

ANEXOS E PEÇAS DESENHADAS

I.	ANEXO I - Enquadramento da instalação	1
II.	ANEXO II - Metodologia para a quantificação da ação do vento.....	3
III.	ANEXO III - Metodologia para a quantificação do espectro de resposta.....	17
IV.	ANEXO IV - Metodologia para a quantificação das componentes uniforme e diferencial de temperatura.....	25
V.	ANEXO V - Metodologia para a quantificação das pressões em silos esbeltos e em silos de retenção	29
VI.	ANEXO VI - Análise estrutural segundo o EC3-1-1	37
VII.	ANEXO VII - Encurvadura em colunas perfeitas.....	45
VIII.	ANEXO VIII - Elementos para o Cálculo da Encurvadura Lateral em Vigas	49
IX.	ANEXO IX - Fatores de Interação em Colunas-Viga (Método Austro-Alemão)	51
X.	ANEXO X - Pormenorização de Elementos de Betão Armado	53
XI.	ANEXO XI - Método dos Coeficientes Globais	57
XII.	ANEXO XII - Requisitos para o Cálculo de Fundações	61
XIII.	ANEXO XIII - Quantificação de RCP, SC, SC-Equ e SC - Manut	67
XIV.	ANEXO XIV - Quantificação da ação do W	73
XV.	ANEXO XV - Modos de vibração	83
XVI.	ANEXO XVI - Combinação de Ações.....	115
XVII.	ANEXO XVII - Pré-dimensionamento dos elementos metálicos	119
XVIII.	ANEXO XVIII - Dimensionamento dos Elementos Metálicos	157
XIX.	ANEXO XIX - Dimensionamento das Ligações Metálicas	303
XX.	ANEXO XX - Dimensionamento dos Elementos de Betão Armado	335
XXI.	PEÇAS DESENHADAS	353

I. ANEXO I - ENQUADRAMENTO DA INSTALAÇÃO

De modo a enquadrar a instalação do presente projeto no complexo industrial onde está inserida, descreve-se sumariamente o processo de fabrico do cimento de acordo com (CIMPOR, 2019).

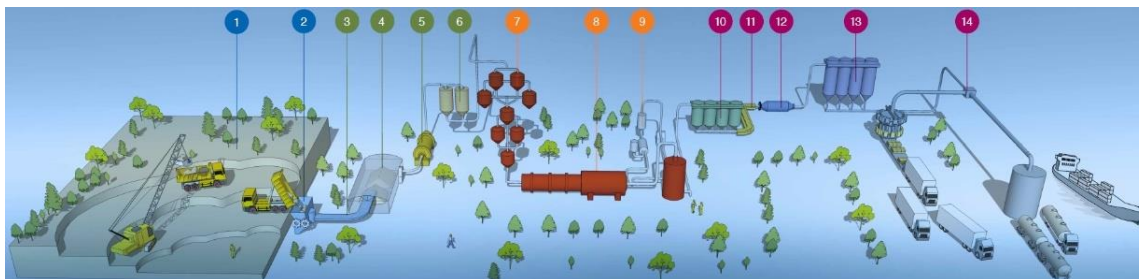


Figura 1 - Diagrama do processo de fabrico do cimento de acordo com (CIMPOR, 2019)

Tabela 1 - Descrição sumária do processo de fabrico do cimento segundo (CIMPOR, 2019)

Pedreira	1. Pedreira	O calcário e outras matérias primas são extraídos através de perfuração e desmonte por explosivos ou por mineração mecânica de superfície;
	2. Britagem	O material desmontado nas frentes da pedreira (0-1000mm) sofre uma redução na sua dimensão (0-30/40mm) em britadores de impacto ou de maxilas;
	3. Transporte	O material britado é transportado até à fábrica de cimento, através de telas transportadoras, de camiões, por caminho de ferro ou via fluvial, consoante a distância da pedreira em relação à fábrica de cimento;
Preparação do Cru	4. Pré-Homogeneização	O calcário, as margas, as matérias-primas alternativas e os materiais corretivos da composição química das mesmas são misturados e pré-homogeneizados por depósito em várias camadas que dão origem à formação de uma pilha de material num edifício, em geral, coberto. Esse material depositado em pilha é posteriormente retomado de um modo especial que garanta a sua homogeneidade e enviado à moagem de cru;
	5. Moagem de Cru	As matérias-primas homogeneizadas, que passamos a designar por cru, (0-30/40mm) são conduzidas a moinhos de bolas e/ou verticais onde são submetidos a uma operação de secagem e transformadas em farinha (com um resíduo da ordem de 12 a 18% na malha de 90 microns). À entrada da moagem de cru pode haver ainda lugar a uma pequena e derradeira correção na composição química do cru;
	6. Silos de Homogeneização	A farinha, proveniente da moagem de cru, é sujeita a uma última operação de homogeneização e aí fica armazenada até à sua alimentação à linha de cozedura;

