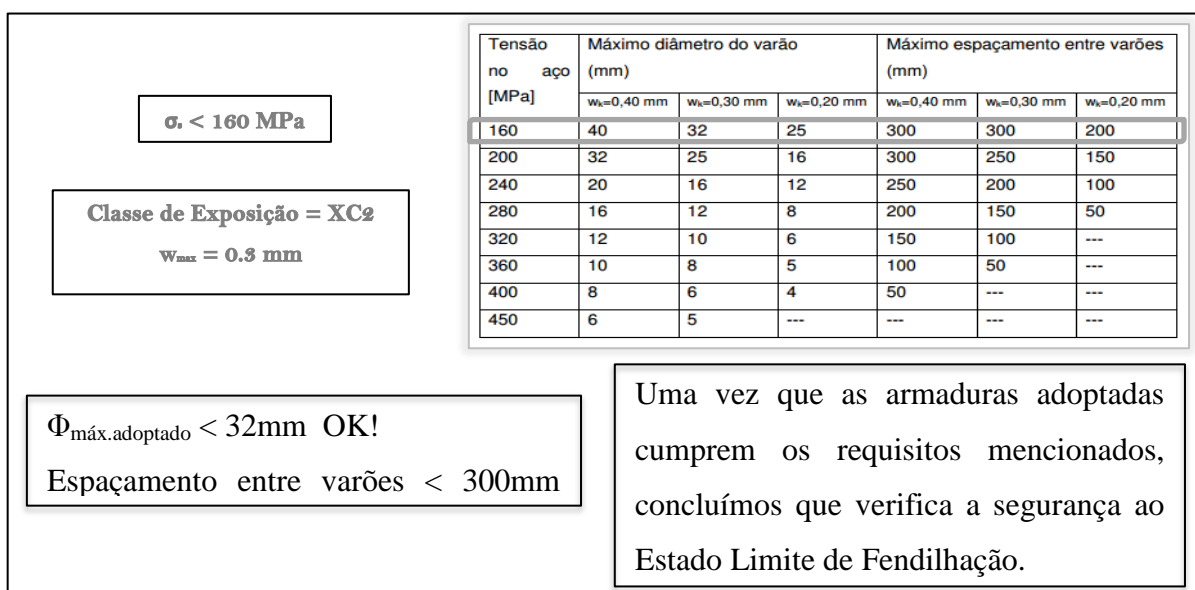


Figura 3.7 – Verificação da viga mais desfavorável do grupo 2.

Grupo 3 – Viga de 0.70m x 0.70m (L = 6.8m)

❖ Estados Limites Últimos

a) Resistência à Flexão

**Resultados obtidos do Robot**

Envolventes máximas dos esforços de todas as combinações.

**2.4.1 Solicitações em ELU**

Tramo	Mt max (kN*m)	Mt min (kN*m)	Me (kN*m)	Md (kN*m)	Qe (kN)	Qd (kN)
P1	48,34	-27,02	-80,68	-41,55	55,39	-53,99

**2.6 Armadura:**

**2.6.1 P1 : Tramo de 1,00 até 6,80 (m)**

**Armaduras longitudinais:**

- Armaduras inferiores (B500C)
 

7 $\phi$ 12	l = 6,77	de 0,52	até 7,28
-------------	----------	---------	----------
- apoio (B500C)
 

7 $\phi$ 12	l = 7,18	de 0,31	até 7,49
-------------	----------	---------	----------

**Armadura transversal:**

- principais (B500C)
 

estribos	52 $\phi$ 6	l = 2,58
e = 1*0,08 + 8*0,10 + 2*0,28 + 30*0,10 + 1*0,28 + 10*0,10 (m)		
- alfinetes
 

52 $\phi$ 6	l = 2,58
e = 1*0,08 + 8*0,10 + 2*0,28 + 30*0,10 + 1*0,28 + 10*0,10 (m)	

**Armaduras de Flexão mínimas e máximas segundo o EC2.**

Flexão					
Armadura mínima (cm <sup>2</sup> )					
Betão	Aço	Secção			A <sub>s,min</sub>
		b <sub>t</sub>	h	d	
C25/30	A500	0,7	0,7	0,654	5,9514

Armadura máxima (cm <sup>2</sup> )			
Secção			A <sub>s,max</sub>
b	h	Ac	
0,7	0,7	0,49	196

Estudo da mesma secção com recurso ao software *Gala*

**Conclusão - Armaduras adoptadas**

	Armaduras de Flexão (cm <sup>2</sup> )	
	Programa de cálculo - <i>Robot</i>	Software <i>Gala</i>
<b>Superior</b>	7,92	7,67
<b>Inferior</b>	7,92	7,67

Data [ cm ]

b = 70  
h = 70

8  $\phi$ 12 + 8  $\phi$ 10

De referir que as armaduras obtidas através dos 2 processos (*Robot* e *Gala*) conduzem a resultados semelhantes, verificando as condições necessárias de segurança ao E.L.U. de Flexão. Para as restantes vigas do grupo 3, poder-se-á também concluir que verificam a segurança em relação ao E.L.U.

Figura 3.8 – Verificação da viga mais desfavorável do grupo 3.

b) Resistência ao Esforço Transverso

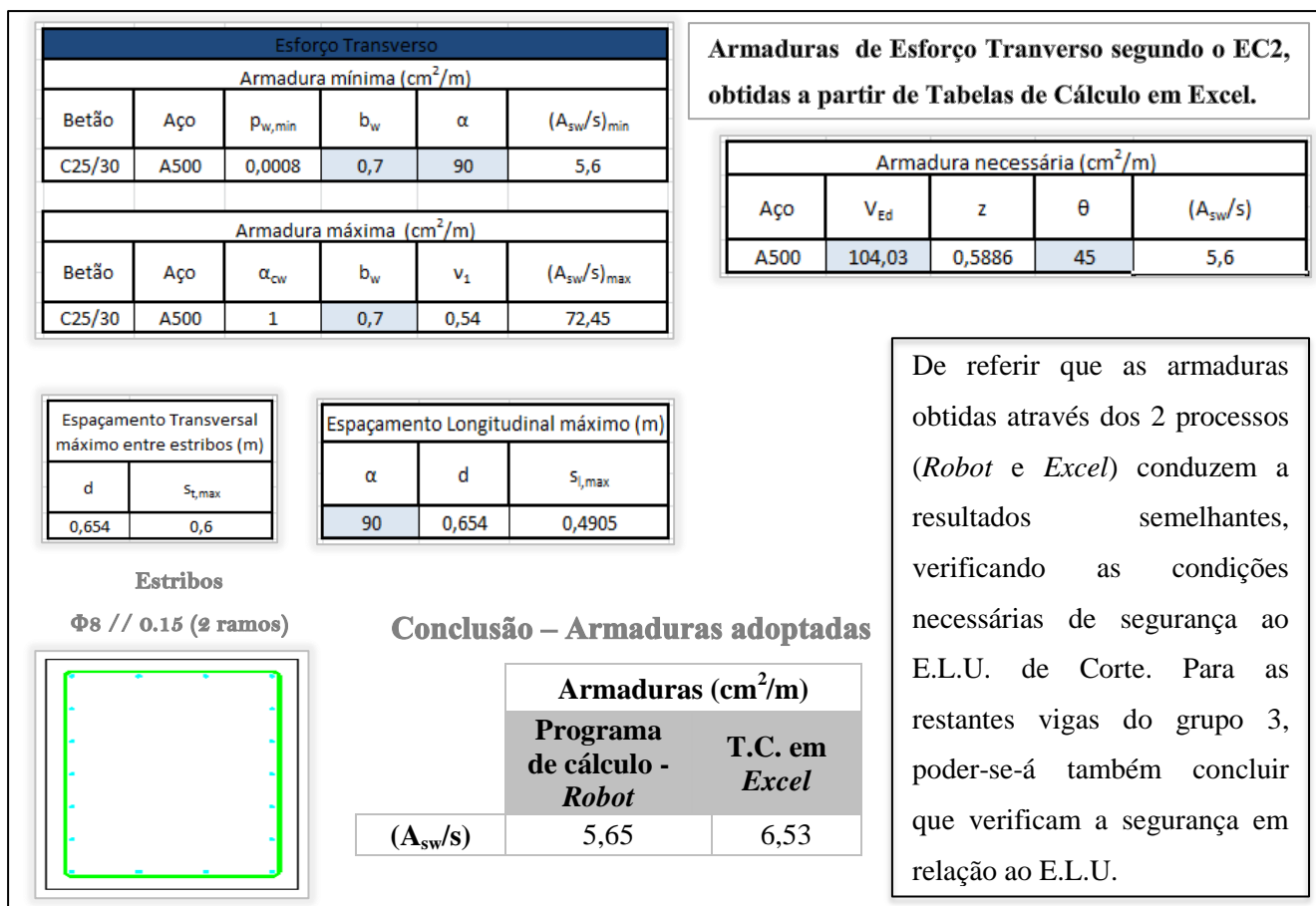


Figura 3.9 – Verificação da viga mais desfavorável do grupo 3.

❖ Estado Limite de Serviço

a) Controlo da Fendilhação (Método indirecto)

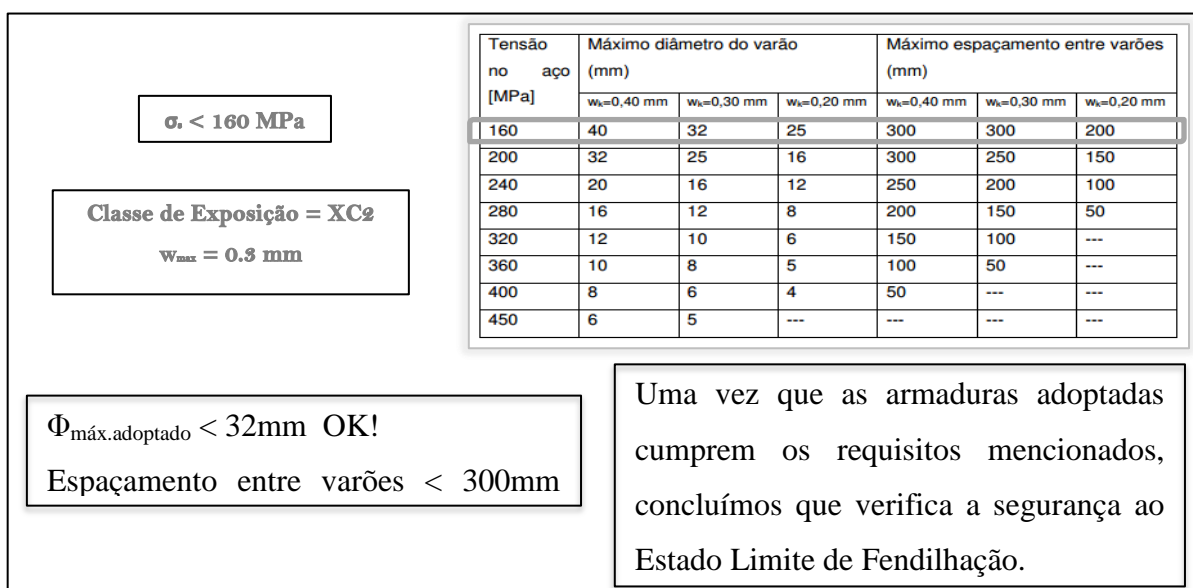


Figura 3.10 – Verificação da viga mais desfavorável do grupo 3.

Grupo 4 – Vigas de 0.70m x 1.00m (L = 6.0m)

❖ Estados Limites Últimos

a) Resistência à Flexão

**Resultados obtidos do Robot**

↓

Armaduras de Flexão e de Corte

Envolventes máximas dos esforços de todas as combinações.

**2.4 Resultados dos cálculos:**

**2.4.1 Solicitações em ELU**

Tramo	Mt max (kN*m)	Mt min (kN*m)	Me (kN*m)	Md (kN*m)	Qe (kN)	Qd (kN)
P9	528,75	-524,84	485,69	-791,82	245,98	-312,32

**2.6.9 P9 : Tramo de 49,00 até 54,00 (m)**

**Armaduras longitudinais:**

- Armaduras inferiores (B500C)
  - 7  $\phi$ 12 l = 4,97 de 49,52 até 54,48
  - 5  $\phi$ 12 l = 5,07 de 49,52 até 54,58
- apoio (B500C)
  - 7  $\phi$ 18 l = 4,62 de 50,46 até 54,96
  - 1  $\phi$ 18 l = 2,37 de 52,79 até 54,91

**Armadura de pele (B500C):**

- 4  $\phi$ 8 l = 5,92 de 48,54 até 54,46
- alfinetes 32  $\phi$ 6 l = 0,74 e = 1\*0,25 + 15\*0,30 (m)

**Armadura transversal:**

- principais (B500C)
  - estribos 55  $\phi$ 6 l = 2,58 e = 1\*0,05 + 54\*0,10 (m)
  - alfinetes 55  $\phi$ 6 l = 2,58 e = 1\*0,05 + 54\*0,10 (m)

Armaduras de Flexão mínimas e máximas segundo o EC2.

Flexão					
Armadura mínima (cm <sup>2</sup> )					
Betão	Aço	Secção			A <sub>s,min</sub>
		b <sub>t</sub>	h	d	
C25/30	A500	0,7	1	0,954	8,6814

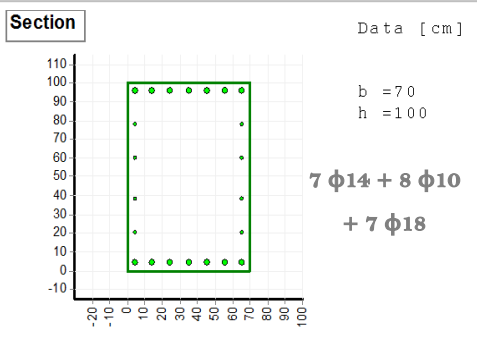
  

Armadura máxima (cm <sup>2</sup> )			
Secção			A <sub>s,max</sub>
b	h	Ac	
0,7	1	0,7	280

Estudo da mesma secção com recurso ao software *Gala*

**Conclusão - Armaduras adoptadas**

	Armaduras de Flexão (cm <sup>2</sup> )	
	Programa de cálculo - <i>Robot</i>	<i>Software Gala</i>
<b>Superior</b>	20,36	20,95
<b>Inferior</b>	13,57	13,92



De referir que as armaduras obtidas através dos 2 processos (*Robot* e *Gala*) conduzem a resultados semelhantes, verificando as condições necessárias de segurança ao E.L.U. de Flexão. Para as restantes vigas do grupo 4, poder-se-á também concluir que verificam a segurança em relação ao E.L.U.

Figura 3.11 – Verificação da viga mais desfavorável do grupo 4.

b) Resistência ao Esforço Transverso

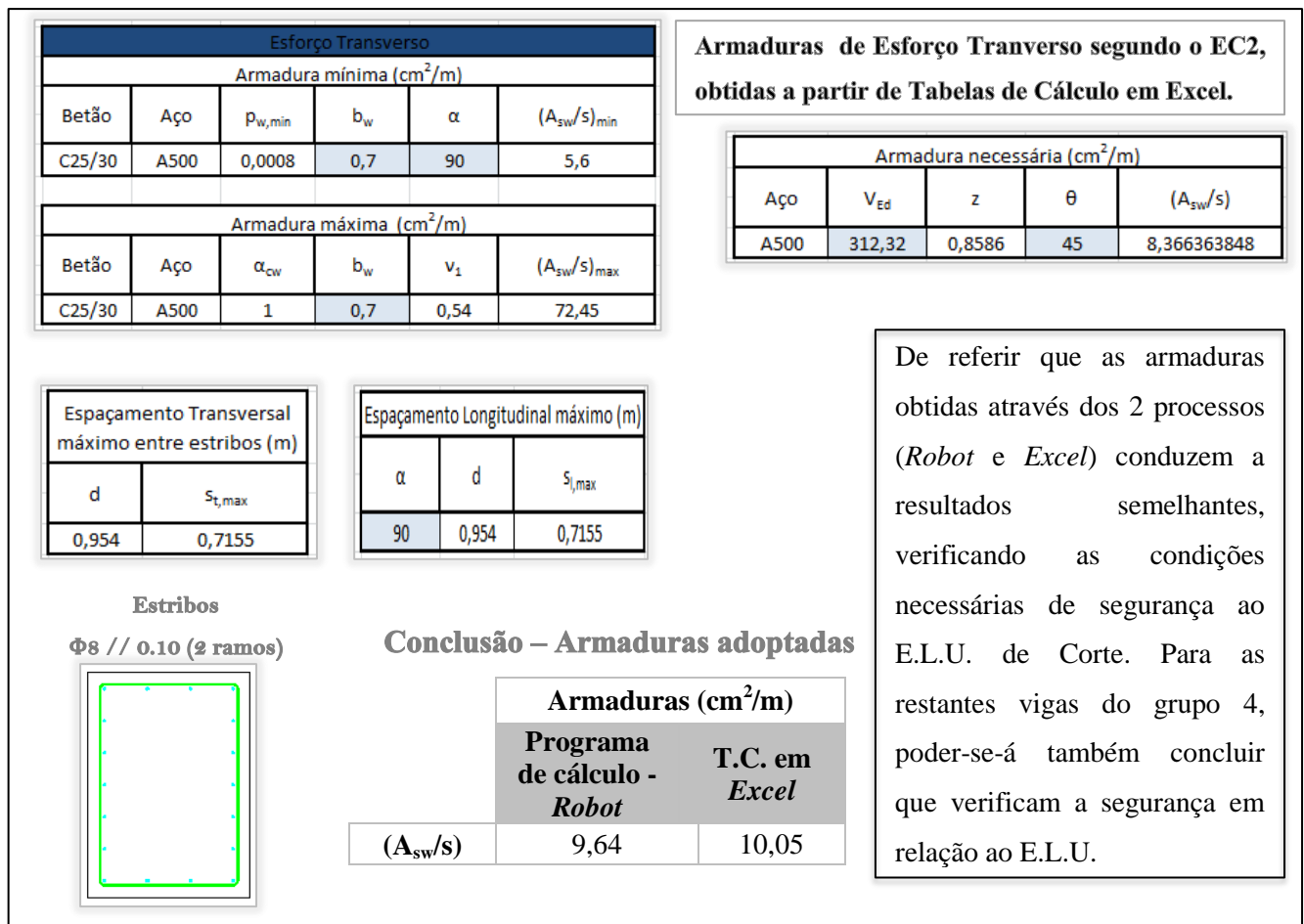


Figura 3.12 – Verificação da viga mais desfavorável do grupo 4.

❖ Estado Limite de Serviço

a) Controlo da Fendilhação (Método indirecto)

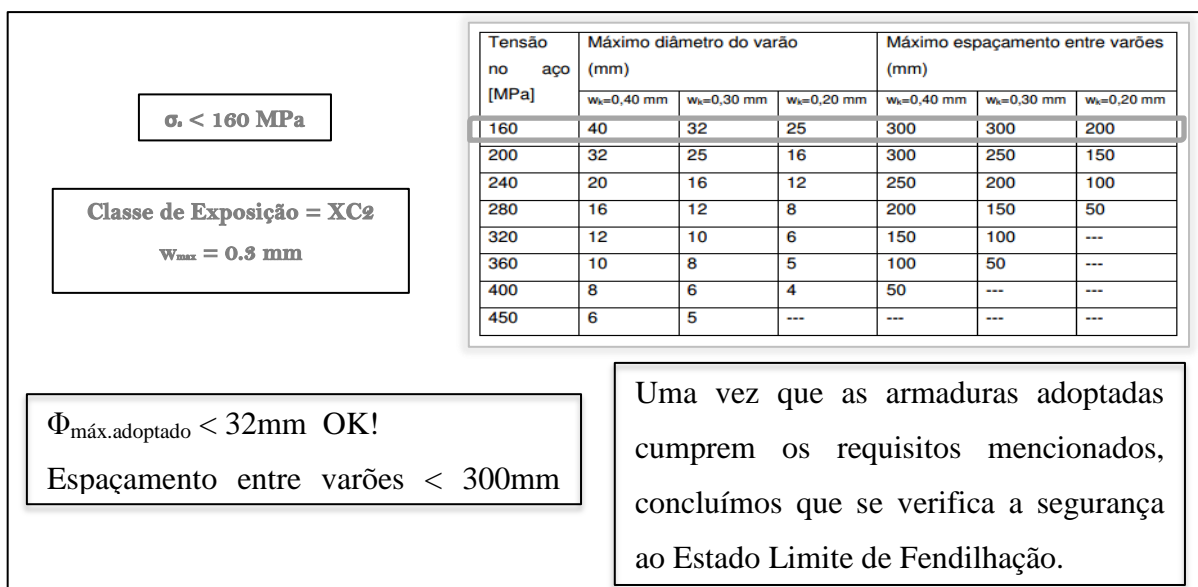


Figura 3.13 - Verificação da viga mais desfavorável do grupo 4.

Grupo 5 – Vigas de 0.70m x 1.00m (L = 6.8m)

❖ Estados Limites Últimos

a) Resistência à Flexão

**Resultados obtidos do Robot**

Envolventes máximas dos esforços de todas as combinações.

**2.4 Resultados dos cálculos:**

**2.4.1 Solicitações em ELU**

Tramo	Mt max (kN*m)	Mt min (kN*m)	Me (kN*m)	Md (kN*m)	Qe (kN)	Qd (kN)
P5	455,51	-459,03	335,93	-721,97	202,31	-248,42

Armaduras de Flexão e de Corte

**2.6.5 P5 : Tramo de 28,20 até 34,00 (m)**

**Armaduras longitudinais:**

- Armaduras inferiores (B500C)
  - 7  $\phi$ 14 l = 5,77 de 28,80 até 34,56
  - 1  $\phi$ 14 l = 5,87 de 28,80 até 34,66
- apoio (B500C)
  - 7  $\phi$ 14 l = 4,51 de 30,29 até 34,81
  - 5  $\phi$ 14 l = 4,61 de 30,29 até 34,91

**Armadura de pele (B500C):**

- 4  $\phi$ 8 l = 6,72 de 27,74 até 34,46
- alfinetes 38  $\varnothing$ 6 l = 0,74 e = 1\*0,20 + 18\*0,30 (m)

**Armadura transversal:**

- principais (B500C)
  - estribos 105  $\phi$ 6 l = 1,04 e = 1\*0,10 + 20\*0,28 (m)
  - 21  $\phi$ 6 l = 3,18 e = 1\*0,10 + 20\*0,28 (m)
  - 4  $\phi$ 8 l = 6,72 e = 1\*-0,46 (m)
- alfinetes 105  $\phi$ 6 l = 1,04 e = 1\*0,10 + 20\*0,28 (m)
- 21  $\phi$ 6 l = 3,18 e = 1\*0,10 + 20\*0,28 (m)
- 4  $\phi$ 8 l = 6,72 e = 1\*-0,46 (m)

Armaduras de Flexão mínimas e máximas segundo o EC2.

Flexão					
Armadura mínima (cm <sup>2</sup> )					
Betão	Aço	Secção			A <sub>s,min</sub>
		b <sub>t</sub>	h	d	
C25/30	A500	0,7	1	0,954	8,6814

Armadura máxima (cm <sup>2</sup> )			
Secção			A <sub>s,max</sub>
b	h	Ac	
0,7	1	0,7	280

Estudo da mesma secção com recurso ao software Gala

**Conclusão - Armaduras adoptadas**

	Armaduras de Flexão (cm <sup>2</sup> )	
	Programa de cálculo - Robot	Software Gala
Superior	18,47	20,95
Inferior	12,32	13,92

Section Data [cm]

b = 70  
h = 100

7  $\phi$ 14 + 8  $\phi$ 10  
+ 7  $\phi$ 18

De referir que as armaduras obtidas através dos 2 processos (Robot e Gala) conduzem a resultados semelhantes, verificando as condições necessárias de segurança ao E.L.U. de Flexão. Para as restantes vigas do grupo 5, poder-se-á também concluir que verificam a segurança em relação ao E.L.U.