Produção do Clínquer	7. Torre de Pré-Aquecimento	A farinha é submetida a um pré-aquecimento e a uma percentagem apreciável de descarbonatação (>90%) antes de entrar no forno. Filtros de mangas ou electrofiltros de grandes dimensões procedem à remoção das poeiras provenientes do circuito de gases do forno e do circuito de gases de exaustão do moinho de cru;
	8. Forno/Arrefecedor	A farinha alimentada ao forno, já em grande parte descarbonatada, é transformada em clínquer através de uma série de reações químicas que se desenrolam em torno dos 1450°C sob a ação de uma chama a 2000°C. O clínquer incandescente é arrefecido bruscamente no arrefecedor de grelha ou de satélites;
	9. Armazenagem de Clínquer	O clínquer após ter sofrido um arrefecimento brusco até uma temperatura entre os 100 e os 200°C é enviado para zonas de armazenagem que em geral são silo fechados;
Moagem de Cimento, Embalagem e Expedição	10. Armazenagem de Adições	As adições destinadas à produção de cimento (e.g., gesso, cinzas volantes, escórias de siderurgia, calcário) encontram-se, em geral, armazenadas em silos ou em edifícios fechados;
	11. Transportes	O transporte do clínquer do gesso e das respetivas adições (materiais cimentícios) é efetuado através de telas de transporte até às tremonhas das moagens de cimento;
	12. Moagem de Cimento	Uma vez doseado nas devidas proporções, o clínquer é moído conjuntamente com cerca de 5% de gesso e outras adições (materiais cimentícios) para dar origem aos diferentes tipos de cimento;
	13. Ensilagem de Cimento	O cimento é ensilado;
	14. Embalagem e Expedição	O cimento extraído dos silos é ensacado e paletizado ou colocado em pacotões de plástico retrátil ou, ainda, carregado diretamente a granel em camiões-cisterna, em vagões-cisterna ou em navios. Uma vez carregado, o cimento é expedido por rodovia, caminho de ferro, via fluvial ou marítima, consoante a localização e a infraestrutura existente na fábrica.

II. ANEXO II - METODOLOGIA PARA A QUANTIFICAÇÃO DA AÇÃO DO VENTO

Pressão Dinâmica de Pico

a) Vento Médio

A componente média da velocidade do vento é calculada pela seguinte metodologia:

1- Definição da zona

Portugal encontra-se dividido em duas zonas:

Zona A Generalidade do território, exceto as regiões pertencentes à zona B;

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

2- Valor básico da velocidade de referência do vento, $V_{b,0}$

O valor básico da velocidade de referência depende da zona da estrutura.

Tabela 2 - Valor básico da velocidade de referência do vento

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

3- Coeficiente de direção, c_{dir}

O EC1-1-4 recomenda o valor unitário para o coeficiente de direção. Quando o efeito em causa esteja relacionado com uma direção particular correspondendo velocidades inferiores às máximas no local é admissível uma redução limitada porém a 15%.

4- Coeficiente de sazão, c_{season}

A norma sugere o valor unitário para este coeficiente. Em situações de projeto cuja estrutura seja provisória, entre maio e agosto de um mesmo ano, admite uma redução até 10%.

5- Valor de referência da velocidade do vento, v_b

O valor de referência da velocidade do vento calcula-se por:

$$V_b = c_{dir} c_{season} V_{b,0} \quad (1)$$

6- Altura de referência, z_e

A altura de referência de uma estrutura ou das suas componentes determina-se segundo a orientação do capítulo 7 do EC1-1-4.

7- Definição da categoria de terreno

A definição da categoria de terreno tem em conta a influência dos obstáculos presentes na envolvente das estruturas no escoamento do vento. A norma define as categorias ilustradas na Figura 2.

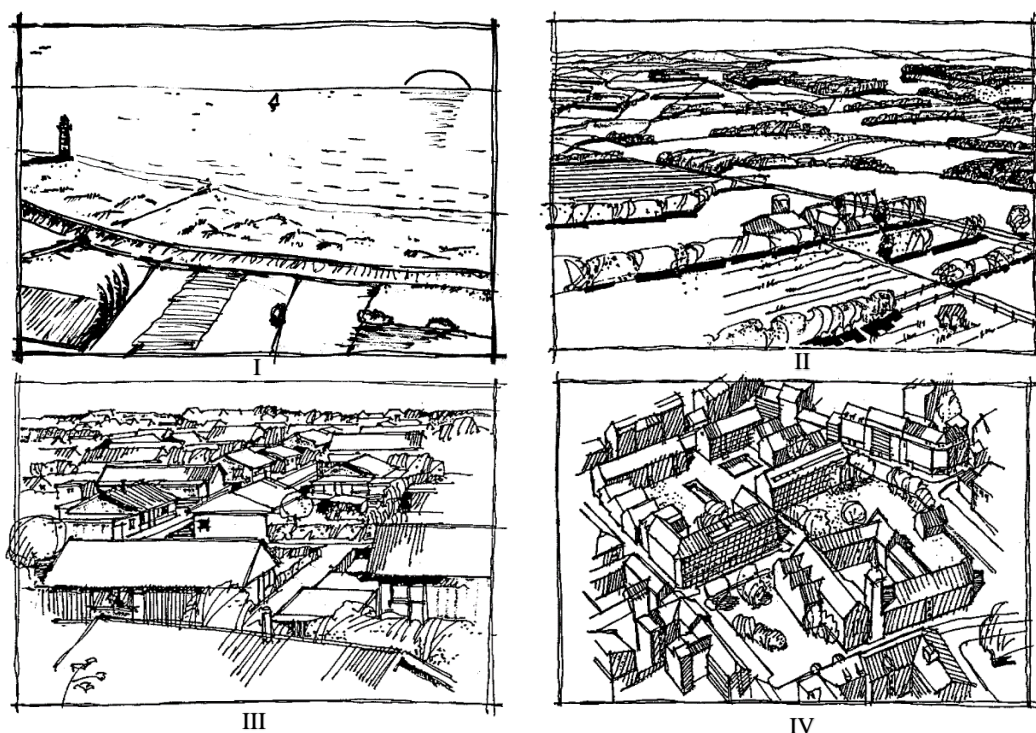


Figura 2 - Categorias de terreno I (canto superior esquerdo), II (canto superior direito), III (canto inferior esquerdo) e IV (canto inferior direito)

- I Zona costeira exposta aos ventos de mar;
- II Zona de vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados (árvores, edifícios) com separações entre si de pelo menos 20 vezes a sua altura;
- III Zona com uma cobertura regular de vegetação ou edifícios ou com obstáculos isolados com separações entre si de no máximo 20 vezes a sua altura (por exemplo: zonas suburbanas, florestas permanentes);
- IV Zona na qual pelo menos 15% da superfície está coberta com uma altura média superior a 15 m.

De referir que na definição da categoria do terreno deve considerar-se a zona de menor algarismo romano, num setor angular 30° definido por $\pm 15^\circ$ em relação à direção do vento. As zonas que englobam áreas inferiores a 10% da área considerada podem ser desprezadas.

8- Comprimento de rugosidade, z_0 , e altura mínima z_{\min}

O comprimento de rugosidade e a altura mínima são definidos no EC1-1-4 em função da categoria do terreno conforme se mostra na Tabela 3.

Tabela 3 - Comprimento de rugosidade e altura mínima segundo a (NP EN 1991-1-4, 2010)

Categoria de terreno	z_0 [m]	z_{min} [m]
I	0,005	1
II	0,05	3
III	0,3	8
IV	1,0	15

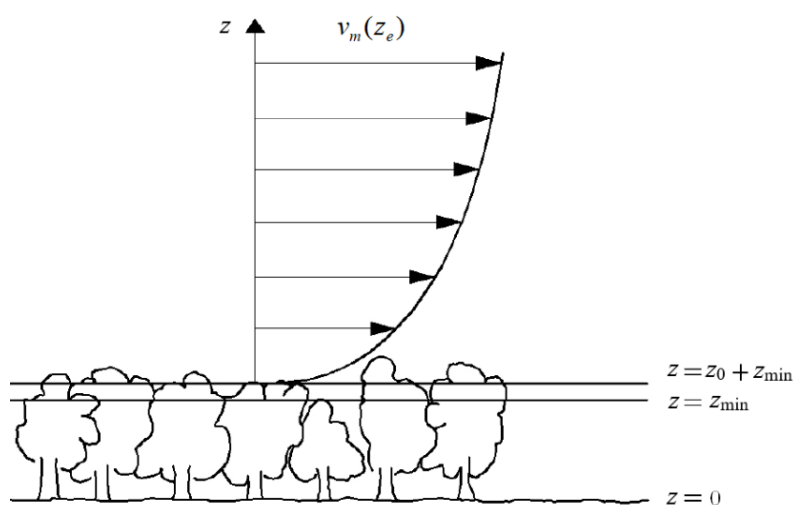


Figura 3 - Comprimento de rugosidade e altura mínima no perfil de velocidade média do vento (Bastos, 2008)