Figura 3.14 – Verificação da viga mais desfavorável do grupo 5.

b) Resistência ao Esforço Transverso

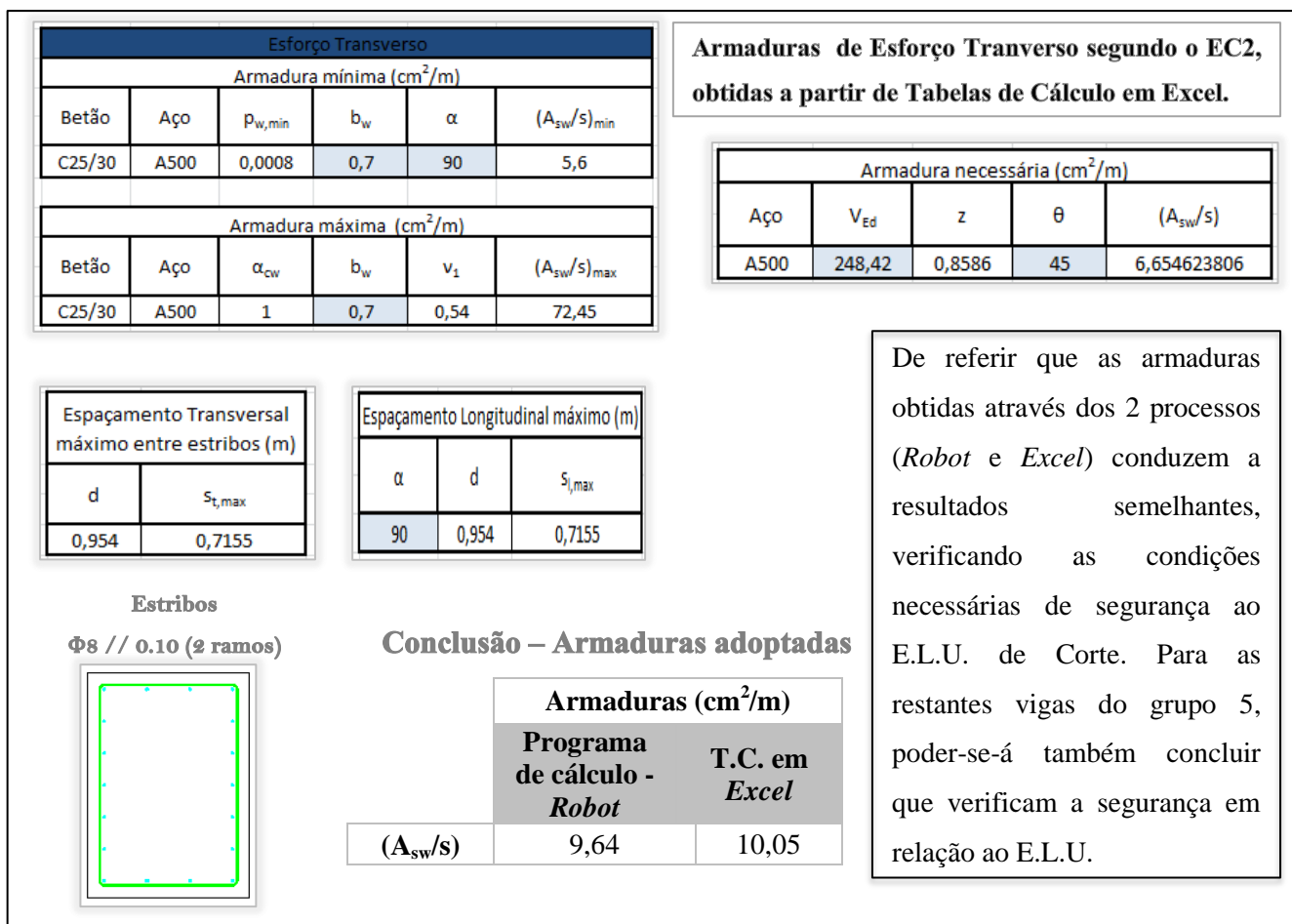


Figura 3.15 – Verificação da viga mais desfavorável do grupo 5.

❖ Estado Limite de Serviço

a) Controlo da Fendilhação (Método indirecto)

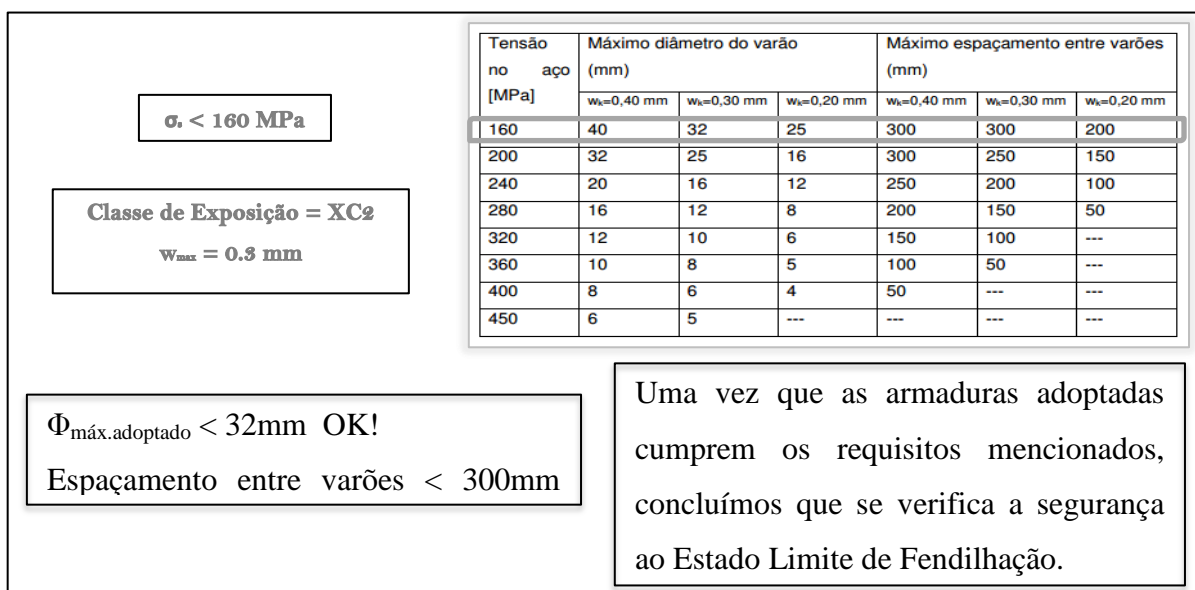
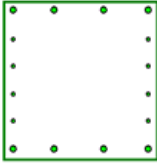
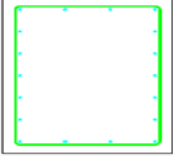

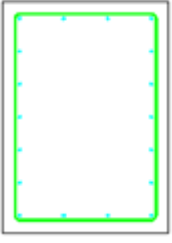

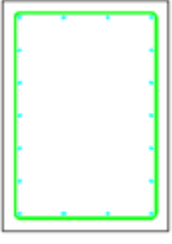


Figura 3.16 - Verificação da viga mais desfavorável do grupo 5.

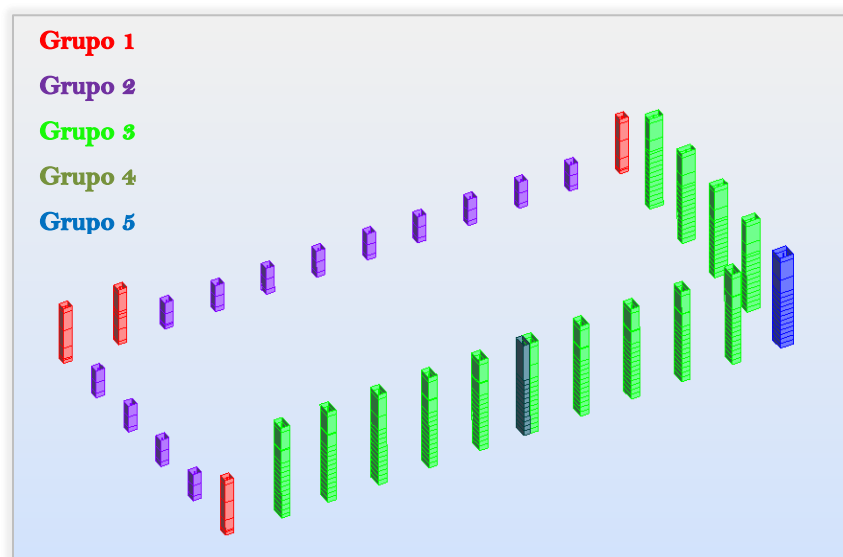
Quadro resumo das armaduras adoptadas para as vigas de fundação.

Viga	Flexão		Esforço Transverso	
	<i>Armadura Longitudinal</i>		<i>Armadura Transversal</i>	
<b>VF.1</b>	8 $\phi$ 12 + 8 $\phi$ 10		$\phi$ 8 // 0,15 (2 ramos)	
<b>VF.2</b>	8 $\phi$ 12 + 8 $\phi$ 10		$\phi$ 8 // 0,15 (2 ramos)	
<b>VF.3</b>	8 $\phi$ 12 + 8 $\phi$ 10		$\phi$ 8 // 0,15 (2 ramos)	
<b>VF.4</b>	8 $\phi$ 12 + 8 $\phi$ 10		$\phi$ 8 // 0,15 (2 ramos)	
<b>VF.5</b>	7 $\phi$ 14 + 7 $\phi$ 18 + 8 $\phi$ 10		$\phi$ 8 // 0,10 (2 ramos)	
<b>VF.6</b>	7 $\phi$ 14 + 7 $\phi$ 18 + 8 $\phi$ 10		$\phi$ 8 // 0,10 (2 ramos)	
<b>VF.7</b>	7 $\phi$ 14 + 7 $\phi$ 18 + 8 $\phi$ 10		$\phi$ 8 // 0,10 (2 ramos)	
<b>VF.8</b>	7 $\phi$ 14 + 7 $\phi$ 18 + 8 $\phi$ 10		$\phi$ 8 // 0,10 (2 ramos)	
<b>VF.9</b>	7 $\phi$ 14 + 7 $\phi$ 18 + 8 $\phi$ 10		$\phi$ 8 // 0,10 (2 ramos)	
<b>VF.10</b>	7 $\phi$ 14 + 7 $\phi$ 18 + 8 $\phi$ 10		$\phi$ 8 // 0,10 (2 ramos)	
<b>VF.11</b>	7 $\phi$ 14 + 7 $\phi$ 18 + 8 $\phi$ 10		$\phi$ 8 // 0,10 (2 ramos)	
<b>VF.12</b>	7 $\phi$ 14 + 7 $\phi$ 18 + 8 $\phi$ 10		$\phi$ 8 // 0,10 (2 ramos)	
<b>VF.13</b>	7 $\phi$ 14 + 7 $\phi$ 18 + 8 $\phi$ 10		$\phi$ 8 // 0,10 (2 ramos)	
<b>VF.14</b>	7 $\phi$ 14 + 7 $\phi$ 18 + 8 $\phi$ 10		$\phi$ 8 // 0,10 (2 ramos)	
<b>VF.15</b>	7 $\phi$ 14 + 7 $\phi$ 18 + 8 $\phi$ 10		$\phi$ 8 // 0,10 (2 ramos)	
<b>VF.16</b>	7 $\phi$ 14 + 7 $\phi$ 18 + 8 $\phi$ 10		$\phi$ 8 // 0,10 (2 ramos)	
<b>VF.17</b>	7 $\phi$ 14 + 7 $\phi$ 18 + 8 $\phi$ 10		$\phi$ 8 // 0,10 (2 ramos)	
<b>VF.18</b>	7 $\phi$ 14 + 7 $\phi$ 18 + 8 $\phi$ 10		$\phi$ 8 // 0,10 (2 ramos)	

### 3.2 PILARES E PLINTOS DE BETÃO ARMADO

A verificação da segurança aos Estados Limites Últimos e Estado Limite de Serviço dos pilares de betão armado foi efectuada através do *software Gala* e de tabelas de cálculo em Excel, à semelhança das vigas.

De modo a ser mais fácil proceder ao dimensionamento, separaram-se os pilares por grupos tendo em conta a geometria da secção transversal e a sua altura, de acordo com o quadro da Figura 3.17.



Pilar	Grupo	Secção (m)		Altura (m)
		a	b	
P.(1-A)	1	1	1	6,2
P.(1-B)	1	1	1	6,2
P.(6-A)	1	1	1	6,2
P.(1-L)	1	1	1	6,2
P.(2-A)	2	1	1	2,95
P.(3-A)	2	1	1	2,95
P.(4-A)	2	1	1	2,95
P.(5-A)	2	1	1	2,95
P.(1-C)	2	1	1	2,95
P.(1-D)	2	1	1	2,95
P.(1-E)	2	1	1	2,95
P.(1-F)	2	1	1	2,95
P.(1-G)	2	1	1	2,95
P.(1-H)	2	1	1	2,95
P.(1-I)	2	1	1	2,95
P.(1-J)	2	1	1	2,95
P.(1-K)	2	1	1	2,95
P.(6-B)	3	1,6	1	10,2
P.(6-C)	3	1,6	1	10,2
P.(6-D)	3	1,6	1	10,2
P.(6-E)	3	1,6	1	10,2
P.(6-F)	3	1,6	1	10,2
P.(6-G)	3	1,6	1	10,2
P.(6-H)	3	1,6	1	10,2
P.(6-I)	3	1,6	1	10,2
P.(6-J)	3	1,6	1	10,2
P.(6-K)	3	1,6	1	10,2
P.(2-L)	3	1,6	1	10,2
P.(3-L)	3	1,6	1	10,2
P.(4-L)	3	1,6	1	10,2
P.(5-L)	3	1,6	1	10,2
P.(6-G')	4	1,6	0,72	10,2
P.(6-L)	5	1,6	1,6	10,2

Figura 3.17 – Grupos de Pilares e plintos de Betão Armado e geometria dos mesmos.

Grupo 1 – Pilares de 1.00m x 1.00m

❖ Estados Limites Últimos


a) Resistência à Flexão

**Resultados obtidos do Robot.**

➔

Combinação desfavorável: 1.00DL1+1.00DL1+1.05DL1+1.05SC3+0.90DL1+1.50DL1 (A)

Esforços seccionais:  
 $N_{sd} = 216,31 \text{ (kN)}$      $M_{sdy} = 1386,68 \text{ (kN*m)}$      $M_{sdz} = -160,55 \text{ (kN*m)}$



**Estudo da secção a partir dos esforços determinados no Robot com recurso software Gala.**

**Materials**

Concrete: C25/30	Reinforcing steel: S500
SSR: Parabolic - linear	SSR: Standard
$f_{ck} = 25,00 \text{ MPa}$	$f_{yk} = 500,00 \text{ MPa}$
$E_c = 30471,58 \text{ MPa}$	$E_s = 200000,00 \text{ MPa}$
$ec2u = -3,500 \text{ o/oo}$	$esu = 10,000 \text{ o/oo}$
$ec2 = -2,000 \text{ o/oo}$	$n = 2,00$

**Factors**

Concrete: $\gamma_{m,c} = 1,50$	
Steel: $\gamma_{m,s} = 1,15$	

**Section** Data [cm]

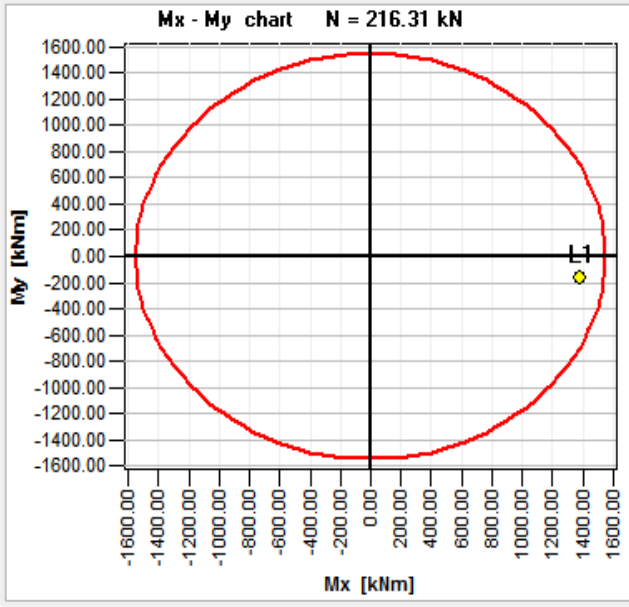
3	6	14	7	4
●	●	●	●	●
9				12
●				●
16				11
●				●
15				10
●				●
1	5	13	8	2
●	●	●	●	●

**16φ25**

**Ábaco resistente de cálculo (N-My-Mz)**

**N > 0 = Compressão**

**Mx - My chart N = 216.31 kN**



**Check Loads**

Load	Mx	My
L1	1386.68	-160.55

Reset    OK

Conclusões: De referir que as armaduras obtidas através do *Gala*, verificam a segurança ao E.L.U. de Flexão Composta. Para os restantes pilares do grupo 1, poder-se-á também concluir que cumprem as condições de segurança.

Figura 3.18 – Verificação do pilar mais desfavorável (P.(1-L)) do grupo 1.

b) Resistência ao Esforço Transverso

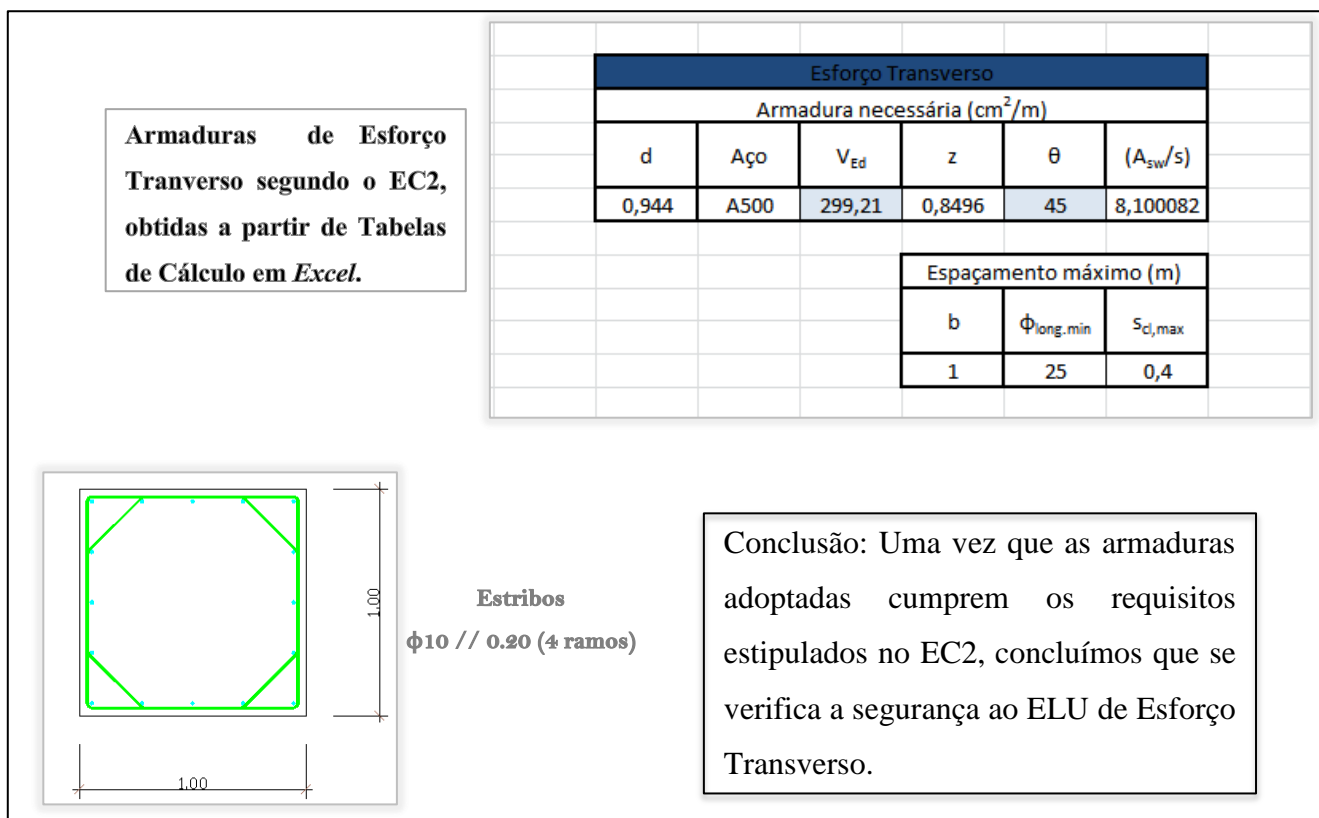


Figura 3.19 – Verificação do pilar mais desfavorável (P.(1-L)) do grupo 1.

❖ Estado Limite de Serviço

a) Controlo da Fendilhação (Método indirecto)

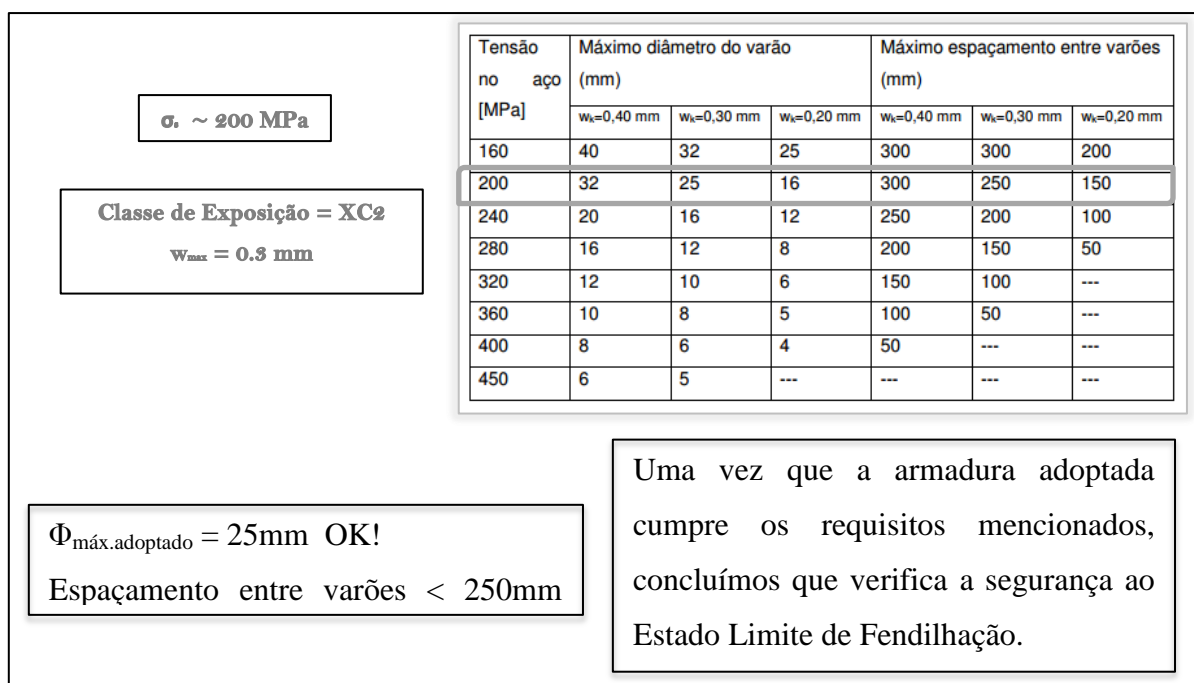


Figura 3.20 – Verificação do pilar mais desfavorável (P.(1-L)) do grupo 1.

Grupo 2 – Plintos de 1.00m x 1.00m


❖ Estados Limites Últimos

a) Resistência à Flexão

**Resultados obtidos do Robot.**

→

Combinação desfavorável: 1.00DL1+1.00DL1+0.90DL1+1.50DL1 (A)  
 Esforços seccionais:  
 Nsd = -500,18 (kN)    Msdy = -493,60 (kN\*m)    Msdz = 181,91 (kN\*m)



**Estudo da secção a partir dos esforços determinados no Robot com recurso software Gala.**

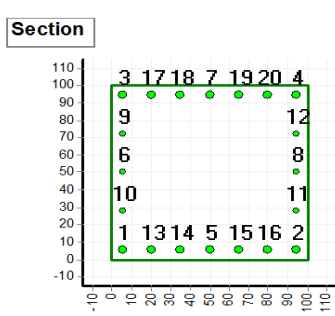
**Materials**

Concrete: C25/30	Reinforcing steel: S500
SSR: Parabolic - linear	SSR: Standard
fck = 25.00 MPa	fyk = 500.00 MPa
Ec = 30471.58 MPa	Es = 200000.00 MPa
ec2u = -3.500 o/oo	esu = 10.000 o/oo
ec2 = -2.000 o/oo	n = 2.00

**Factors**

Concrete: gama_c = 1.50
Steel: gama_s = 1.15

**Section** Data [cm]

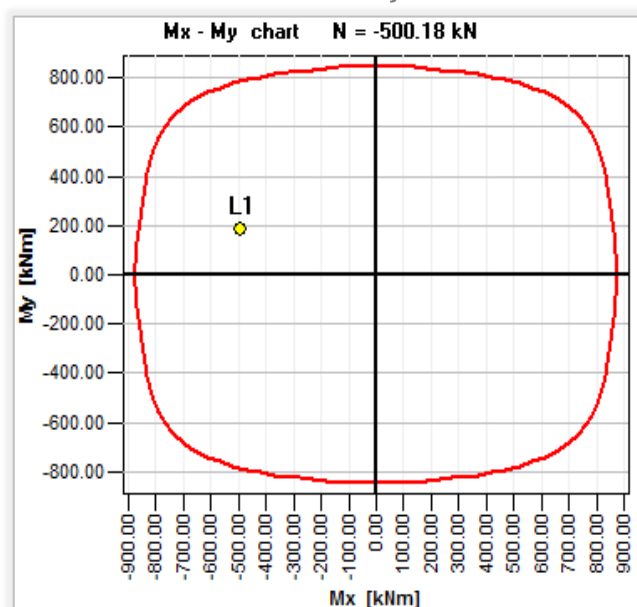


14 φ20 + 6 φ16

**Ábaco resistente de cálculo (N-My-Mz)**

**N<0 = Tracção**

**Mx - My chart    N = -500.18 kN**



**Check Loads**

Loads    Scale 12

1     Marks

Load	Mx	My
L1	-493.6	181.91

Reset    OK

Conclusões: De referir que as armaduras obtidas através do *Gala*, verificam a segurança ao E.L.U. de Flexão Composta. Para os restantes pilares do grupo 2, poder-se-á também concluir que cumprem as condições de segurança.

Figura 3.21 – Verificação do pilar mais desfavorável (P.(1-K)) do grupo 2.

112

Trabalho Final de Mestrado

b) Resistência ao Esforço Transverso

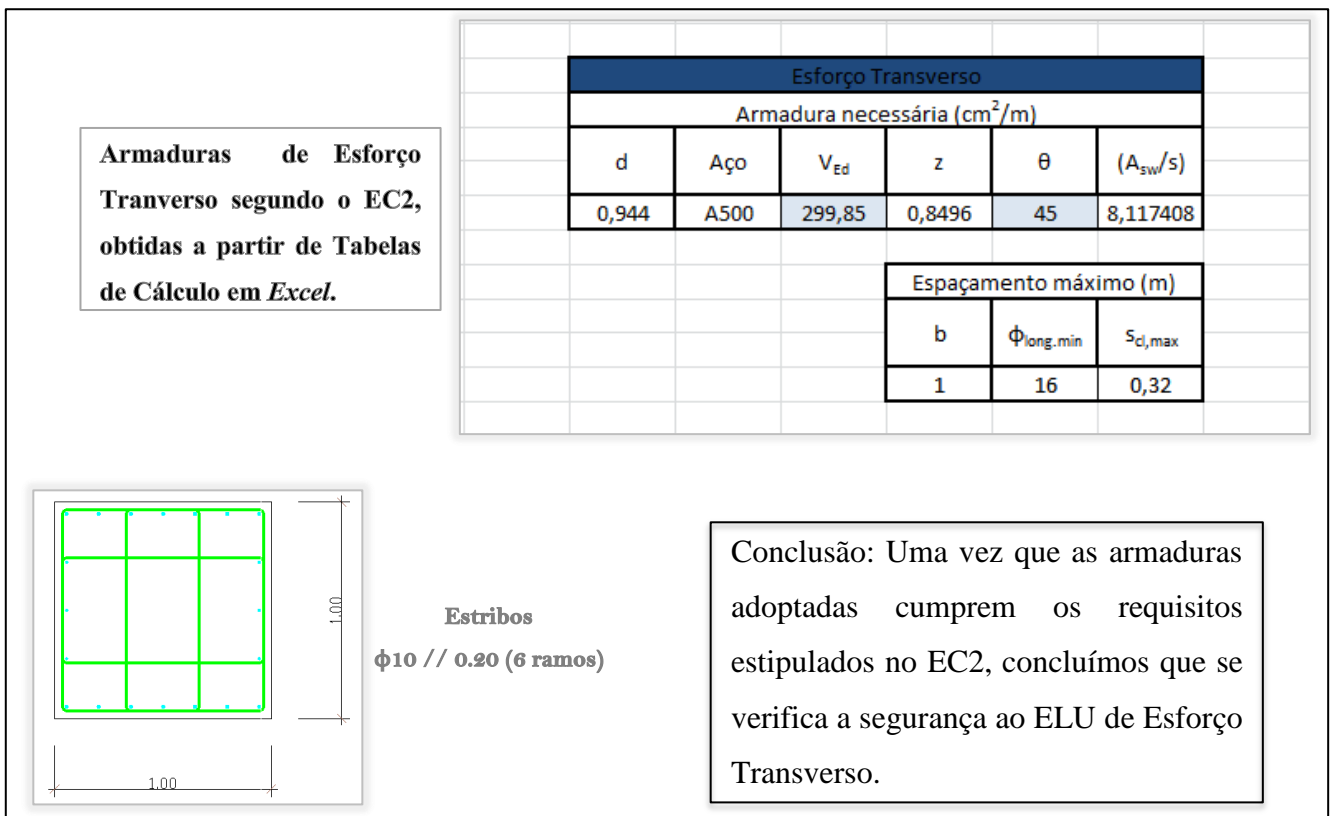


Figura 3.22 – Verificação do pilar mais desfavorável (P.(1-K)) do grupo 2.

❖ Estado Limite de Serviço

a) Controlo da Fendilhação (Método indirecto)

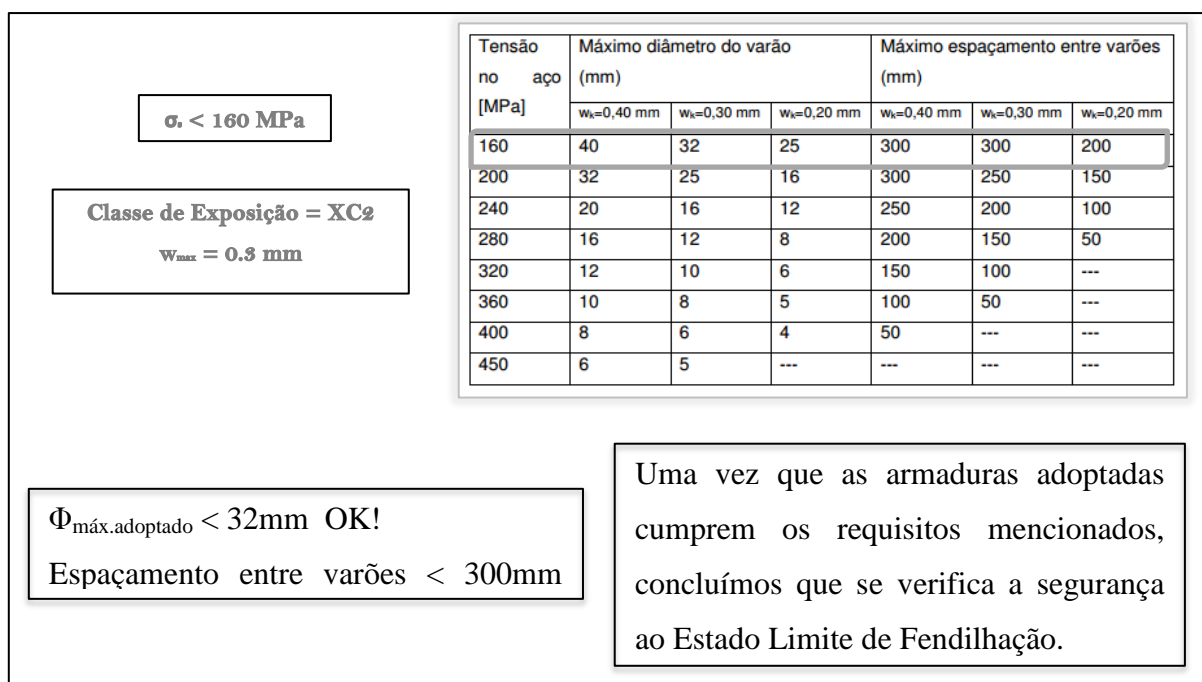


Figura 3.23 – Verificação do pilar mais desfavorável (P.(1-K)) do grupo 2.

Grupo 3 – Pilares de 1.60m x 1.00m

❖ Estados Limites Últimos

a) Resistência à Flexão

**Resultados obtidos do Robot.** → **Combinação desfavorável: 1.00DL1+1.00DL1+0.90DL1+1.50DL1 (A)**  
**Esforços seccionais:**  
 $N_{sd} = -2434,70$  (kN)     $M_{sdy} = -113,68$  (kN\*m)     $M_{sdz} = 1156,12$  (kN\*m)

**GaLa Reinforcement** Professional

**Estudo da secção a partir dos esforços determinados no Robot com recurso software Gala.**

**Materials**

Concrete: C25/30  
 SSR: Parabolic - linear  
 $f_{ck} = 25,00$  MPa  
 $E_c = 30471,58$  MPa  
 $ec2u = -3,500$  o/oo  
 $ec2 = -2,000$  o/oo  
 $n = 2,00$

Reinforcing steel: S500  
 SSR: Standard  
 $f_{yk} = 500,00$  MPa  
 $E_s = 200000,00$  MPa  
 $esu = 10,000$  o/oo

**Factors**

Concrete:  $\gamma_{ma_c} = 1,50$   
 Steel:  $\gamma_{ma_s} = 1,15$

**Section**      Data [ cm ]

$b = 100$   
 $h = 160$

**18  $\phi 25$  + 14  $\phi 20$**

**Ábaco resistente de cálculo (N-My-Mz)**

**N < 0 = Tracção**

**Mx - My chart    N = -2434.7 kN**

**Check Loads**

Loads    Scale 12

1     Marks

Load	Mx	My
L1	1156.12	-113.68

Reset    OK

**Conclusões:** De referir que as armaduras obtidas através do *Gala*, verificam a segurança ao E.L.U. de Flexão Composta. Para os restantes pilares do grupo 3, poder-se-á também concluir que cumprem as condições de segurança.

Figura 3.24 – Verificação do pilar mais desfavorável (P.(6-H)) do grupo 3.

b) Esforço Transverso

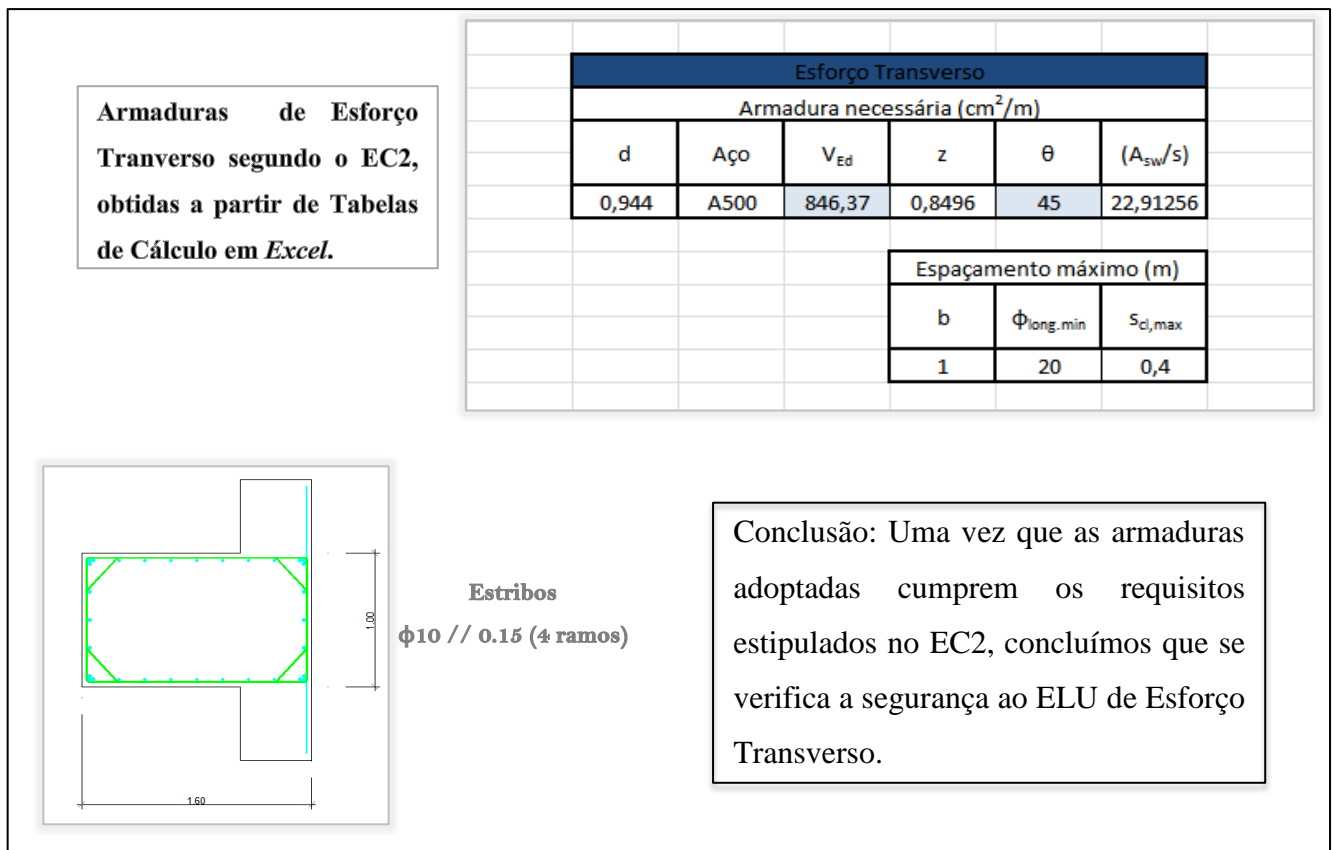


Figura 3.25- Verificação do pilar mais desfavorável (P.(6-H)) do grupo 3.

❖ Estado Limite de Serviço

a) Controlo da Fendilhação (Método indirecto)

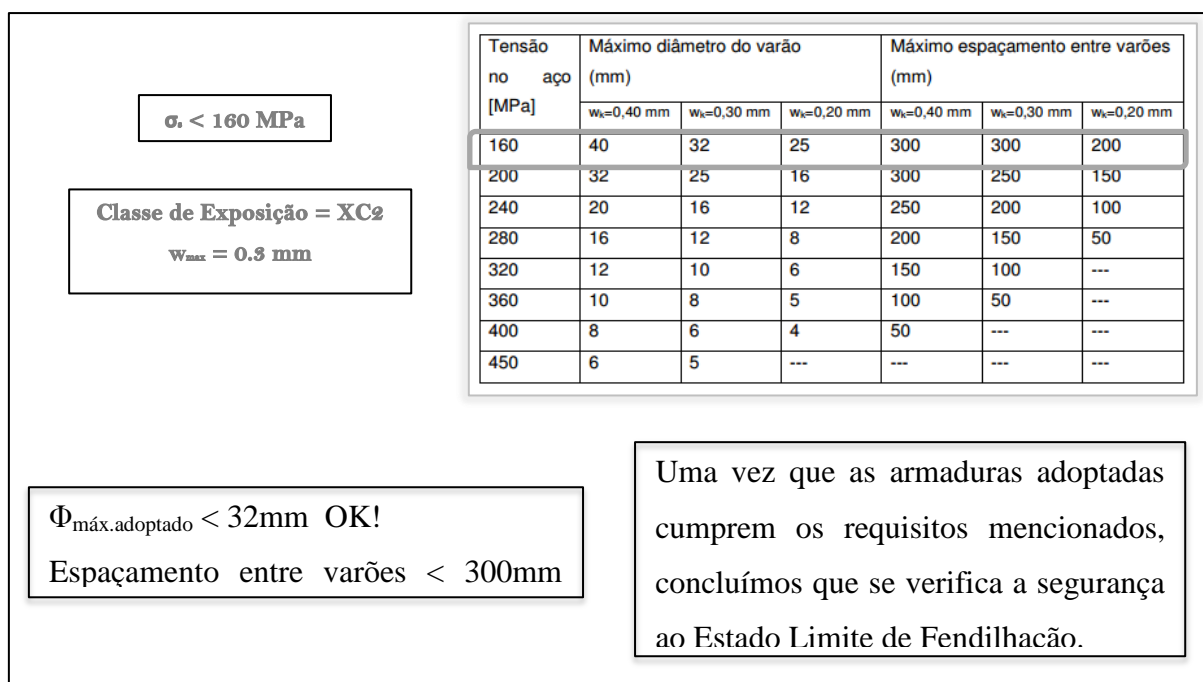


Figura 3.26 – Verificação do pilar mais desfavorável (P.(6-H)) do grupo 3.

Grupo 4 – Pilares de 1.60m x 0.72m

❖ Estados Limites Últimos

a) *Resistência à Flexão*

**Resultados obtidos do Robot.** → **Combinação desfavorável: 1.00DL1+1.00DL1+0.90DL1+1.50DL1 (A)**  
**Esforços seccionais:**  
 $N_{sd} = -1047,88 \text{ (kN)}$      $M_{sdy} = -202,35 \text{ (kN*m)}$      $M_{sdz} = 162,04 \text{ (kN*m)}$

**GaLa Reinforcement Professional**

**Estudo da secção a partir dos esforços determinados no Robot com recurso software Gala.**

**Materials**

Concrete: C25/30  
 SSR: Parabolic - linear

Reinforcing steel: S500  
 SSR: Standard

$f_{ck} = 25.00 \text{ MPa}$   
 $E_c = 30471.58 \text{ MPa}$   
 $ec_{2u} = -3.500 \text{ o/oo}$   
 $ec_2 = -2.000 \text{ o/oo}$   
 $n = 2.00$

$f_{yk} = 500.00 \text{ MPa}$   
 $E_s = 200000.00 \text{ MPa}$   
 $esu = 10.000 \text{ o/oo}$

**Factors**

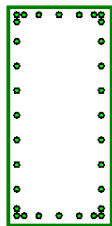
Concrete:  $\gamma_{m,c} = 1.50$   
 Steel:  $\gamma_{m,s} = 1.15$

**Section**

Data [cm]

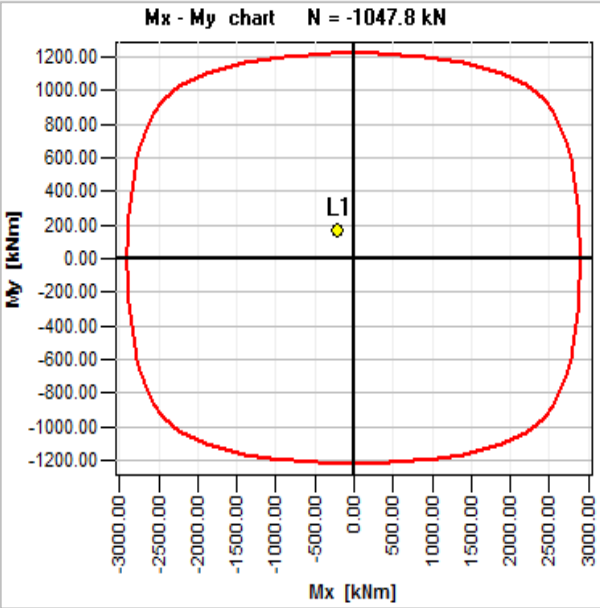
$b = 72$   
 $h = 160$

**18  $\phi 25$  + 14  $\phi 16$**



**Ábaco resistente de cálculo (N-My-Mz)**

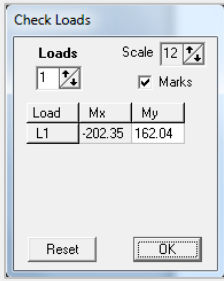
**N < 0 = Tracção**



**Mx - My chart N = -1047.8 kN**

Y-axis: My [kNm] (range: -1200.00 to 1200.00)

X-axis: Mx [kNm] (range: -3000.00 to 3000.00)



**Check Loads**

Loads: 1, Scale: 12, Marks:

Load	Mx	My
L1	-202.35	162.04

Buttons: Reset, OK

**Conclusões:** De referir que as armaduras obtidas através do *Gala*, verificam a segurança ao E.L.U. de Flexão Composta. Para os restantes pilares do grupo 4, poder-se-á também concluir que cumprem as condições de segurança.