9- Coeficiente de terreno, k_r

O coeficiente de terreno determina-se pela expressão:

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} \quad (2)$$

Em que:

$z_{0,II}$ Comprimento de rugosidade para uma categoria de terreno II

10- Coeficiente de rugosidade, $c_r(z_e)$

O coeficiente de rugosidade tem em conta a variação da velocidade média do vento “*in situ*” e calcula-se recorrendo às seguintes equações:

$$c_r(z_e) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ para } z_{\min} \leq z_e \leq 200 \quad (3)$$

$$c_r(z_e) = c_r(z_{\min}) \text{ para } z_e \leq z_{\min} \quad (4)$$

11- Coeficiente de orografia, c_0

O coeficiente de orografia considera-se igual a 1,0, exceto nos casos em que devido à orografia, à velocidade do vento é aumentada mais de 5% (falésias e colinas).

12- Velocidade média do vento, $v_m(z_e)$

A velocidade média do vento a uma dada altura contempla não só o efeito da orografia mas também o da rugosidade do terreno no valor de referência, e calcula-se por:

$$v_m(z_e) = c_r(z_e) \times c_0(z_e) \times v_b \quad (5)$$

b) Vento turbulento

A componente turbulenta do vento calcula-se com base nos seguintes pontos:

1- Desvio padrão da turbulência do vento, σ_v

O desvio padrão da turbulência do vento é quantificado pela equação:

$$\sigma_v = k_r \times v_b \times k_t \quad (6)$$

Em que:

k_t Coeficiente de turbulência. O valor recomendado é 1,0.

2- Intensidade de turbulência, $I_v(z_e)$

A intensidade de turbulência calcula-se pelas expressões:

$$I_v(z_e) = \frac{\sigma_v}{v_m(z_e)} = \frac{k_t}{c_0(z_e) \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \text{ para } z_{\min} \leq z_e \leq 200 \quad (7)$$

$$I_v(z_e) = I_v(z_{\min}) \text{ para } z_e \leq z_{\min} \quad (8)$$

3- Pressão dinâmica de pico, $q_p(z_e)$

A pressão dinâmica de pico obtém-se pela expressão:

$$q_p(z_c) = [1 + 7I_v(z_c)] \frac{1}{2} \rho v_m^2(z_c) \quad (9)$$

Em que:

ρ massa volúmica do ar (valor recomendado 1,25 kg/m³).

Coefficiente Estrutural

O coeficiente estrutural é calculado pela seguinte metodologia:

1- Altura de referência para a determinação do coeficiente estrutural, z_s

A altura de referência é determinada tendo em atenção a Figura 4.

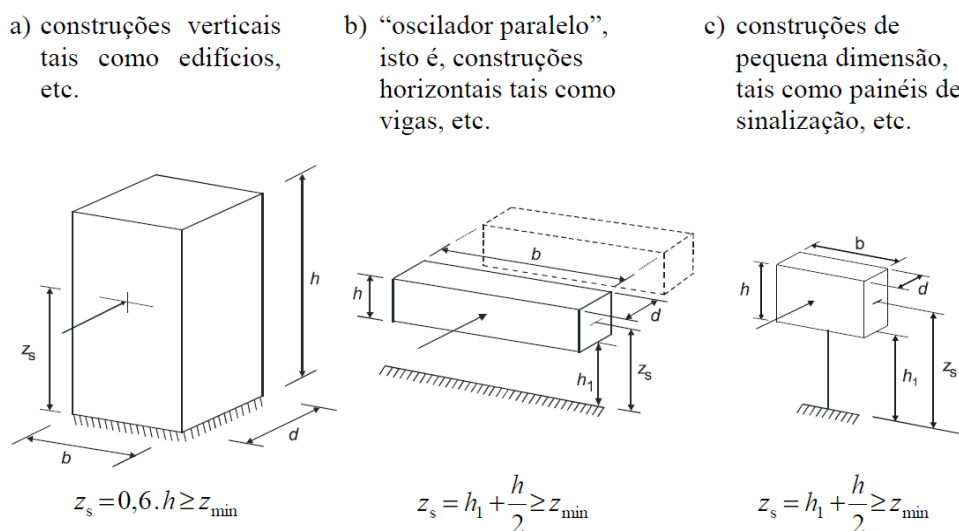


Figura 4 - Formas gerais das construções para a determinação da altura de referência z_s