Figura 3.27 – Verificação do pilar (P.(6-G')) do grupo 4.

b) Resistência ao Esforço Transverso

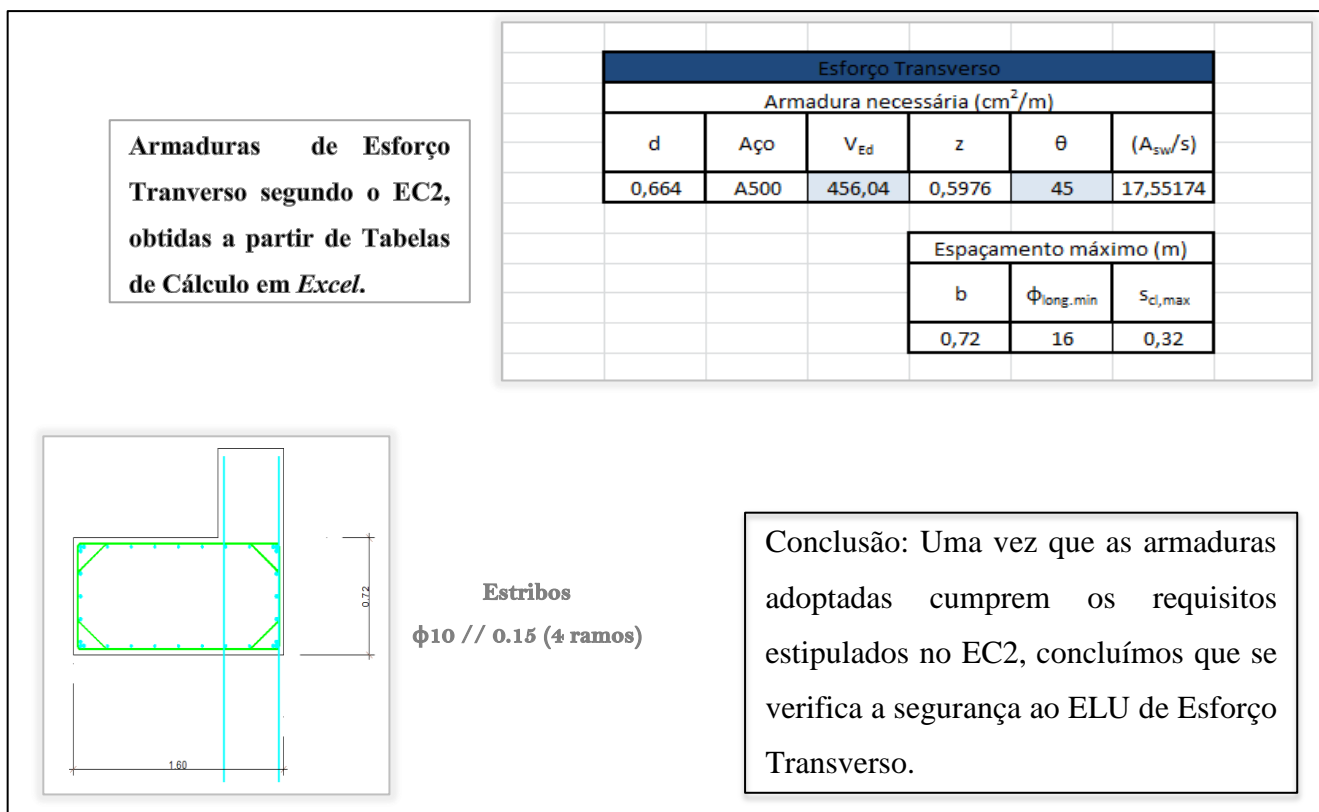


Figura 3.28 – Verificação do pilar (P.(6-G')) do grupo 4.

❖ Estado Limite de Serviço

a) Controlo da Fendilhação (Método indirecto)

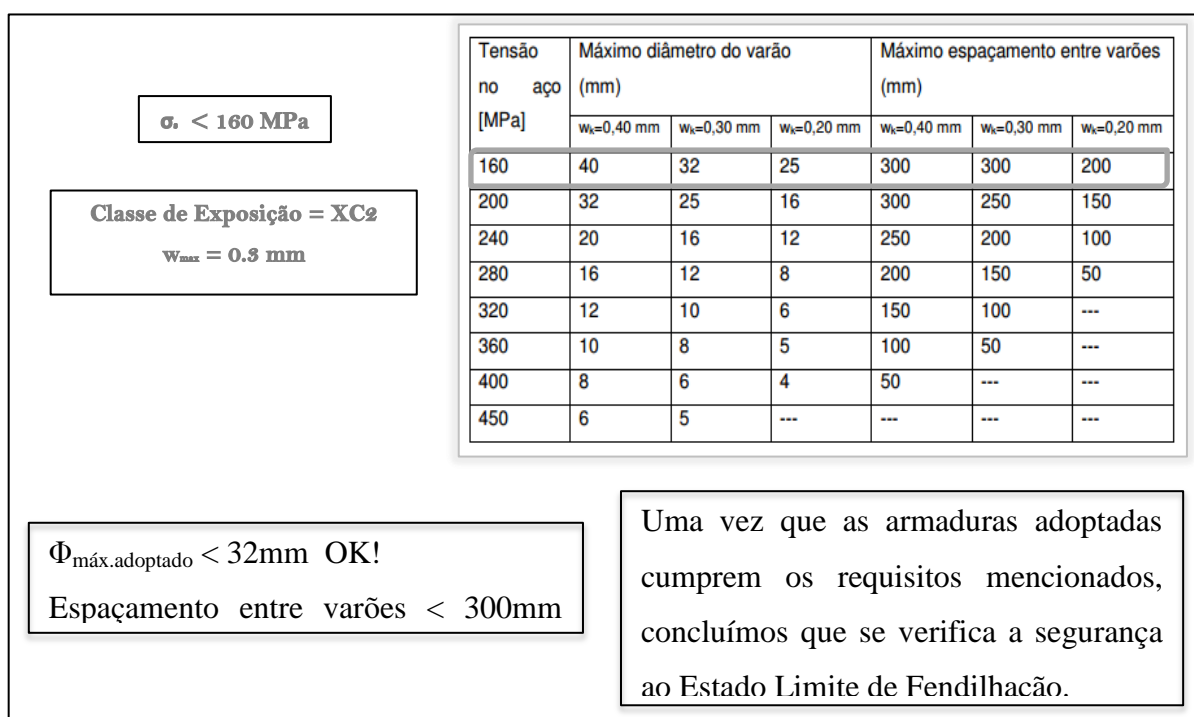


Figura 3.29 – Verificação do pilar (P.(6-G')) do grupo 4.

Grupo 5 – Pilares de 1.60m x 1.60m

❖ Estados Limites Últimos

a) *Resistência à Flexão*

**Resultados obtidos do Robot.** → **Combinação desfavorável: 1.00DL1+1.00DL1+0.90DL1+1.50DL1 (A)**  
**Esforços seccionais:**  
 Nsd = -205,94 (kN)    Msd<sub>y</sub> = -539,37 (kN\*m)    Msd<sub>z</sub> = 59,03 (kN\*m)

**GaLa Reinforcement Professional**

**Estudo da secção a partir dos esforços determinados no Robot com recurso software Gala.**

**Materials**

Concrete: C25/30  
 SSR: Parabolic - linear

Reinforcing steel: S500  
 SSR: Standard

f<sub>ck</sub> = 25.00 MPa    f<sub>yk</sub> = 500.00 MPa  
 E<sub>c</sub> = 30471.58 MPa    E<sub>s</sub> = 200000.00 MPa  
 e<sub>c2u</sub> = -3.500 o/oo    e<sub>su</sub> = 10.000 o/oo  
 e<sub>c2</sub> = -2.000 o/oo  
 n = 2.00

**Factors**

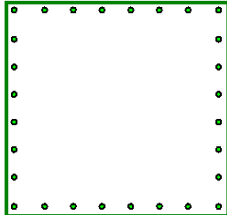
Concrete: gama\_c = 1.50  
 Steel: gama\_s = 1.15

**Section**

Data [cm]

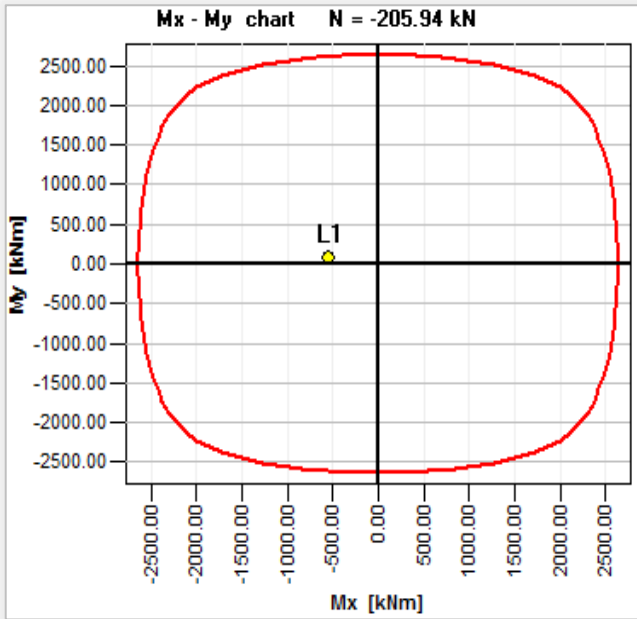
b = 160  
 h = 160

**28 φ20**



**Ábaco resistente de cálculo (N-My-Mz)**

**N < 0 = Tracção**



**Check Loads**

Scale 12

Loads: 1

Load	Mx	My
L1	-539.37	59.03

Reset    OK

**Conclusões:** De referir que as armaduras obtidas através do *Gala*, verificam a segurança ao E.L.U. de Flexão Composta. Para os restantes pilares do grupo 5, poder-se-á também concluir que cumprem as condições de segurança.

Figura 3.30 – Verificação do pilar (P.(6-L)) do grupo 5.

b) Resistência ao Esforço Transverso

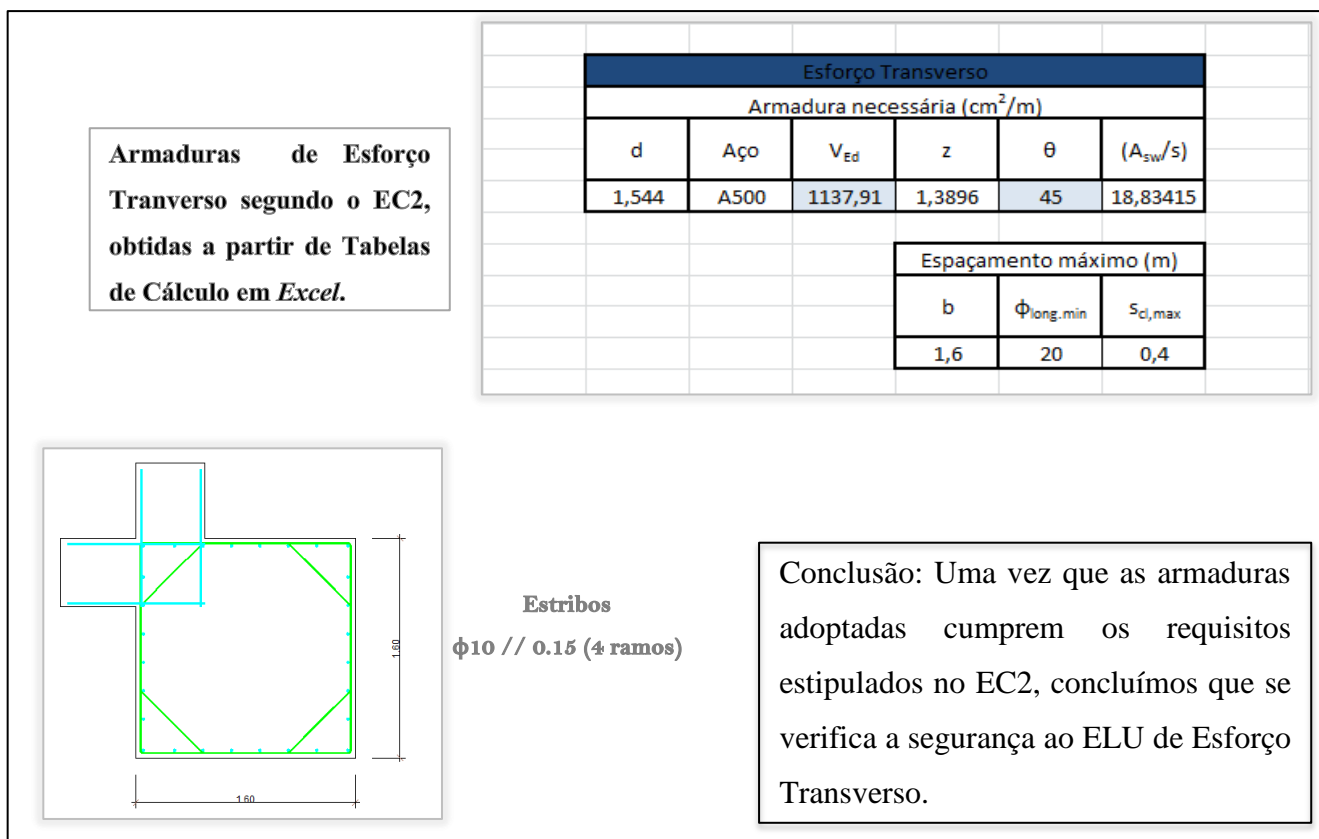


Figura 3.31 – Verificação do pilar (P.(6-L)) do grupo 5.

❖ Estado Limite de Serviço

a) Controlo da Fendilhacão (Método indirecto)

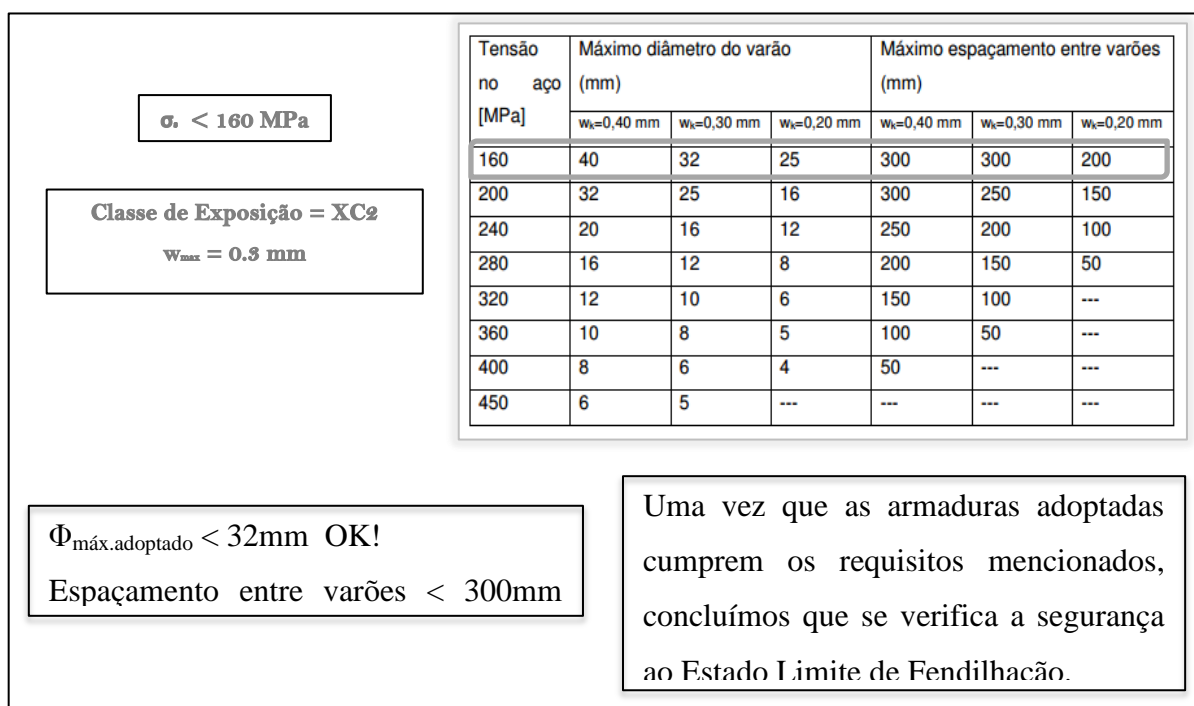


Figura 3.32 – Verificação do pilar (P.(6-L)) do grupo 5.

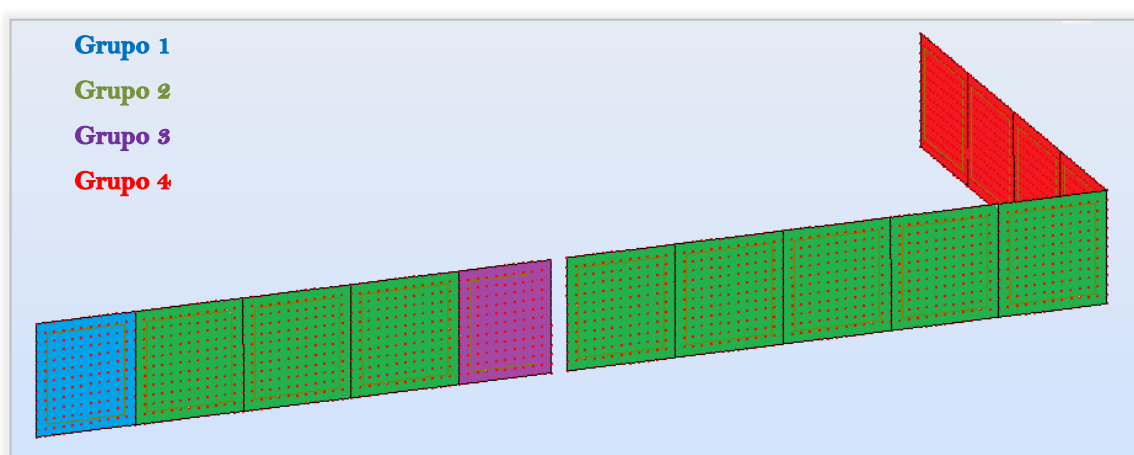
Quadro resumo das armaduras adoptadas para os pilares.

Pilar	Flexão		Esforço Transverso	
	<i>Armadura Longitudinal adoptada</i>		<i>Armadura Transversal adoptada</i>	
P.(1-A)	16 $\phi$ 25		$\phi$ 10 // 0,20 (4 ramos)	
P.(1-B)	16 $\phi$ 25		$\phi$ 10 // 0,20 (4 ramos)	
P.(6-A)	16 $\phi$ 25		$\phi$ 10 // 0,20 (4 ramos)	
P.(1-L)	16 $\phi$ 25		$\phi$ 10 // 0,20 (4 ramos)	
P.(2-A)	14 $\phi$ 20 + 6 $\phi$ 16		$\phi$ 10 // 0,20 (6 ramos)	
P.(3-A)	14 $\phi$ 20 + 6 $\phi$ 16		$\phi$ 10 // 0,20 (6 ramos)	
P.(4-A)	14 $\phi$ 20 + 6 $\phi$ 16		$\phi$ 10 // 0,20 (6 ramos)	
P.(5-A)	14 $\phi$ 20 + 6 $\phi$ 16		$\phi$ 10 // 0,20 (6 ramos)	
P.(1-C)	14 $\phi$ 20 + 6 $\phi$ 16		$\phi$ 10 // 0,20 (6 ramos)	
P.(1-D)	14 $\phi$ 20 + 6 $\phi$ 16		$\phi$ 10 // 0,20 (6 ramos)	
P.(1-E)	14 $\phi$ 20 + 6 $\phi$ 16		$\phi$ 10 // 0,20 (6 ramos)	
P.(1-F)	14 $\phi$ 20 + 6 $\phi$ 16		$\phi$ 10 // 0,20 (6 ramos)	
P.(1-G)	14 $\phi$ 20 + 6 $\phi$ 16		$\phi$ 10 // 0,20 (6 ramos)	
P.(1-H)	14 $\phi$ 20 + 6 $\phi$ 16		$\phi$ 10 // 0,20 (6 ramos)	
P.(1-I)	14 $\phi$ 20 + 6 $\phi$ 16		$\phi$ 10 // 0,20 (6 ramos)	
P.(1-J)	14 $\phi$ 20 + 6 $\phi$ 16	$\phi$ 10 // 0,20 (6 ramos)		
P.(6-B)	18 $\phi$ 25 + 14 $\phi$ 20	$\phi$ 10 // 0,15 (4 ramos)		
P.(6-C)	18 $\phi$ 25 + 14 $\phi$ 20	$\phi$ 10 // 0,15 (4 ramos)		
P.(6-D)	18 $\phi$ 25 + 14 $\phi$ 20	$\phi$ 10 // 0,15 (4 ramos)		
P.(6-E)	18 $\phi$ 25 + 14 $\phi$ 20	$\phi$ 10 // 0,15 (4 ramos)		
P.(6-F)	18 $\phi$ 25 + 14 $\phi$ 20	$\phi$ 10 // 0,15 (4 ramos)		
P.(6-G)	18 $\phi$ 25 + 14 $\phi$ 20	$\phi$ 10 // 0,15 (4 ramos)		
P.(6-H)	18 $\phi$ 25 + 14 $\phi$ 20	$\phi$ 10 // 0,15 (4 ramos)		
P.(6-I)	18 $\phi$ 25 + 14 $\phi$ 20	$\phi$ 10 // 0,15 (4 ramos)		
P.(6-J)	18 $\phi$ 25 + 14 $\phi$ 20	$\phi$ 10 // 0,15 (4 ramos)		
P.(6-K)	18 $\phi$ 25 + 14 $\phi$ 20	$\phi$ 10 // 0,15 (4 ramos)		
P.(2-L)	18 $\phi$ 25 + 14 $\phi$ 20	$\phi$ 10 // 0,15 (4 ramos)		
P.(3-L)	18 $\phi$ 25 + 14 $\phi$ 20	$\phi$ 10 // 0,15 (4 ramos)		
P.(4-L)	18 $\phi$ 25 + 14 $\phi$ 20	$\phi$ 10 // 0,15 (4 ramos)		
P.(5-L)	18 $\phi$ 25 + 14 $\phi$ 20	$\phi$ 10 // 0,15 (4 ramos)		
P.(6-G')	18 $\phi$ 25 + 14 $\phi$ 16	$\phi$ 10 // 0,15 (4 ramos)		
P.(6-L)	28 $\phi$ 20		$\phi$ 10 // 0,15 (4 ramos)	

### 3.3 Muros de suporte

À semelhança dos anteriores elementos em betão armado, a verificação da segurança aos Estados Limites Últimos e Estado Limite de Serviço dos muros foi efectuada através do *software Gala* e feito um estudo comparativo a partir dos resultados obtidos com recurso a tabelas de cálculo em *Excel* com base nas expressões de dimensionamento orgânico (armaduras) definidas no EC2.

Os muros foram também agrupados com base no comprimento dos mesmos que é o único factor variável (Figura 3.33).



Muro	Grupo	Largura	Altura	Vão
M.1	1	0,5	6,2	5,5
M.2	2	0,5	6,2	6
M.3	2	0,5	6,2	6
M.4	2	0,5	6,2	6
M.5	2	0,5	6,2	6
M.6	2	0,5	6,2	6
M.7	2	0,5	6,2	6
M.8	2	0,5	6,2	6
M.9	2	0,5	6,2	6
M.10	3	0,5	6,2	5,11
M.11	4	0,5	6,2	6,8
M.12	4	0,5	6,2	6,8
M.13	4	0,5	6,2	6,8
M.14	4	0,5	6,2	6,8

Figura 3.33 – Grupos de Muros de Betão Armado e geometria dos mesmos.

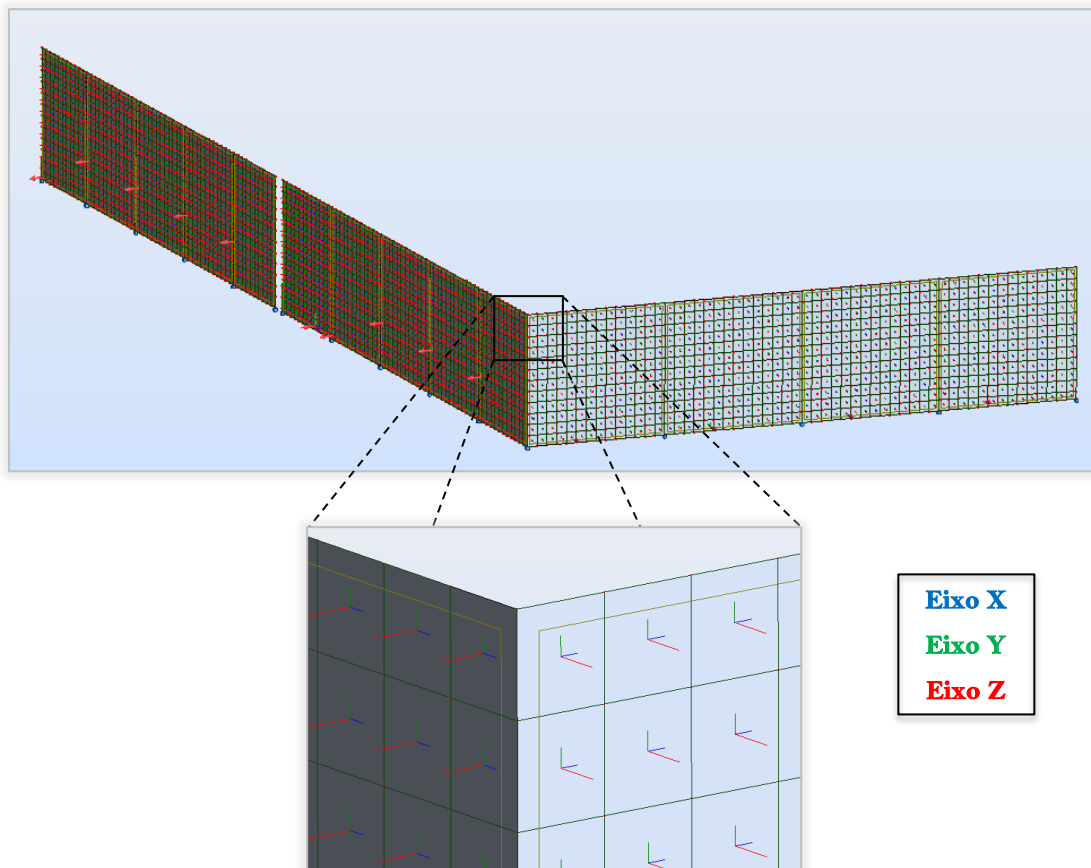


Figura 3.34 – Eixos locais dos elementos “panel”.

As combinações dos E.L.U. mais desfavoráveis são:

- ELU IMP ( $W_x$ - T+);
- ELU IMP ( $W_x$ - T-);
- ELU IMP ( $W_y$  T+);
- ELU  $W_y$  (T+);
- ELU  $W_y$  (T-).

A partir desta informação foi feito o dimensionamento orgânico (armaduras) com base nas informações recolhidas que constam nos elementos apresentados nas Figuras seguintes (Figuras 3.35 até 3.54).

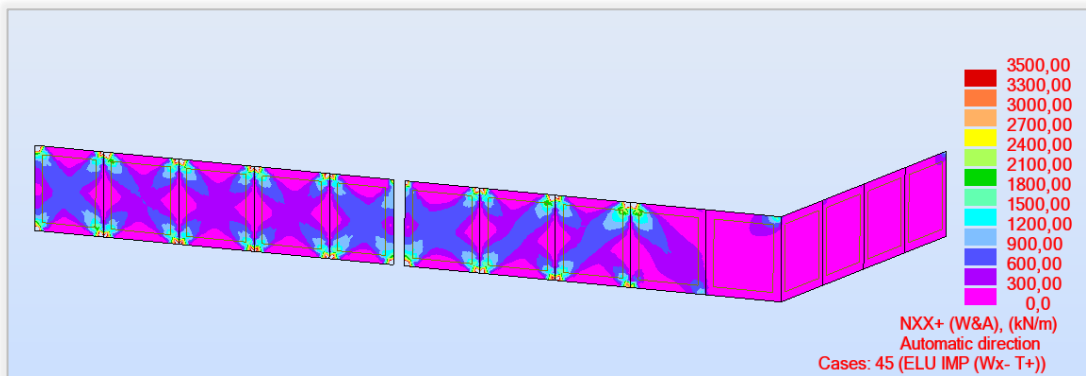
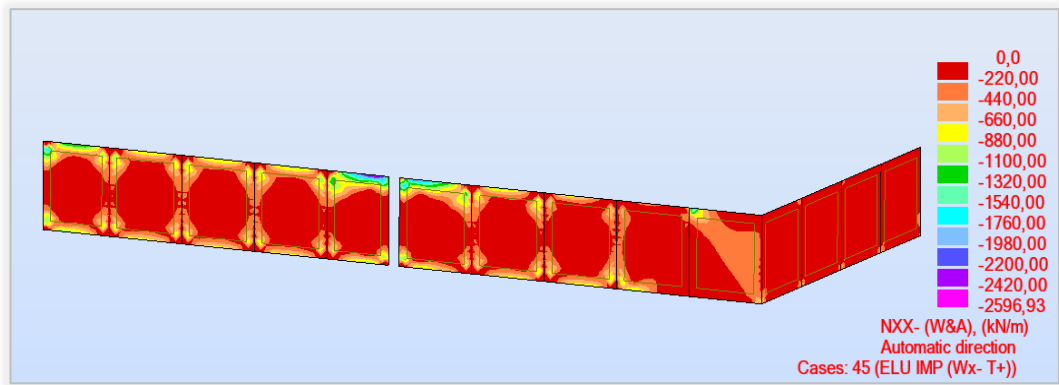


Figura 3.35 – Esforços F11 – ELU IMP (Wx- T+).

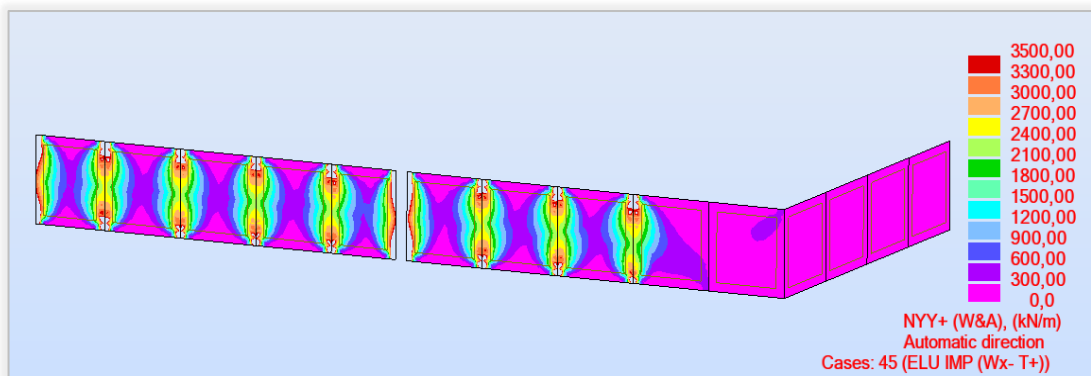
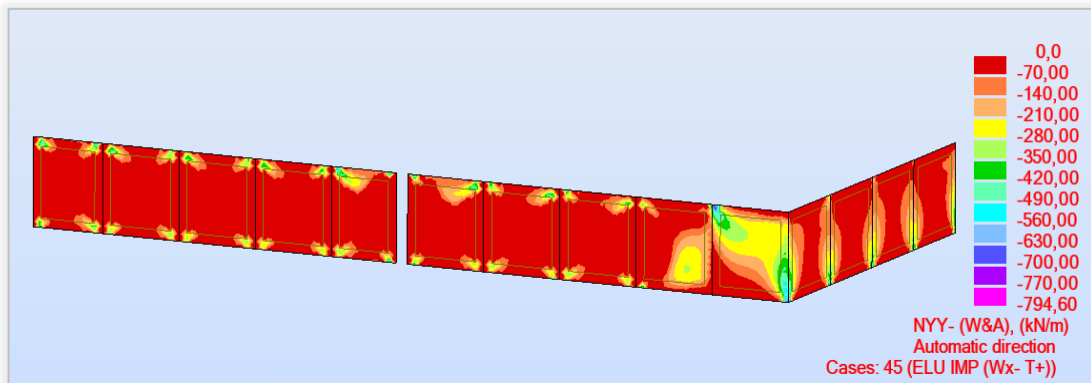


Figura 3.36 – Esforços F22 – ELU IMP (Wx- T+).

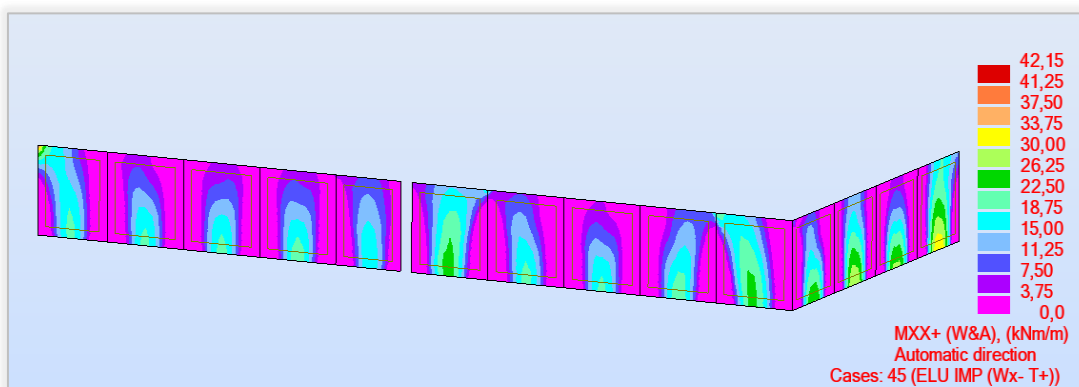
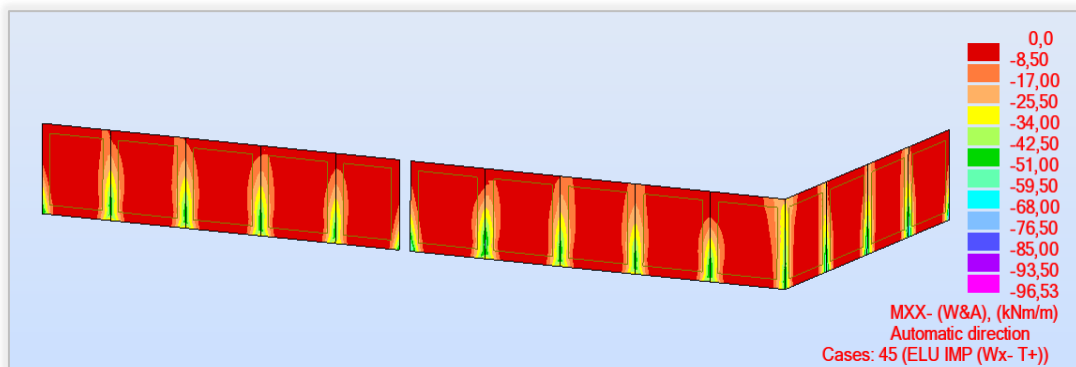


Figura 3.37 – Esforços M11 – ELU IMP (Wx- T+).

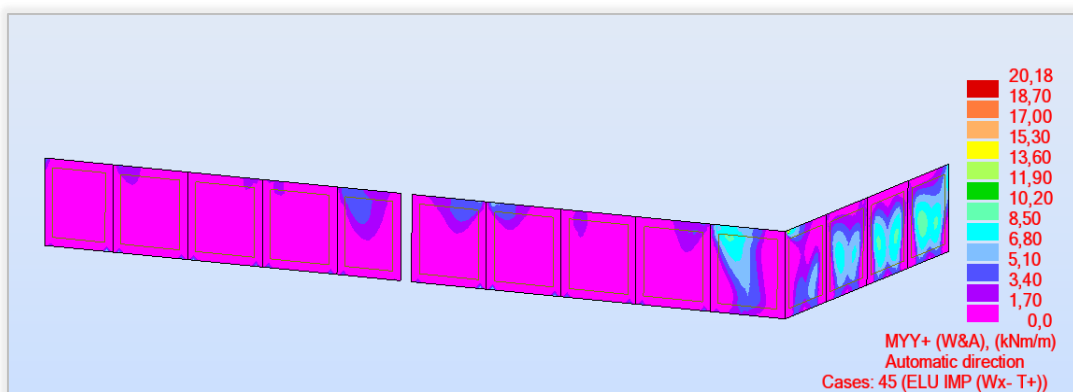
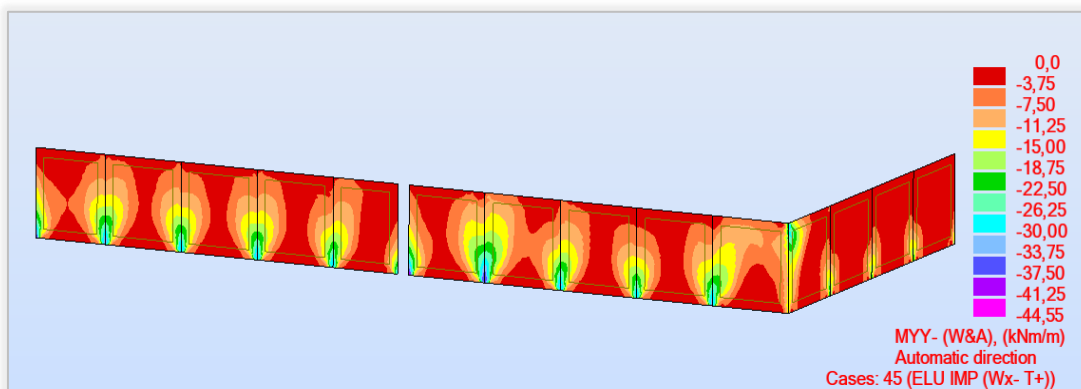


Figura 3.38 – Esforços M22 – ELU IMP (Wx- T+).

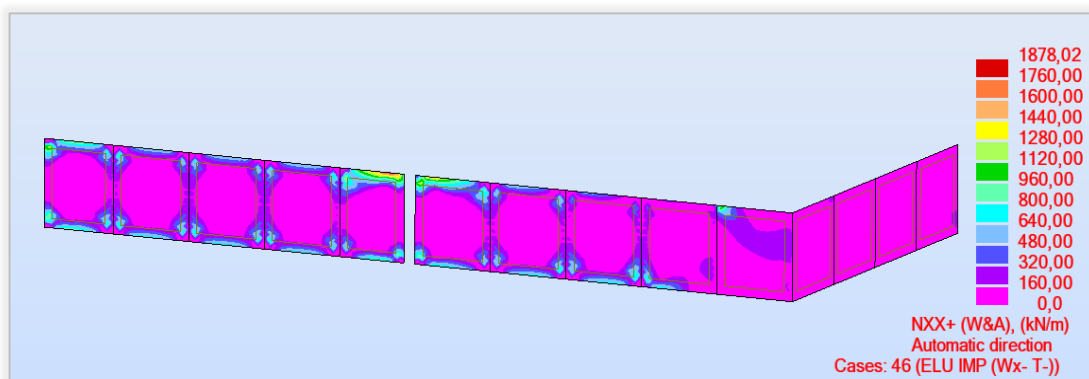
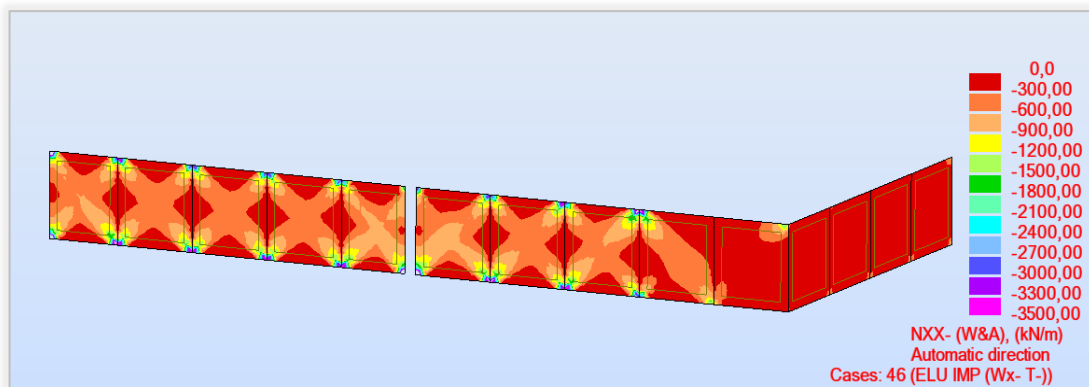


Figura 3.39 – Esforços F11 – ELU IMP (Wx- T-).

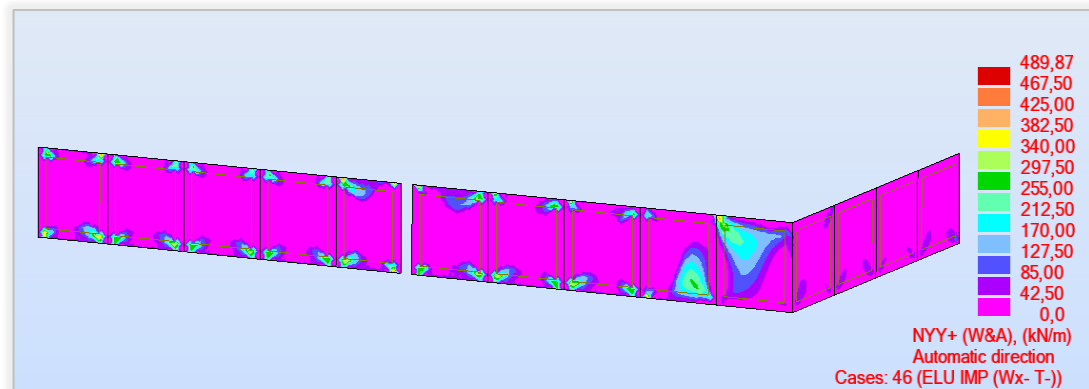
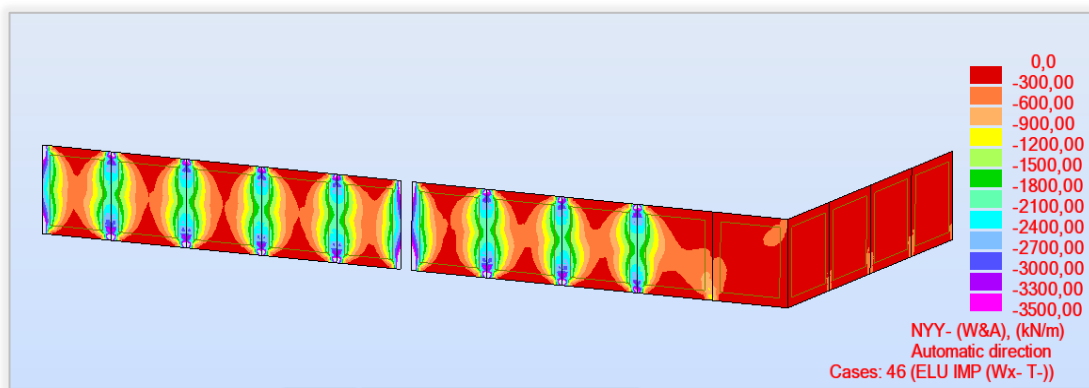


Figura 3.40 – Esforços F22 – ELU IMP (Wx- T-).

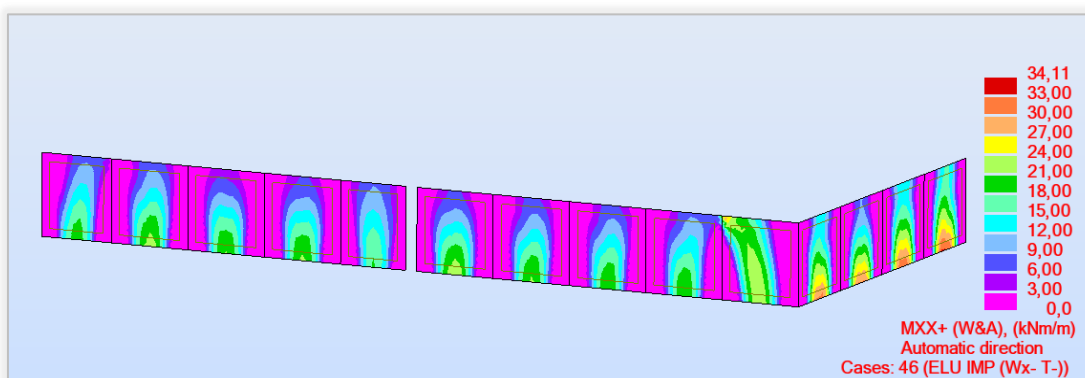
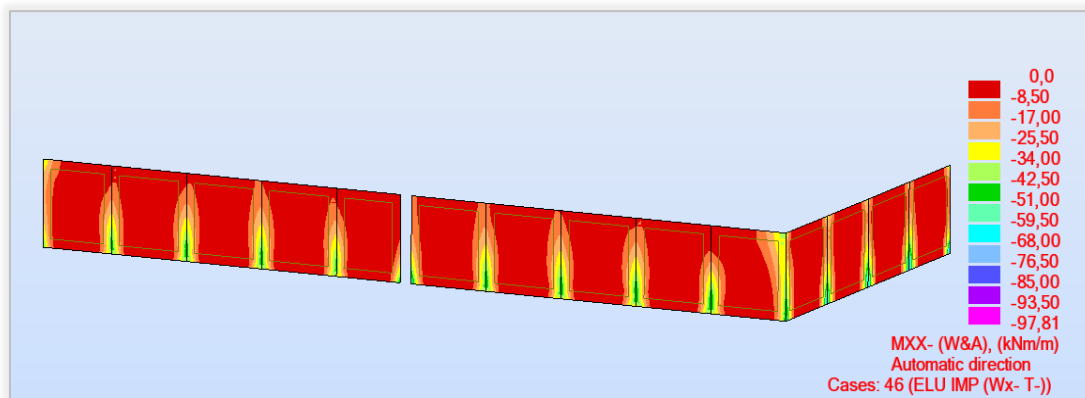


Figura 3.41 – Esforços M11 – ELU IMP (Wx- T-).

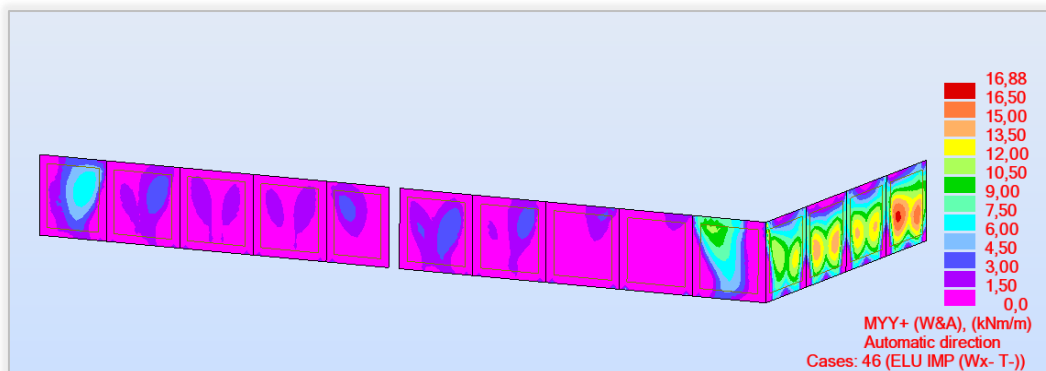
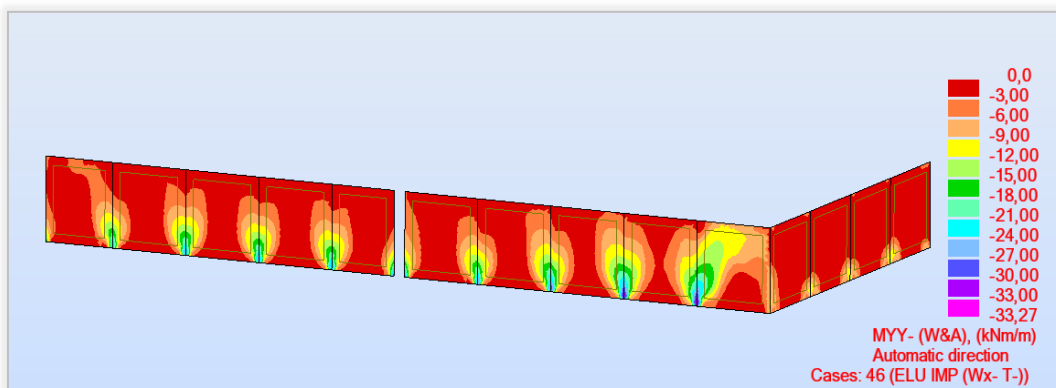


Figura 3.42 – Esforços M22 – ELU IMP (Wx- T-).