2- Escala de turbulência $L(z_s)$

A escala de turbulência representa a dimensão média dos turbilhões do vento natural limitada a uma altura de 200m, e calcula-se pelas expressões:

$$L(z_s) = L_t \left(\frac{z_s}{z_t} \right)^\alpha \quad \text{para } z_s \geq z_{\min} \quad (10)$$

$$L(z_s) = L(z_{\min}) \quad \text{para } z_s < z_{\min} \quad (11)$$

Em que:

L_t escala de referência de valor igual a 300 m;

z_t altura de referência de valor igual a 200 m;

α parâmetro que depende do comprimento de rugosidade, z_0 , determinado por:

$$\alpha = 0,67 + 0,05 \ln(z_0) \quad (12)$$

3- Frequência fundamental de vibração da estrutura na direção do vento, $n_{1,x}$

A frequência fundamental de vibração de uma estrutura na direção do vento pode ser estimada através dos procedimentos enunciados no Anexo F do EC1-1-4.

4- Frequência adimensional, $f_L(z_s, n_{1,x})$

A frequência adimensional determina-se por:

$$f_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{n_{1,x} L(z_s)}{v_m(z_s)} \quad (13)$$

5- Densidade espectral de potência adimensional, $S_L(z_s, n_{1,x})$

A função de densidade espectral de potência adimensional representa a distribuição da energia do vento em frequência, e obtém-se recorrendo à equação:

$$S_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{6,8 \cdot f_L(z_s, n_{1,x})}{\left[1 + 10,2 \cdot f_L(z_s, n_{1,x})\right]^{\frac{5}{3}}} \quad (14)$$

6- Variáveis, η_h e η_b

As variáveis η_h e η_b calculam-se pelas expressões:

$$\eta_h = \frac{4,6h}{L(z_s)} f_L(z_s, n_{1,x}) \quad (15)$$

$$\eta_b = \frac{4,6b}{L(z_s)} f_L(z_s, n_{1,x}) \quad (16)$$

Em que:

- h altura da construção;
- b largura da construção (comprimento da superfície perpendicular à direção do vento).

7- Funções de admitância aerodinâmica, R_h e R_b

Estas funções são dadas pelas equações:

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2}(1 - e^{-2\eta_h}) \text{ com } R_h = 1 \text{ para } \eta_h = 0 \quad (17)$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2}(1 - e^{-2\eta_b}) \text{ com } R_b = 1 \text{ para } \eta_b = 0 \quad (18)$$

8- Decremento logarítmico de amortecimento, δ

O amortecimento geral de uma estrutura provém de amortecimentos de diferentes naturezas, tais como:

- O estrutural provocado pelo atrito entre materiais, que nas estruturas em betão provém maioritariamente dos inertes e nas metálicas sobretudo das ligações;
- O aerodinâmico respeitante à geometria da estrutura e é relevante apenas na direção do vento;
- O do solo relativo à interação das fundações com o solo e o seu amortecimento natural;
- O auxiliar obtido com recurso a dispositivos especiais.

O decremento logarítmico de amortecimento relativo ao modo fundamental de flexão é determinado por:

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d \quad (19)$$

Em que:

- δ_s decremento logarítmico de amortecimento estrutural;
- δ_a decremento logarítmico de amortecimento aerodinâmico;
- δ_d decremento logarítmico de amortecimento dado por dispositivos especiais, tais como: amortecedores de massa sintonizados ou de movimento líquido.

9- Coeficiente de resposta em ressonância, R^2

O coeficiente de resposta contempla o efeito da turbulência em ressonância com o modo de vibração da estrutura, e calcula-se:

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

10- Coeficiente de resposta quase-estática, B^2

O coeficiente de resposta quase-estática contempla a não correlação total das pressões do vento na superfície de construção, é obtido pela igualdade:

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \left(\frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0,63}} \quad (21)$$

Em que:

- h altura da construção;
- b largura da construção (comprimento da superfície perpendicular à direção do vento).

De forma conservativa pode considerar-se $B^2 = 1$ que conduz a $c_s = 1$.