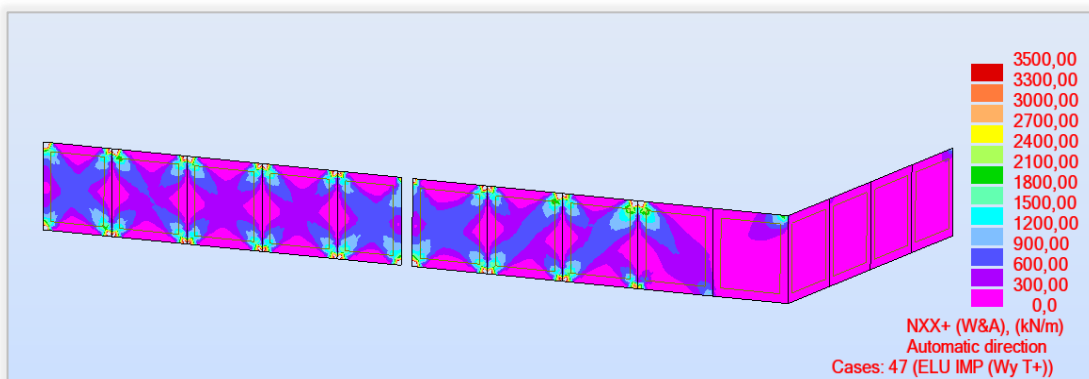
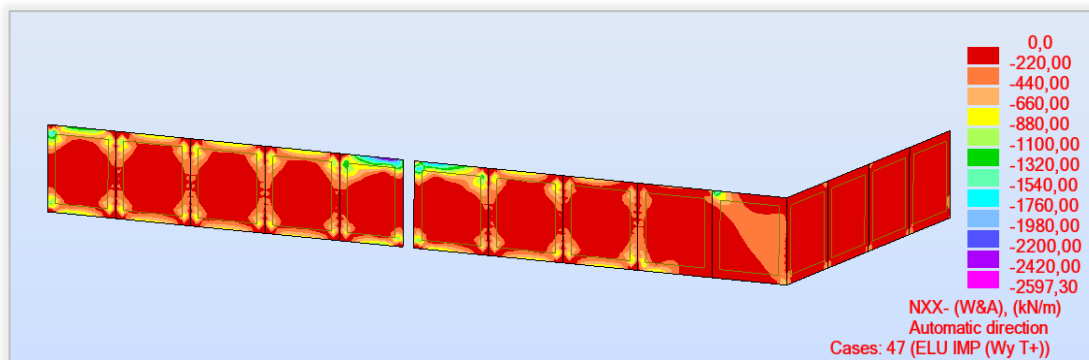


Figura 3.43 – Esforços F11 – ELU IMP (Wy T+).

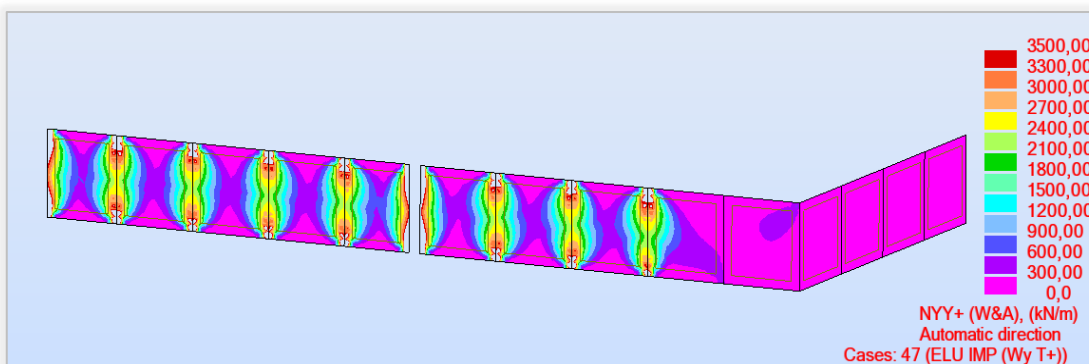
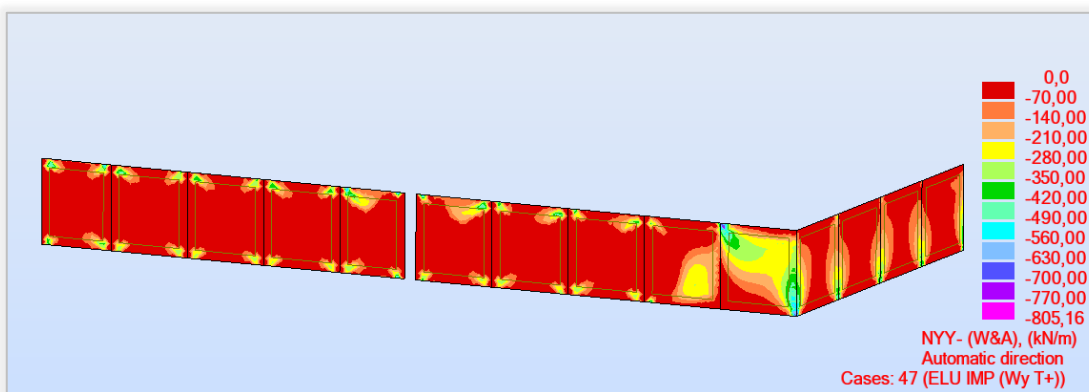


Figura 3.44 – Esforços F22 – ELU IMP (Wy T+).

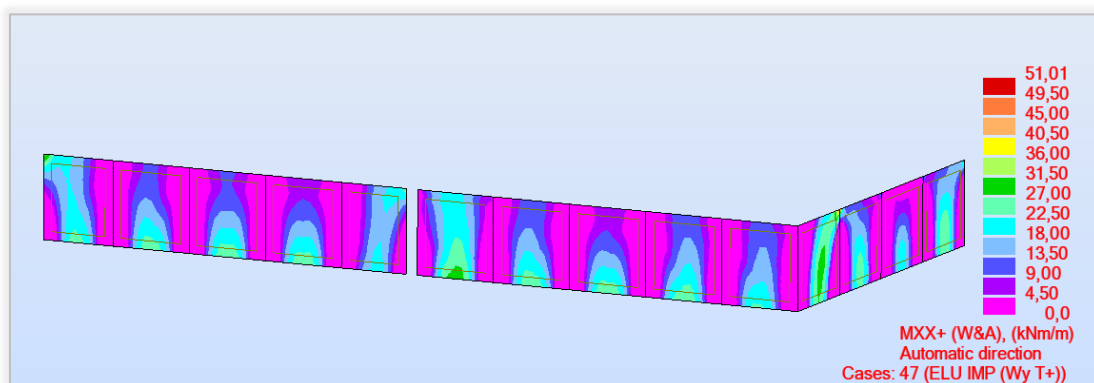
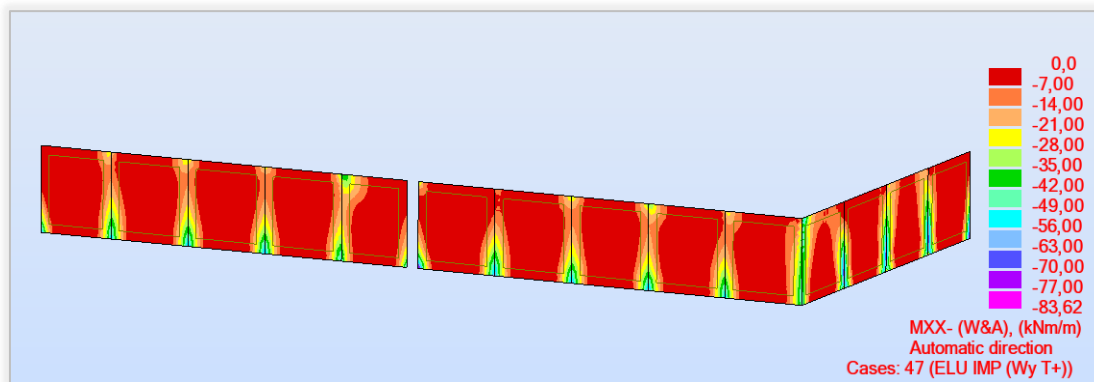


Figura 3.45 – Esforços M11 – ELU IMP (Wy T+).

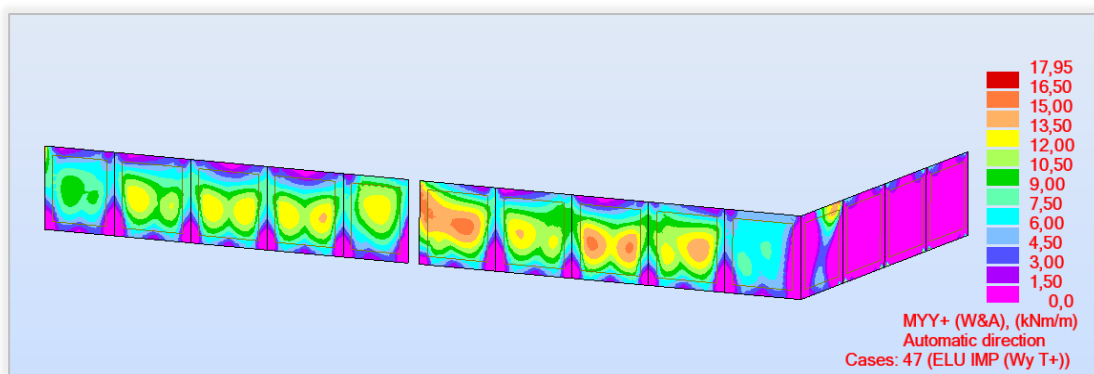
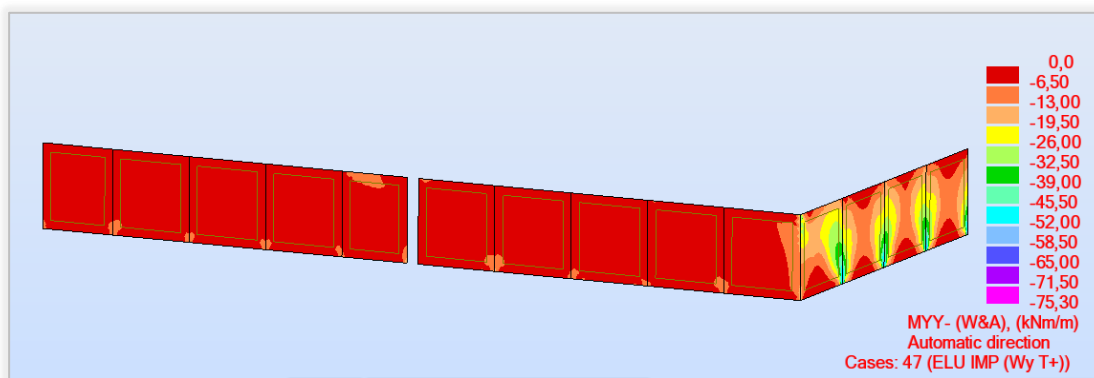


Figura 3.46 – Esforços M22 – ELU IMP (Wy T+).

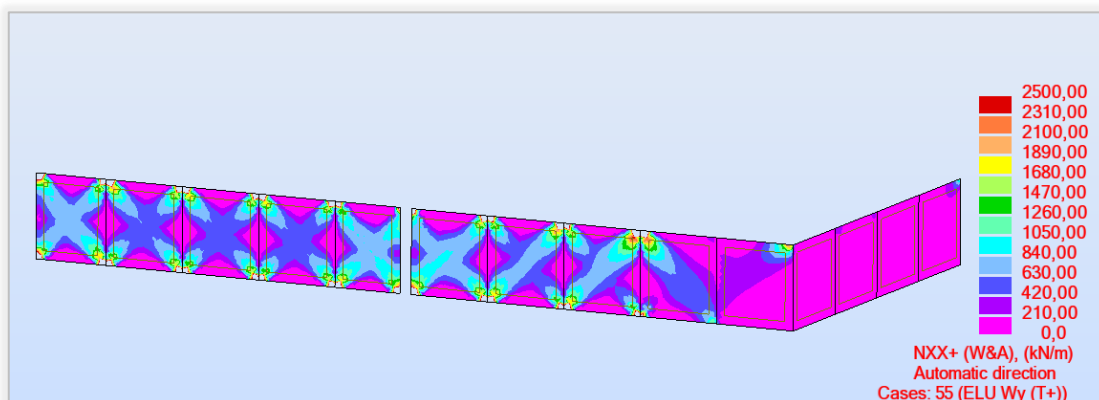
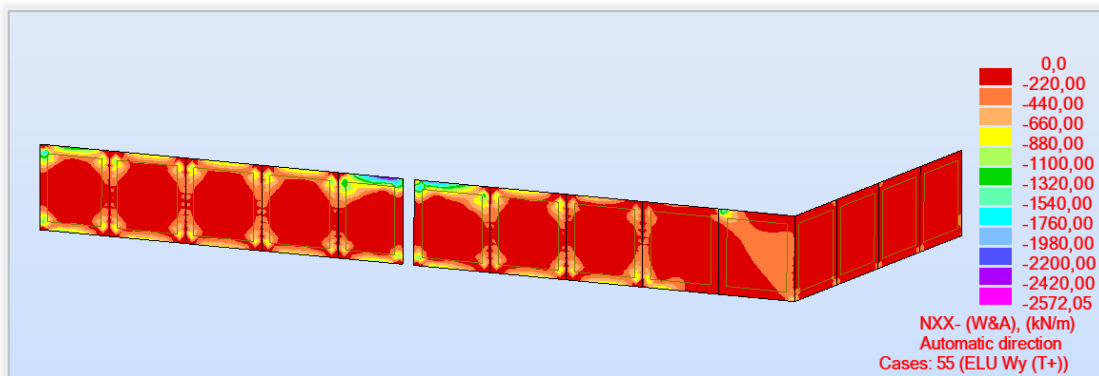


Figura 3.47 – Esforços F11 – ELU Wy (T+).

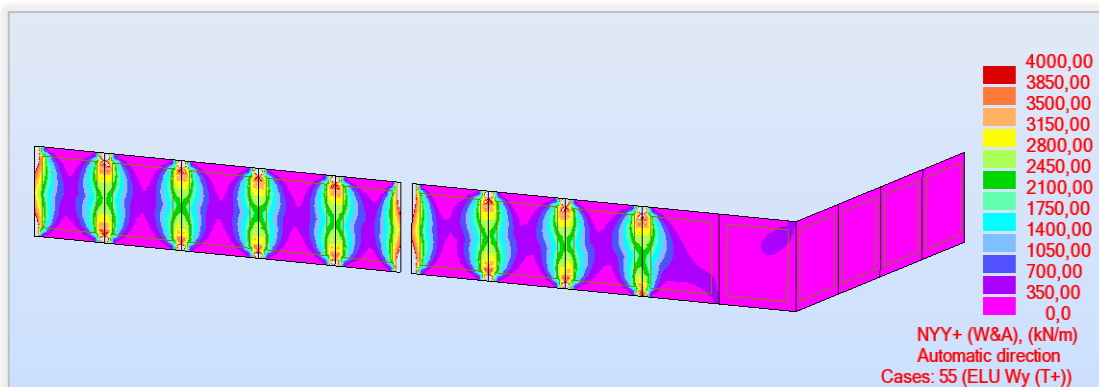
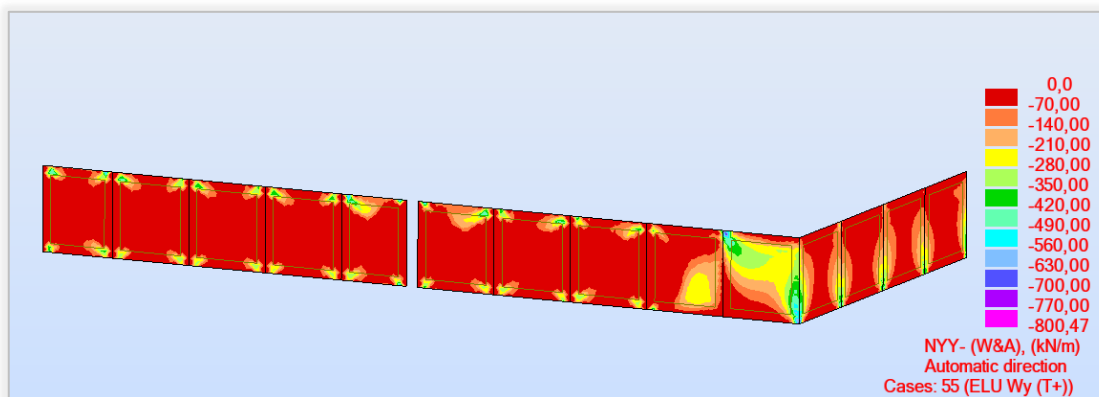


Figura 3.48 – Esforços F22 – ELU Wy (T+).

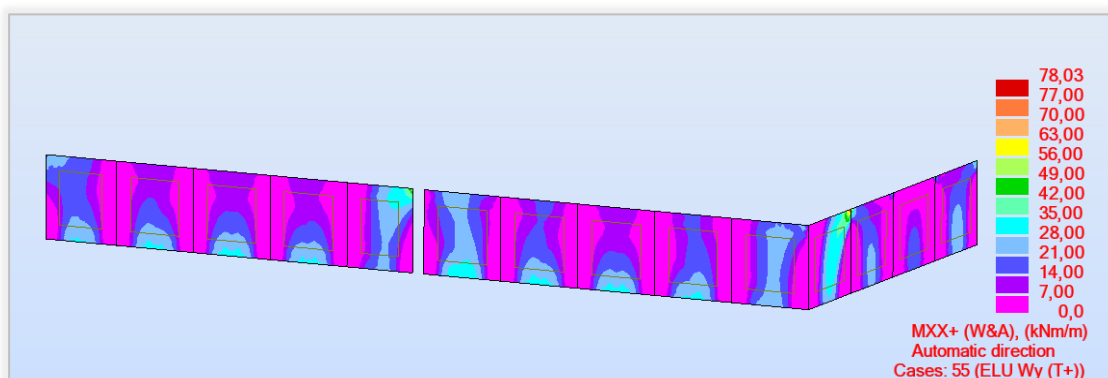
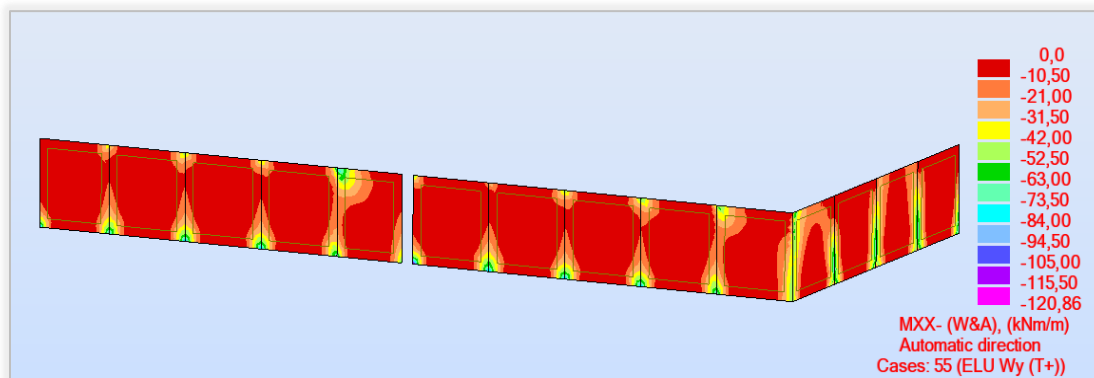


Figura 3.49 – Esforços M11 – ELU Wy (T+).

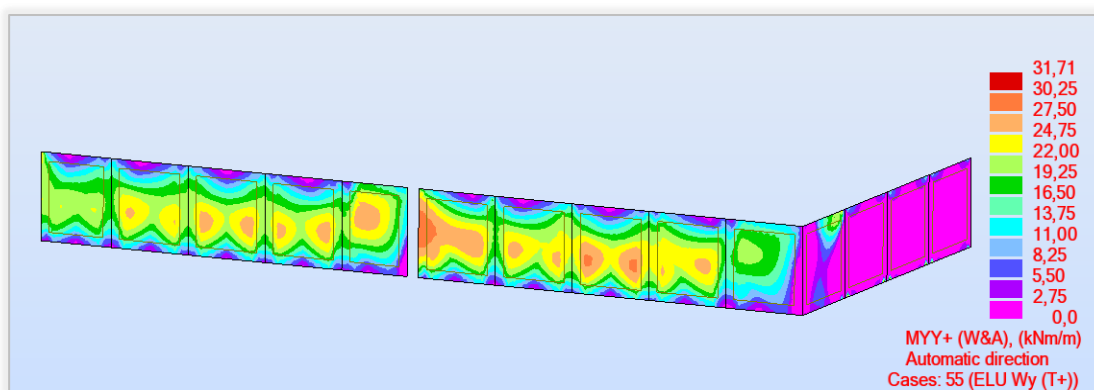
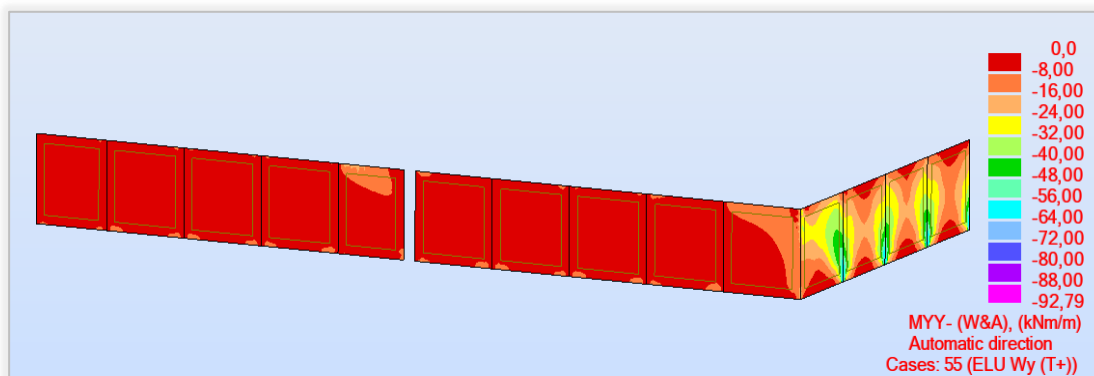


Figura 3.50 – Esforços M22 – ELU Wy (T+).