11- Frequência de passagens ascendentes, ν

A frequência de passagens ascendentes pode ser determinada pela expressão:

$$\nu = n_{1,x} \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \quad \text{com } \nu \geq 0,08\text{Hz} \quad (22)$$

12- Fator de pico, k_p

O fator de pico é obtido por:

$$k_p = \sqrt{2 \ln(\nu T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \ln(\nu T)}} \quad \text{com } k_p \geq 3 \quad (23)$$

Em que:

- T duração de integração da velocidade média do vento igual a 600 s.

13- Coeficiente dinâmico, c_d

O coeficiente dinâmico é quantificado pela expressão:

$$c_d = \frac{1 + 2k_p I_v(z_s) \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7I_v(z_s) \sqrt{B^2}} \quad (24)$$

14- Coeficiente de dimensão, c_s

O coeficiente de dimensão é calculado pela igualdade:

$$c_s = \frac{1 + 7I_v(z_s) \sqrt{B^2}}{1 + 7I_v(z_s)} \quad (25)$$

15- Coeficiente estrutural, c_{sc}

O coeficiente estrutural resulta do produto do coeficiente de dimensão pelo coeficiente dinâmico.

Coeficientes Aerodinâmicos

a) Cúpulas

Segundo o EC1-1-4 cl.7.2.8 os coeficientes de pressão exterior em cúpulas de base circular calcularam-se segundo a seguinte metodologia:

1- Dimensões “h”, “f” e “d”

É necessário inicialmente ter em consideração as dimensões “h”, “f” e “d”, em que:

- h altura a partir do solo até à base da cúpula;
- f altura entre a base da cúpula e o topo;
- d largura da cúpula na direção do vento.

2- Coeficientes globais de pressão exterior

Uma vez definidas as dimensões “h”, “f” e “d” calculam-se as relações h/d e f/d que permitem obter os coeficientes de pressão exterior em A, B e C (ver Figura 5).

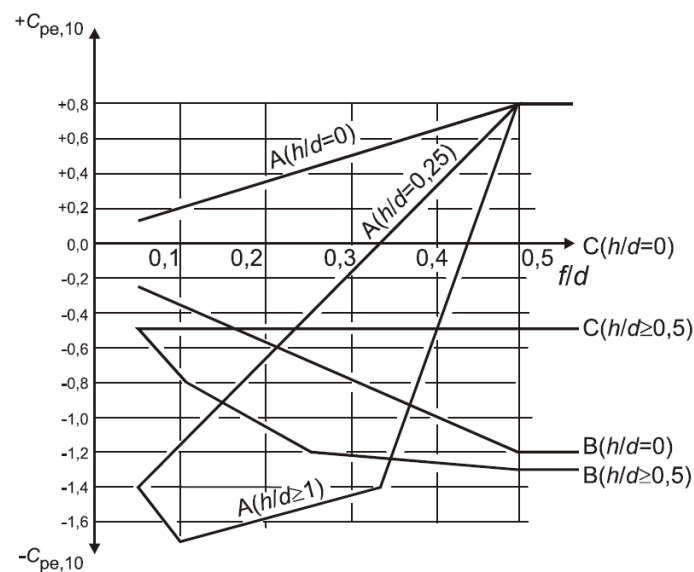


Figura 5 - Coeficientes globais de pressão exterior em A, B e C

3- Coeficientes de pressão exterior segundo o plano paralelo à direção do vento

A partir dos coeficientes de pressão exterior globais calcularam-se os restantes ao longo da cúpula.

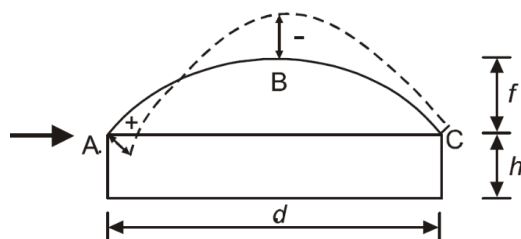


Figura 6 - Coeficientes de pressão exterior da cúpula

4- Coeficientes de pressão exterior segundo os planos perpendiculares à direção do vento

Os valores dos coeficientes de pressão exterior ao longo dos arcos circulares resultantes das interseções da cúpula com os planos perpendiculares à direção do vento, mantêm-se constantes ao longo das referidas interseções, sendo calculados do mesmo modo que o procedimento indicado em 3-.