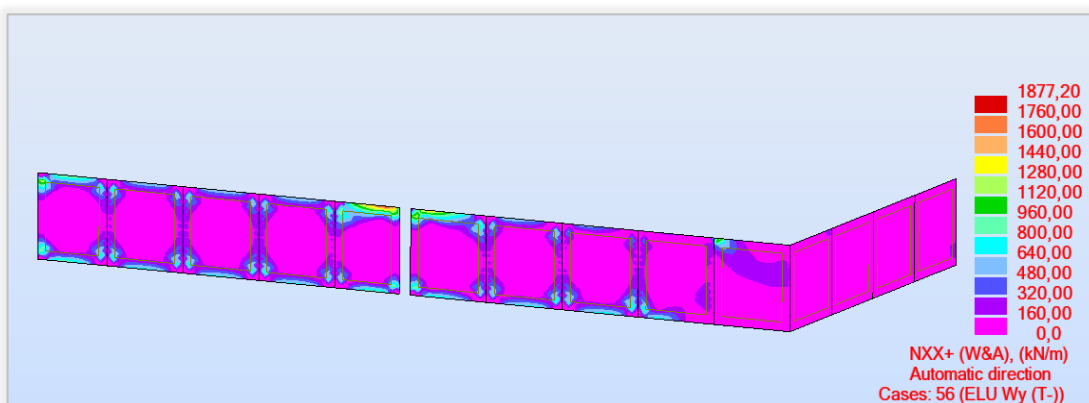
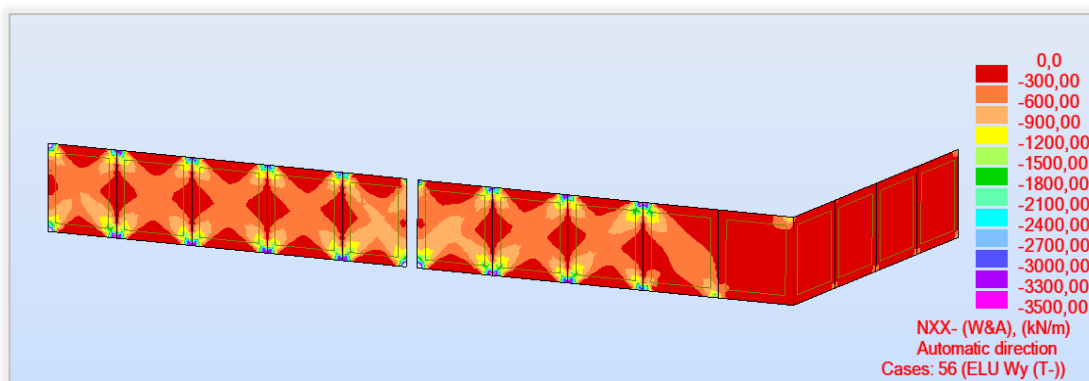


Figura 3.51 – Esforços F11 – ELU Wy (T-).

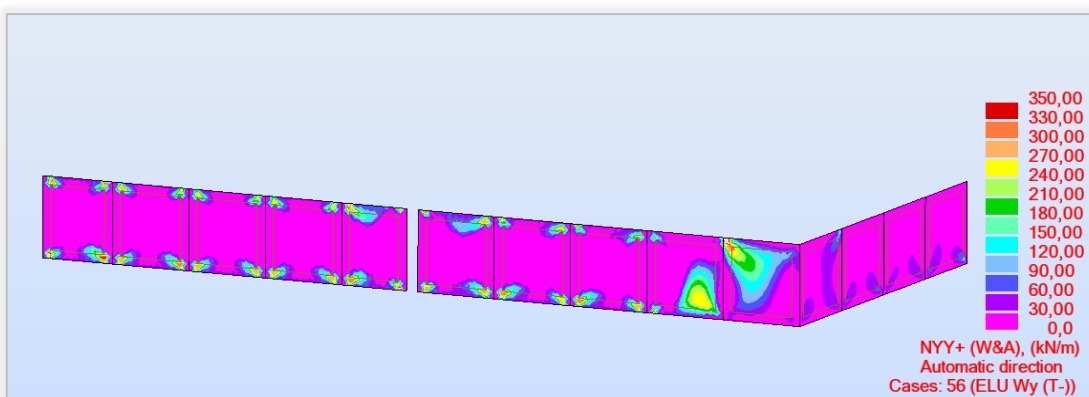
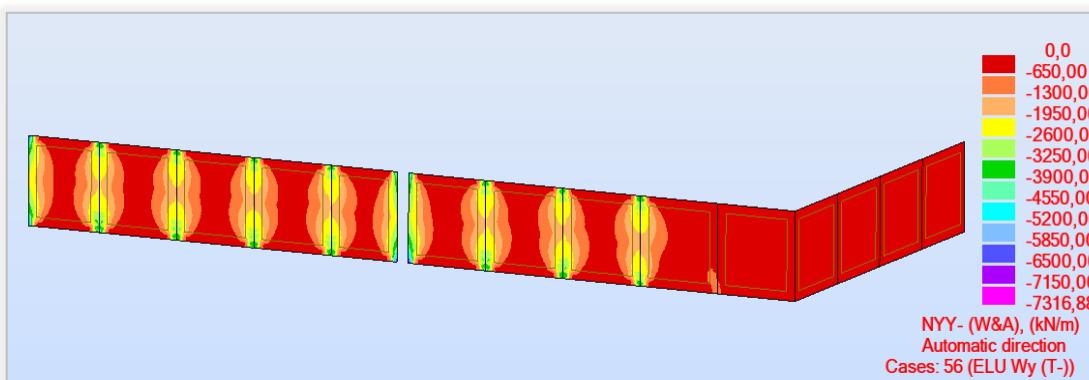


Figura 3.52 – Esforços F22 – ELU Wy (T-).

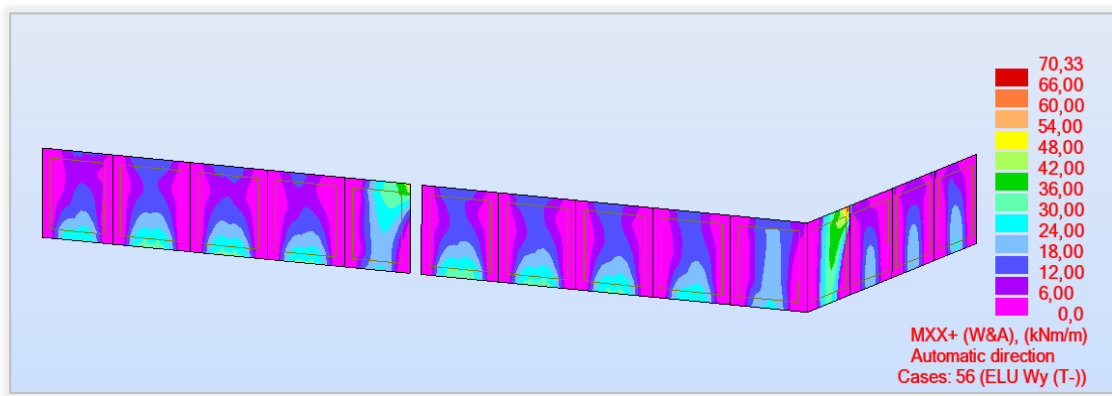
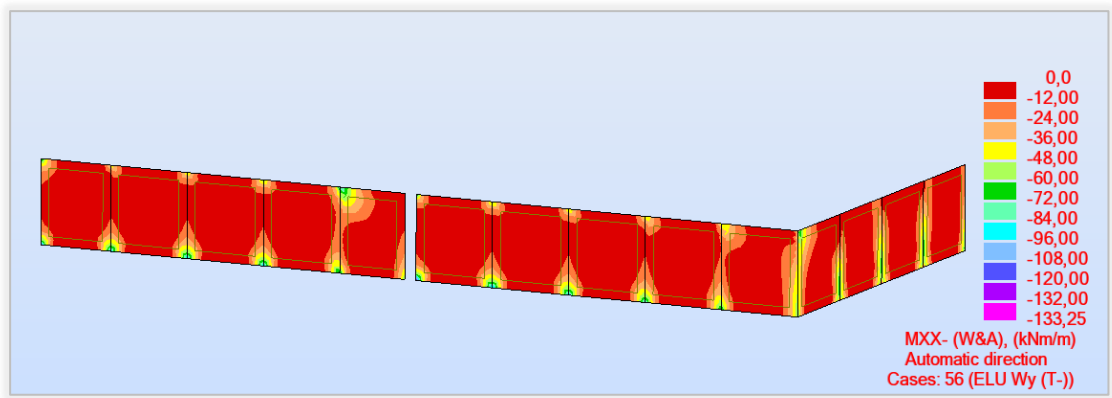


Figura 3.53 – Esforços M11 – ELU Wy (T-).

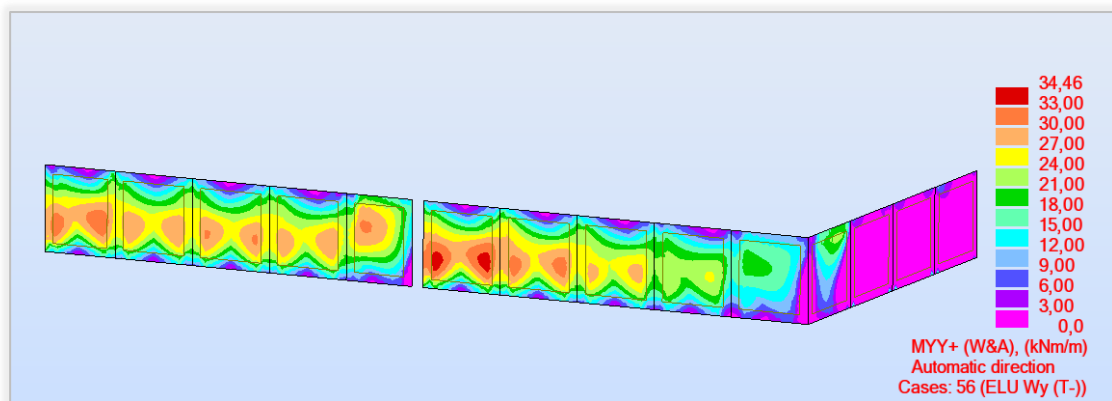
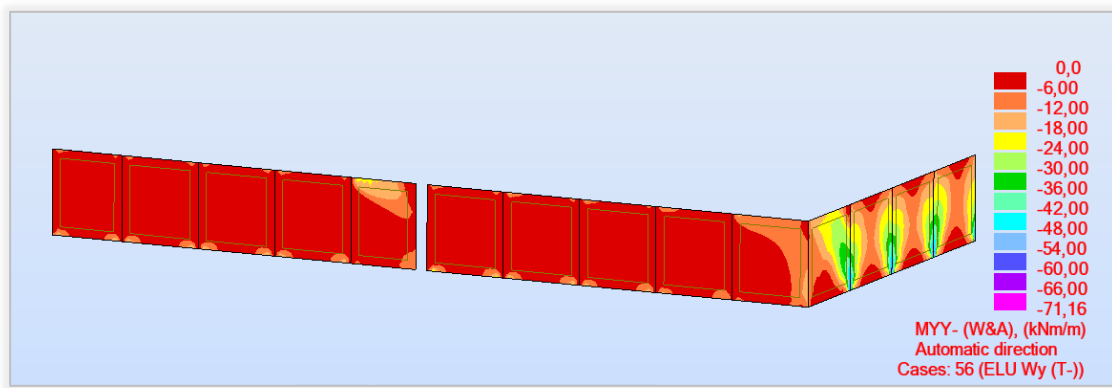


Figura 3.54 – Esforços M22 – ELU Wy (T-).

Tabela 3.1 – Tabela Resumo dos Esforços de Cálculo.

Combinação	F11 (kN/m)		F22 (kN/m)		M11 (kNm/m)		M22 (kNm/m)	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
<b>ELU IMP (W<sub>x</sub>- T+)</b>	-700	900	-400	900	-25	22,5	-20	9
<b>ELU IMP (W<sub>x</sub>- T-)</b>	-900	200	-1200	170	-25	30	-18	16
<b>ELU IMP (W<sub>y</sub> T+)</b>	-700	900	-400	900	-20	27	-32,5	15
<b>ELU W<sub>y</sub> (T+)</b>	-700	850	-400	900	-30	28	-40	25
<b>ELU W<sub>y</sub> (T-)</b>	-900	200	-2000	240	-36	36	-30	33


❖ Estados Limites Últimos

**Armaduras Longitudinais** – foram determinadas a partir dos esforços de cálculo F11/M11 com base nas disposições regulamentares da EN 1992 e a partir do *software Gala*.

**Armaduras Longitudinais**  
minimas segundo o EC2.

Armadura Horizontal		
Armadura mínima (cm <sup>2</sup> /p.m.l.)		
Ac	A <sub>s,vmin</sub>	A <sub>s,hmin</sub>
0,5	10	2,5

---

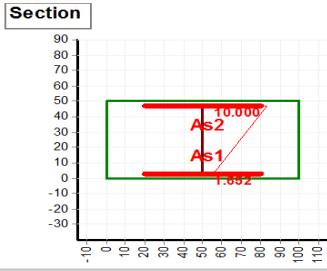


**Estudo da secção a partir dos esforços determinados no Robot com recurso software Gala.**

**General**

Design code: Eurocode 2  
Analysis: Design section

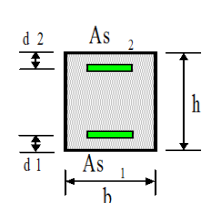
**Section**



Data [cm]

b = 100  
h = 50  
  
d1 = 3  
d2 = 3

**Loads: N, Mx**  
N>0 is compression !



**Materials**

Concrete: C25/30  
SSR: Parabolic - linear

Reinforcing steel: S500  
SSR: Standard

f<sub>ck</sub> = 25.00 MPa  
E<sub>c</sub> = 30471.58 MPa  
e<sub>c2u</sub> = -3.500 o/oo  
e<sub>c2</sub> = -2.000 o/oo  
n = 2.00

f<sub>yk</sub> = 500.00 MPa  
E<sub>s</sub> = 200000.00 MPa  
e<sub>su</sub> = 10.000 o/oo

**Factors**

Concrete: gama\_c = 1.50  
Steel: gama\_s = 1.15

**Reinforcement**

Symmetric: As1=As2

**Loads**

Load	N [kN]	Mx [kNm]
L1	-900	27

**Results**

	Area [cm <sup>2</sup> ]	esi [o/oo]	Stress [MPa]
As2	11.76	10.000	434.78
As1	11.76	1.652	330.43

Figura 3.55 – Elementos referentes ao cálculo das Armaduras Horizontais.


Armaduras Verticais - determinada a partir dos esforços de cálculo F22/M22 com base nos elementos a seguir indicados:

**Armaduras Verticais mínimas, máximas e distâncias máximas entre varões segundo o EC2.**

Armadura Vertical					
Armadura mínima (cm <sup>2</sup> / por metro linear)					
Betão	Aço	Secção			A <sub>s,vmin</sub>
		b (m)	h (m)	Ac	
C25/30	A500	0,5	1	0,5	10

Armadura máxima (cm <sup>2</sup> / por metro linear)			
Secção			A <sub>s,vmax</sub>
b (m)	h (m)	Ac	
0,5	1	0,5	200

Distância máxima entre 2 varões verticais adjacentes (m)	
Espessura da parede (m)	s <sub>max</sub>
0,5	0,4



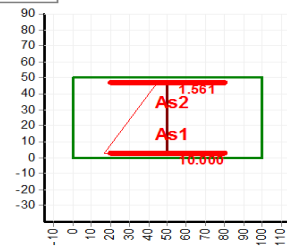
**Estudo da secção a partir dos esforços determinados no Robot com recurso software Gala.**

**General**

Design code: Eurocode 2  
Analysis: Design section

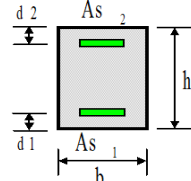
**Loads: N, Mx**  
N>0 is compression !

**Section**



Data [cm]

b = 100  
h = 50  
  
d1 = 3  
d2 = 3



**Materials**

Concrete: C25/30  
SSR: Parabolic - linear

fck = 25.00 MPa  
Ec = 30471.58 MPa  
ec2u = -3.500 o/oo  
ec2 = -2.000 o/oo  
n = 2.00

Reinforcing steel: S500  
SSR: Standard

fyk = 500.00 MPa  
Es = 200000.00 MPa  
esu = 10.000 o/oo

**Factors**

Concrete: gama\_c = 1.50  
Steel: gama\_s = 1.15

**Reinforcement**

Symmetric: As1=As2

**Loads**

Load	N [kN]	Mx [kNm]
L1	-900	-32.5

**Results**

	Area [cm <sup>2</sup> ]	esi [o/oo]	Stress [MPa]
As2	12.05	1.561	312.18
As1	12.05	10.000	434.78

Figura 3.56 – Elementos referentes ao cálculo das Armaduras Verticais.

## Tabelas resumo:

Tabela 3.2 – Tabela resumo das armaduras necessárias.

	Espessura (m)	F11 (kN/m)	M11 (kNm/m)	A <sub>s</sub> (horizontal) (cm <sup>2</sup> /m)		F22 (kN/m)	M22 (kNm/m)	A <sub>s</sub> (vertical) (cm <sup>2</sup> /m)	
				Interior	Exterior			Interior	Exterior
Muro de Suporte	0,5	900	27	11,76	11,76	900	-32,5	12,05	12,05
				φ16//25	φ16//25			φ16//25	φ16//25
				+ φ12//25 (12,57)	+ φ12//25 (12,57)			+ φ12//25 (12,57)	+ φ12//25 (12,57)

❖ Estado Limite de Serviço

Para o Controlo da Fendilhação recorreu-se também ao *software Gala* que permite determinar a espessura da abertura das fendas com base nos Esforços mais desfavoráveis (Figura 3.57).

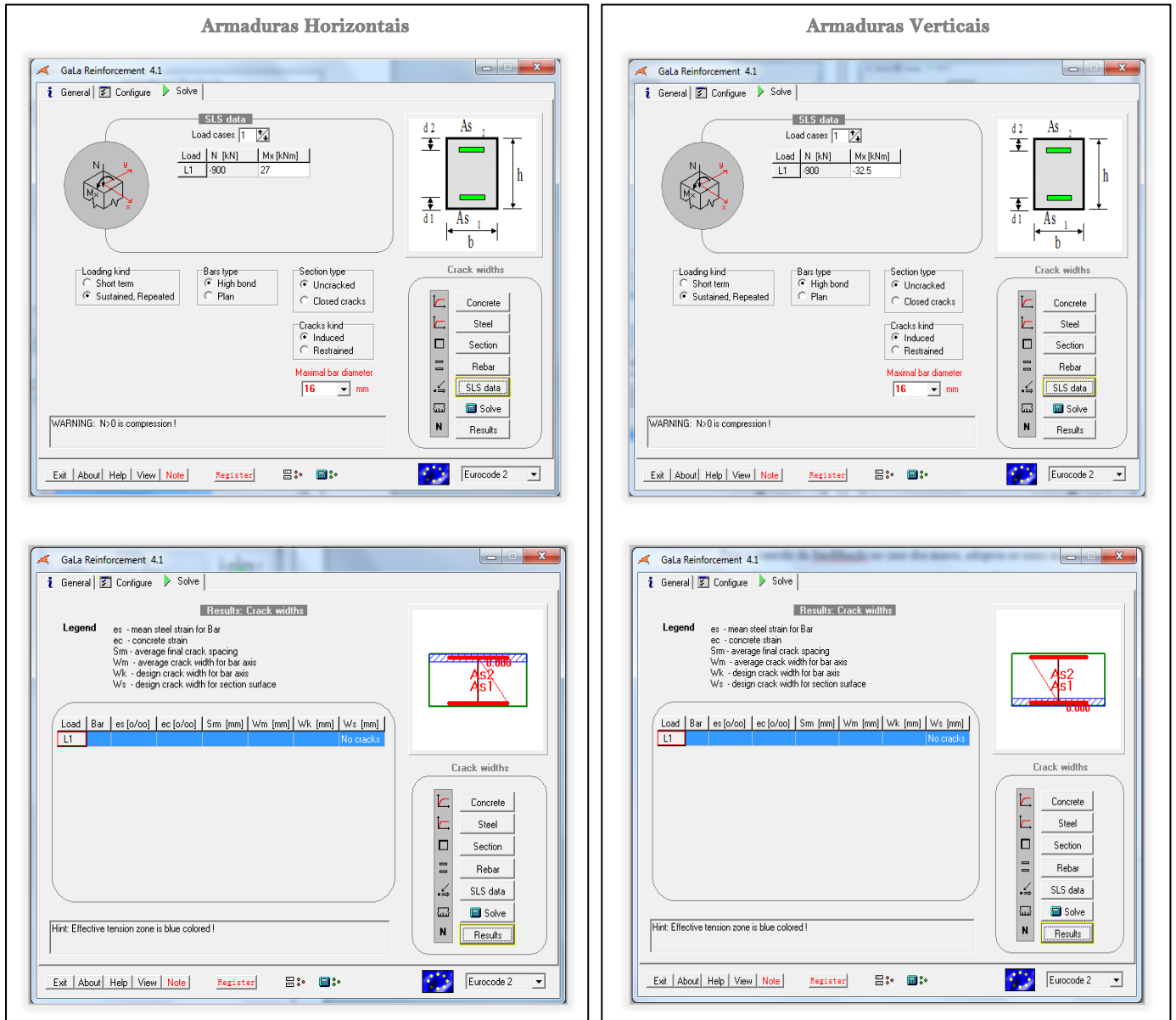
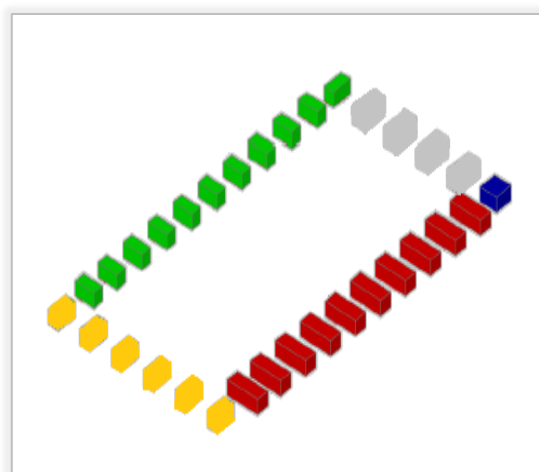


Figura 3.57 – Elementos referentes à abertura de fendas nos muros.

### 3.4 Fundações

O dimensionamento das sapatas foi feito em função da sua geometria com base num pré-dimensionamento feito previamente (Figura 3.58).



**Grupo 1**

**Grupo 2**

**Grupo 3**

**Grupo 4**

**Grupo 5**

Sapata	Grupo	Pilar (m)		Dimensões Adoptadas (m)		Altura Adoptada
		a (x)	b (y)	A (x)	B (x)	H (m)
S5 (A-1)	5	1	1	4	2	1,5
S5 (A-2)	5	1	1	4	2	1,5
S5 (A-3)	5	1	1	4	2	1,5
S5 (A-4)	5	1	1	4	2	1,5
S5 (A-5)	5	1	1	4	2	1,5
S5 (A-6)	5	1	1	4	2	1,5
S1 (B-6)	1	1,6	1	5,0	2,2	1,5
S1 (C-6)	1	1,6	1	5,0	2,2	1,5
S1 (D-6)	1	1,6	1	5,0	2,2	1,5
S1 (E-6)	1	1,6	1	5,0	2,2	1,5
S1 (F-6)	1	1,6	1	5,0	2,2	1,5
S1 (G-6)	1	1,6	1	5,0	2,2	1,5
S1 (H-6)	1	1,6	1	5,0	2,2	1,5
S1 (I-6)	1	1,6	1	5,0	2,2	1,5
S1 (J-6)	1	1,6	1	5,0	2,2	1,5
S1 (K-6)	1	1,6	1	5,0	2,2	1,5
S2 (L-6)	2	1,6	1,6	3,0	3,0	1,5
S3 (L-5)	3	1,6	1	5,0	2,2	1,5
S3 (L-4)	3	1,6	1	5,0	2,2	1,5
S3 (L-3)	3	1,6	1	5,0	2,2	1,5
S3 (L-2)	3	1,6	1	5,0	2,2	1,5
S4 (L-1)	4	1	1	4	2	1,5
S4 (K-1)	4	1	1	4	2	1,5
S4 (J-1)	4	1	1	4	2	1,5
S4 (I-1)	4	1	1	4	2	1,5
S4 (H-1)	4	1	1	4	2	1,5
S4 (G-1)	4	1	1	4	2	1,5
S4 (F-1)	4	1	1	4	2	1,5
S4 (E-1)	4	1	1	4	2	1,5
S4 (D-1)	4	1	1	4	2	1,5
S4 (C-1)	4	1	1	4	2	1,5
S4 (B-1)	4	1	1	4	2	1,5

Figura 3.58 – Características geométricas das sapatas.

Nos cálculos considerou-se que a cota superior das fundações estava a -1 metro relativamente ao nível do terreno.

A determinação das Tensões no Solo de Fundação foi feita através do ábaco de Montoya (Anexos).

Grupos 1 e 3 – Sapatas com 5.0x2.2 x1.5

❖ Verificação da segurança do Solo de Fundação

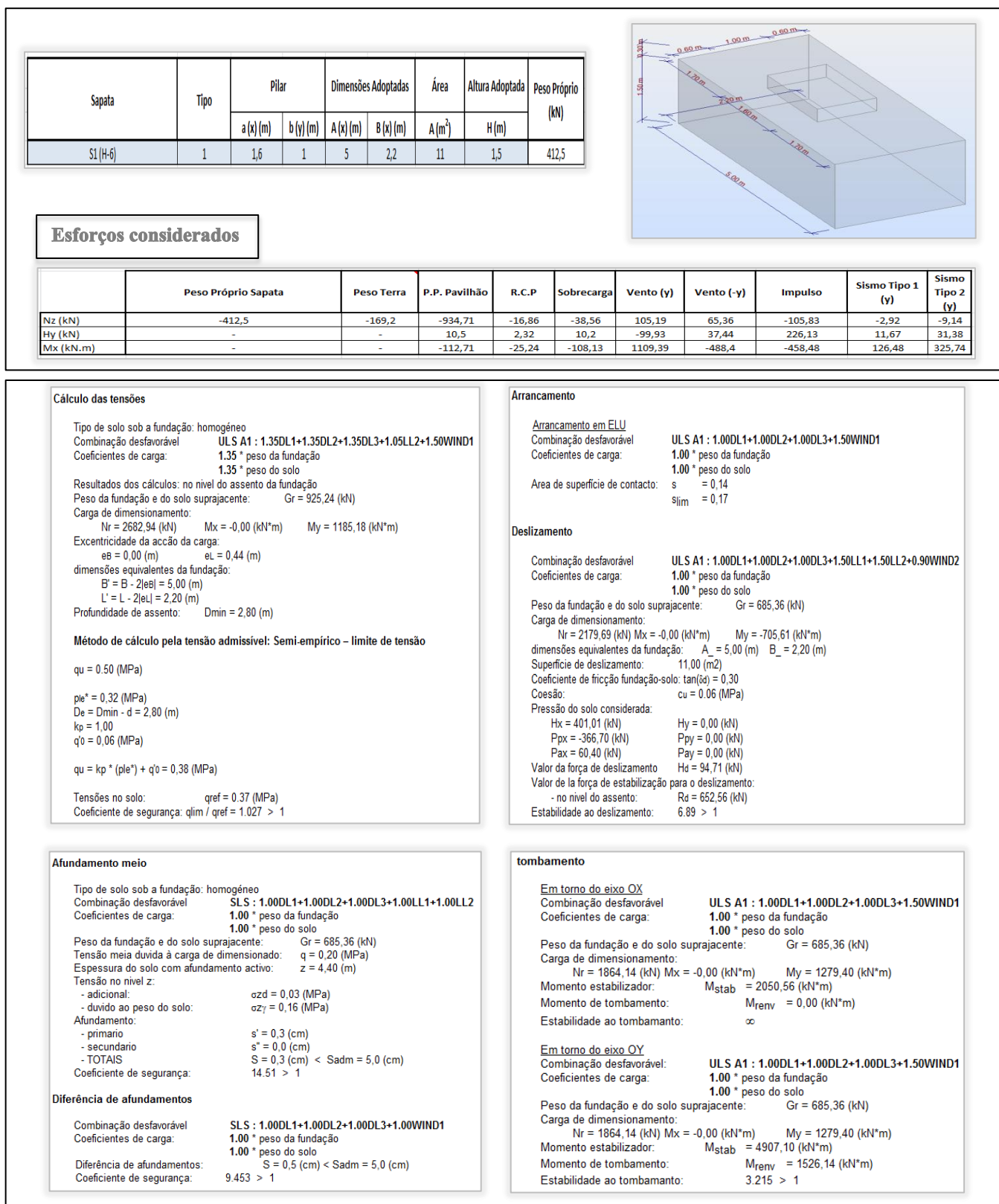


Figura 3.59 – Verificação do Solo de Fundação.

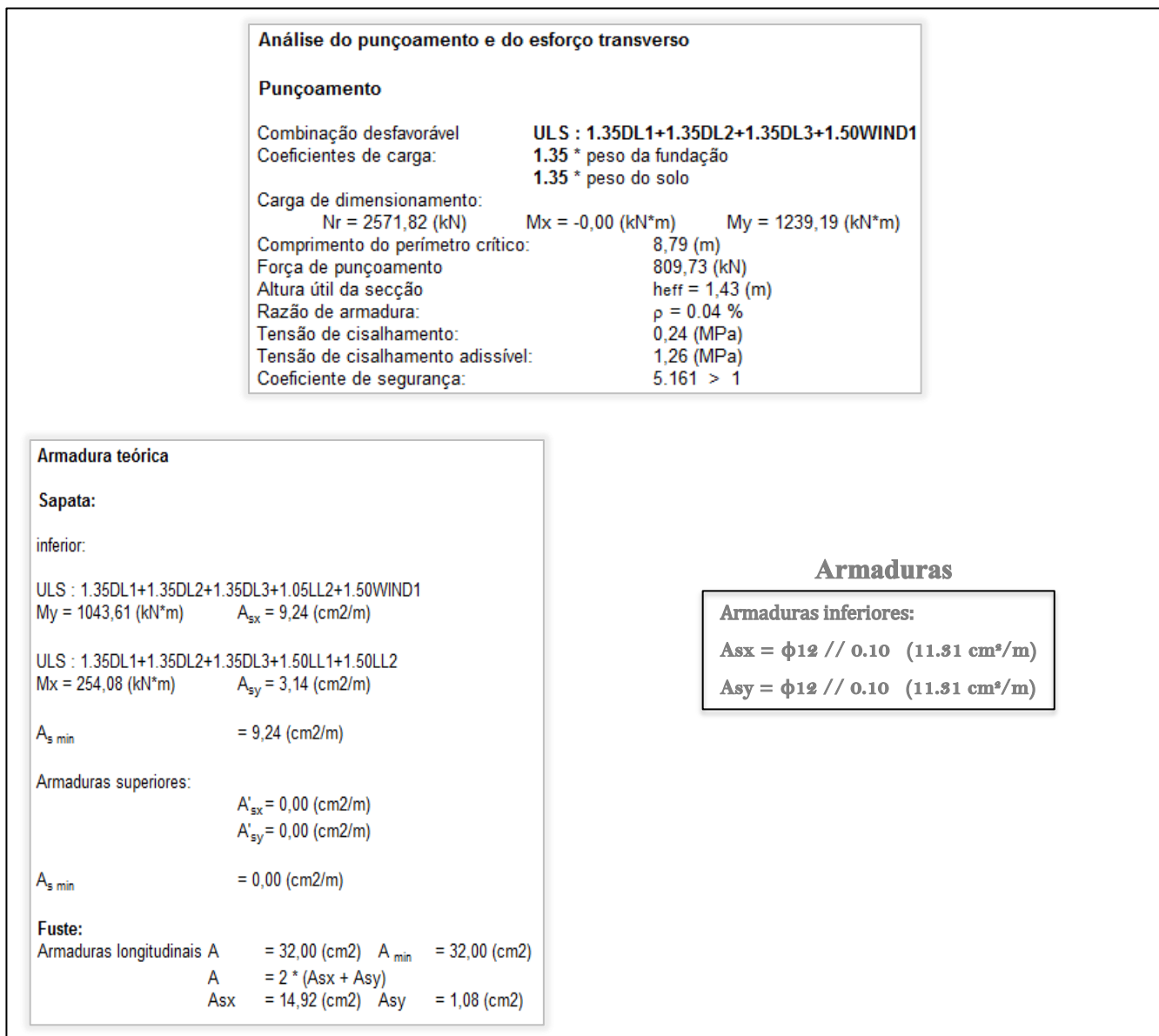
❖ Verificação da segurança da Sapata

Figura 3.60 – Verificação da Sapata.

Grupo 2 – Sapata com 3.0 x3.0x1.5

❖ Verificação da segurança do Solo de Fundação

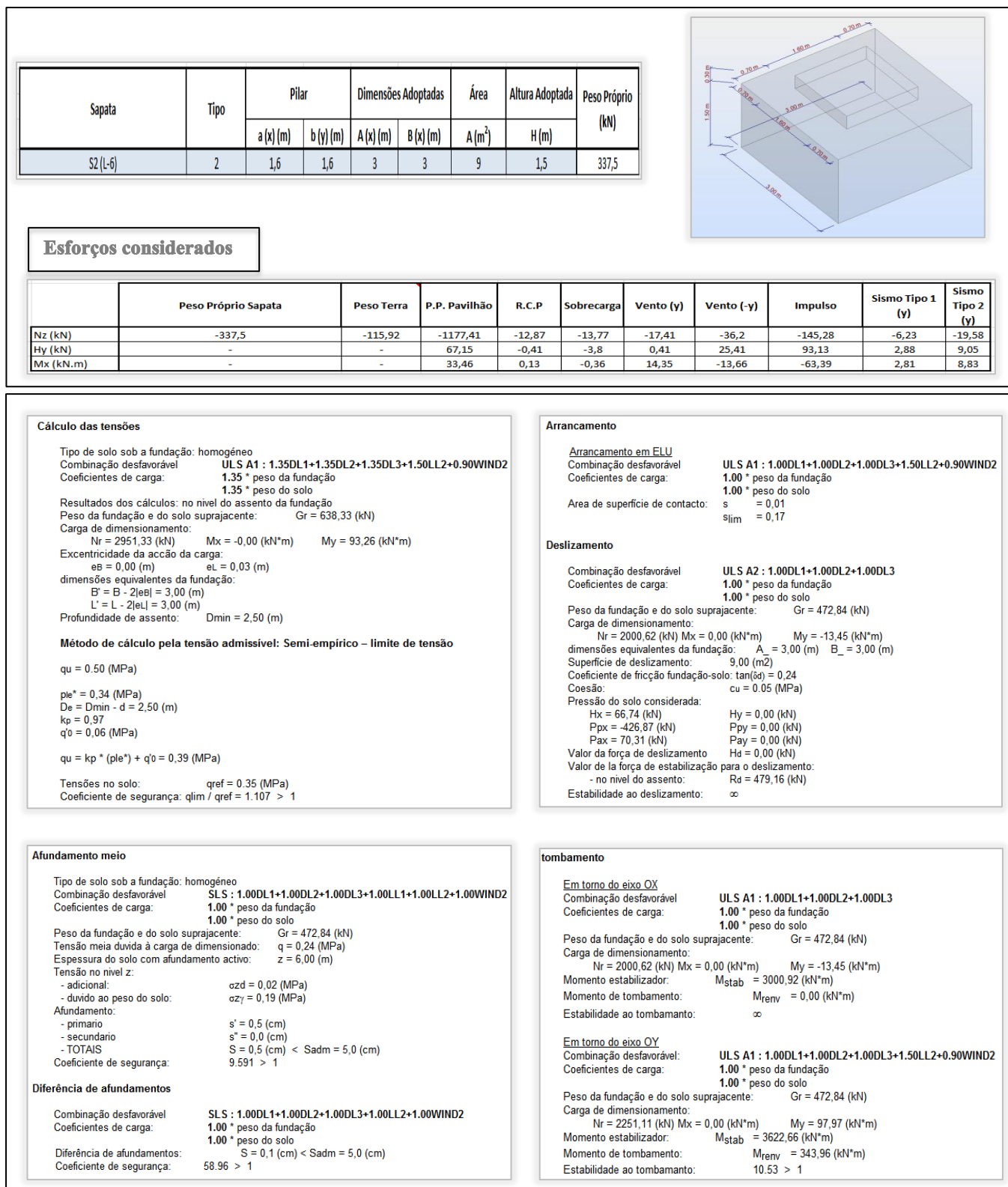


Figura 3.61 – Processo de cálculo para a verificação do Solo de Fundação.

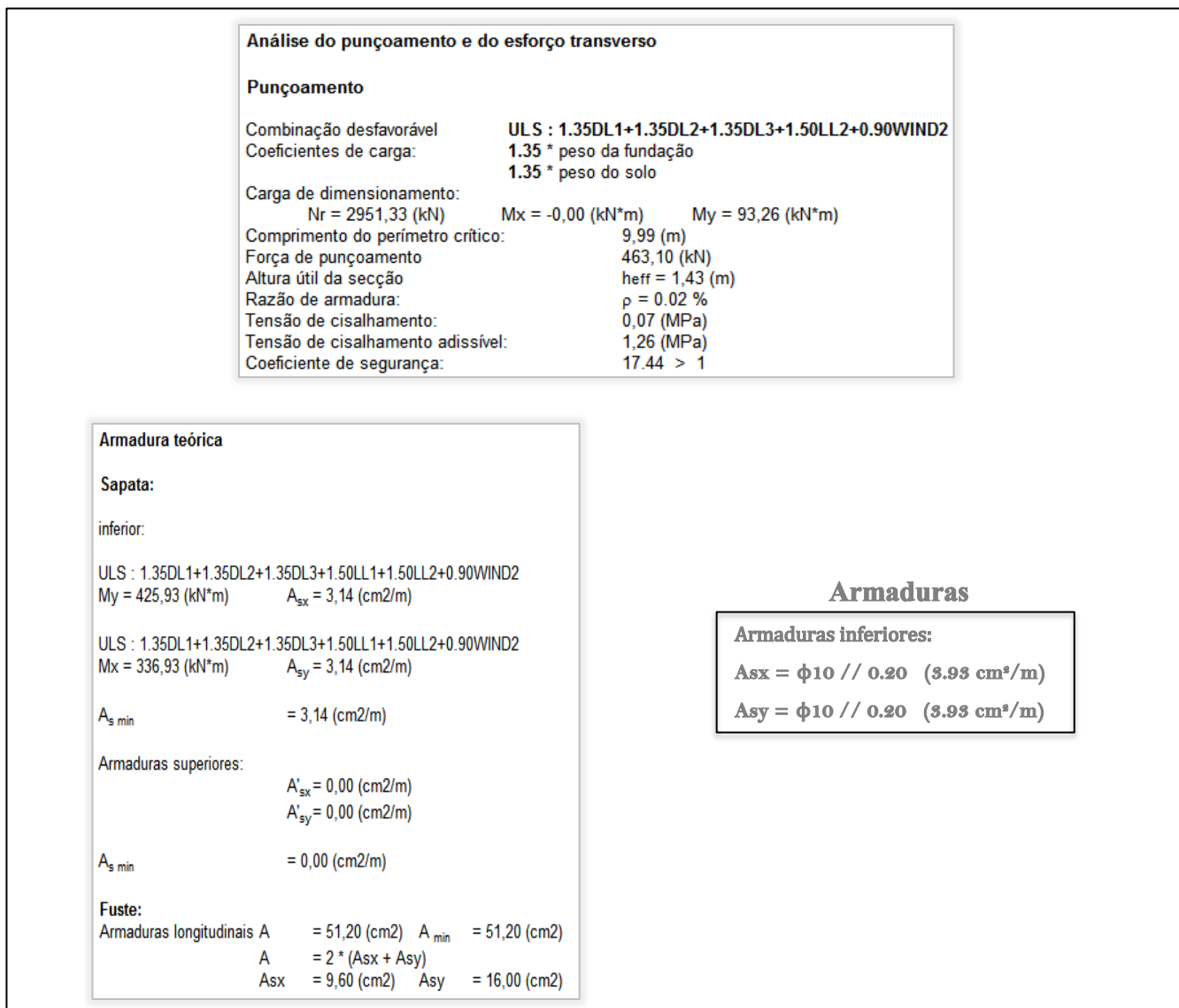
❖ Verificação da segurança da Sapata

Figura 3.62 – Verificação da Sapata.

Grupos 4 e 5 – Sapatas com 4x2x1.5

❖ Verificação da segurança do Solo de Fundação

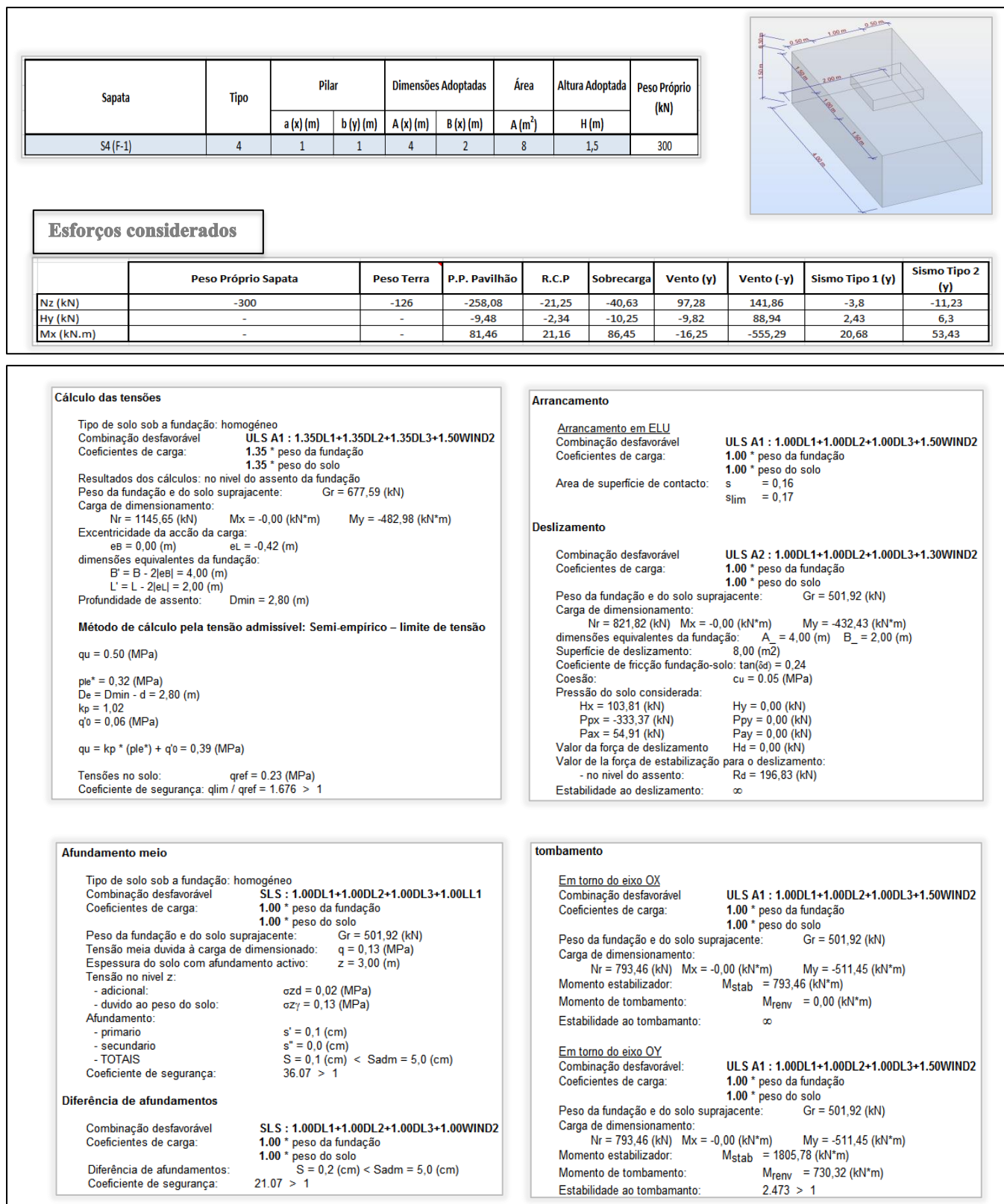


Figura 3.65 – Processo de cálculo para a verificação do Solo de Fundação.

❖ Verificação da segurança da Sapata**Análise do punçoamento e do esforço transverso****Punçoamento**

Combinação desfavorável	<b>ULS : 1.00DL1+1.00DL2+1.00DL3+1.50WIND2</b>	
Coefficientes de carga:	<b>1.35 * peso da fundação</b>	
	<b>1.35 * peso do solo</b>	
Carga de dimensionamento:		
Nr = 969,13 (kN)	Mx = -0,00 (kN*m)	My = -511,45 (kN*m)
Comprimento do perímetro crítico:	5,80 (m)	
Força de punçoamento	204,15 (kN)	
Altura útil da secção	heff = 1,43 (m)	
Razão de armadura:	$\rho = 0.02 \%$	
Tensão de cisalhamento:	0,17 (MPa)	
Tensão de cisalhamento admissível:	2,52 (MPa)	
Coefficiente de segurança:	14.65 > 1	

**Armadura teórica****Sapata:**

inferior:

ULS : 1.35DL1+1.35DL2+1.35DL3+1.50WIND2  
 My = 329,27 (kN\*m)       $A_{sx} = 3,19$  (cm<sup>2</sup>/m)

ULS : 1.35DL1+1.35DL2+1.35DL3+1.50LL1  
 Mx = 76,32 (kN\*m)       $A_{sy} = 3,14$  (cm<sup>2</sup>/m)

$A_{s \text{ min}}$  = 3,19 (cm<sup>2</sup>/m)

Armaduras superiores:

ULS : 1.00DL1+1.00DL2+1.00DL3+1.50WIND2  
 My = -98,83 (kN\*m)       $A'_{sx} = 3,14$  (cm<sup>2</sup>/m)  
     $A'_{sy} = 0,00$  (cm<sup>2</sup>/m)

$A_{s \text{ min}}$  = 3,14 (cm<sup>2</sup>/m)

**Fuste:**

Armaduras longitudinais A = 28,31 (cm<sup>2</sup>)     $A_{\text{min}} = 20,00$  (cm<sup>2</sup>)  
    A = 2 \* (Asx + Asy)  
    Asx = 13,72 (cm<sup>2</sup>)    Asy = 0,43 (cm<sup>2</sup>)

**Armaduras****Armaduras inferiores:**

$A_{sx} = \phi 10 // 0.20$  (3.93 cm<sup>2</sup>/m)

$A_{sy} = \phi 10 // 0.20$  (3.93 cm<sup>2</sup>/m)

**Armaduras superiores:**

$A_{sx} = \phi 10 // 0.20$  (3.93 cm<sup>2</sup>/m)

$A_{sv} = \phi 10 // 0.20$  (3.93 cm<sup>2</sup>/m)

**Figura 3.66 – Verificação da Sapata.**