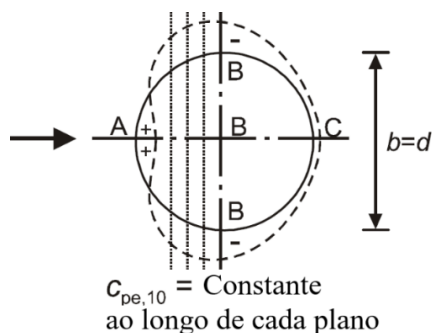


Figura 7 - Coeficientes de pressão exterior ao longo dos planos perpendiculares ao vento

Notas:

- 1) Os coeficientes de pressão interior não foram calculados uma vez que não existem aberturas exteriores na estrutura.
- 2) Ignoraram-se os efeitos do atrito uma vez que as superfícies paralelas ao vento são inferiores a 4 vezes a área total de todas as superfícies exteriores perpendiculares ao mesmo.
- 3) Recomenda-se, para a determinação da pressão dinâmica de pico em cúpulas, a utilização de uma altura de referência, $z_e=h+f$.

b) Cilindros de Base Circular

Segundo o EC1-1-4, os coeficientes de pressão exterior para cilindros de base circular foram calculados aplicando a seguinte metodologia:

1- Velocidade de pico do vento à altura de referência, $v(z_e)$

A velocidade de pico do vento à altura de referência determina-se por:

$$v(z_e) = \sqrt{\frac{2q_p(z_e)}{\rho}} \quad (26)$$

Em que:

- ρ massa volúmica do ar cujo valor recomendado é 1,25 kg/m³;
- z_e altura máxima acima do solo do cilindro de base circular;
- $q_p(z_e)$ pressão dinâmica de pico à altura de referência.

2- Número de Reynolds, Re

O número de Reynolds foi calculado pela equação:

$$Re = \frac{b v(z_e)}{\nu} \quad (27)$$

Em que:

- b diâmetro do cilindro de base circular;
- ν viscosidade cinemática do ar $15 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$.

3- Valores da distribuição de pressões em cilindros de base circular

A partir do número de Reynolds e da Tabela 4 quantificam-se todos os valores referentes à distribuição das pressões.

Tabela 4 - Valores da distribuição de pressões em cilindros de base circular

Re	$\alpha_{\text{mín}}$	$C_{p0,\text{mín}}$	α_A	$C_{p0,h}$
$5 \cdot 10^5$	85	-2,2	135	-0,4
$2 \cdot 10^6$	80	-1,9	120	-0,7
10^7	75	-1,5	105	-0,8

Em que:

- $\alpha_{\text{mín}}$ posição do ponto de pressão mínima, em graus;
- $C_{p0,\text{mín}}$ coeficiente de pressão mínima;
- α_A posição do ponto de separação do escoamento, em graus;
- $C_{p0,h}$ coeficiente de pressão de base.

4- Índice de cheios, ϕ

O índice de cheios é calculado pela expressão:

$$\varphi = \frac{A}{A_c} \quad (28)$$

Onde:

A soma das áreas projetadas dos elementos perpendicularmente ao vento;

A_c área limitada pelo contorno exterior $A_c = l \times b$.

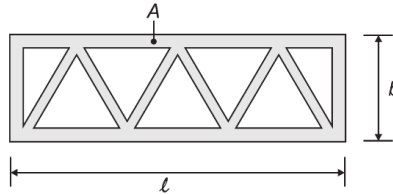


Figura 8 - Índice de cheios φ

5- Esbelteza efetiva, λ

A esbelteza efetiva das estruturas está relacionada com as dimensões, geometria e posição em relação ao solo, e foi calculada pela Tabela 5.

Tabela 5 - Esbelteza efetiva λ

N.º	Posição da estrutura (vento perpendicular ao plano da figura)	Esbelteza efetiva λ
1		$\lambda = 1/b$
2		$\lambda = 2l/b$
3		$\lambda = \infty$ ($\psi_\lambda = 1$)

6- Coeficiente de efeitos de extremidade, ψ_λ

Relativamente aos valores do coeficiente de efeitos de extremidade foi utilizado o gráfico da Figura 7.

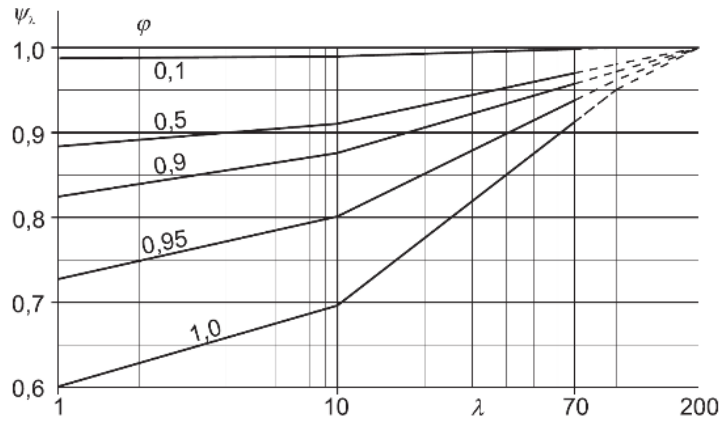


Figura 9 - Coeficiente de efeitos de extremidade, ψ_λ

7- Coeficiente de efeitos de extremidade

O valor do coeficiente de efeitos de extremidade em função de α são calculados pelas expressões:

$$\psi_{\lambda\alpha} = 1 \text{ para } 0^\circ \leq \alpha \leq \alpha_{\min} \quad (29)$$

$$\psi_{\lambda\alpha} = \psi_\lambda + (1 - \psi_\lambda) \cos\left(\frac{\pi}{2} \left(\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}}\right)\right) \text{ para } \alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_A \quad (30)$$

$$\psi_{\lambda\alpha} = \psi_\lambda \text{ para } \alpha_A \leq \alpha \leq 180^\circ \quad (31)$$

8- Coeficiente de pressão exterior sem livre escoamento em torno das extremidades, $c_{p,0}$

Estes coeficientes são determinados recorrendo aos gráficos da Figura 10.

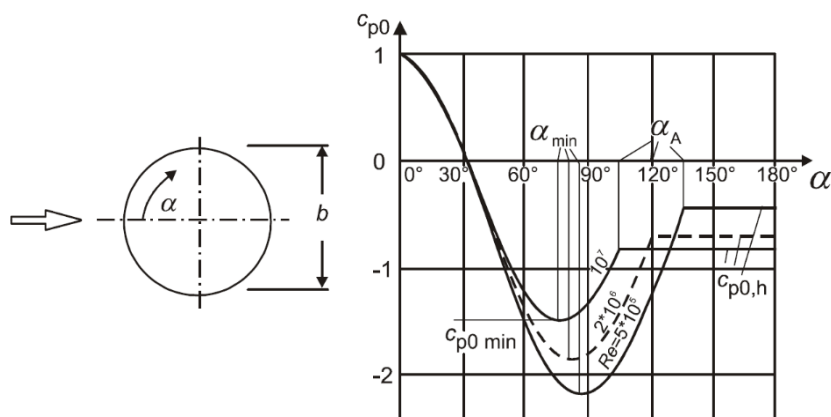


Figura 10 - Coeficiente de pressão exterior, c_{p0} , para diferentes números de Reynolds sem efeitos de extremidade

9- Coeficientes de pressão exterior c_{pe}

Os coeficientes de pressão exterior para cilindros de base circular são obtidos pela expressão:

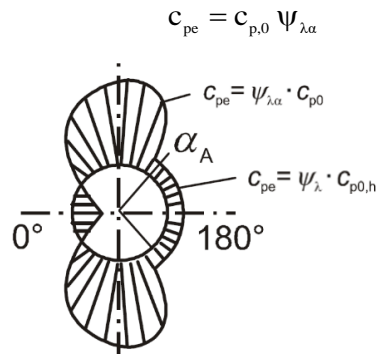


Figura 11 - Coeficiente de pressão exterior em cilindros de base circular

Notas:

- Os coeficientes de pressão interior são nulos quando não existem aberturas nos revestimentos exteriores;
- Pelo exposto na cl.5.3(4) ignoram-se os efeitos do atrito provocados pelo vento;
- O EC1-1-4 recomenda, para a determinação da pressão dinâmica de pico em cilindros de base circular, a utilização de uma altura de referência igual à altura máxima acima do solo da secção considerada.

III. ANEXO III - METODOLOGIA PARA A QUANTIFICAÇÃO DO ESPETRO DE RESPOSTA

Quantificação do Espectro de Resposta

1- Zona Sísmica

São dois os tipos de sismos cujas diferenças estão indicadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Diferenças entre os sismos tipo 1 e tipo 2

Características	Ação Sísmica	
	Tipo 1 - Afastado	Tipo 2 - Próximo
Epicentro	Dinâmica tectónica entre as placas tectónicas Africana e Euro-Asiática	Falhas geológicas em território Nacional
Magnitude	Elevada	Moderada
Frequências	Baixas	Elevadas
Distância Focal	Considerável	Reduzida
Duração	Maior	Menor

Portugal está dividido em seis zonas sísmicas para o sismo tipo 1 e cinco para o sismo tipo 2, conforme mostra as Figura 12, Figura 13 e Figura 14.

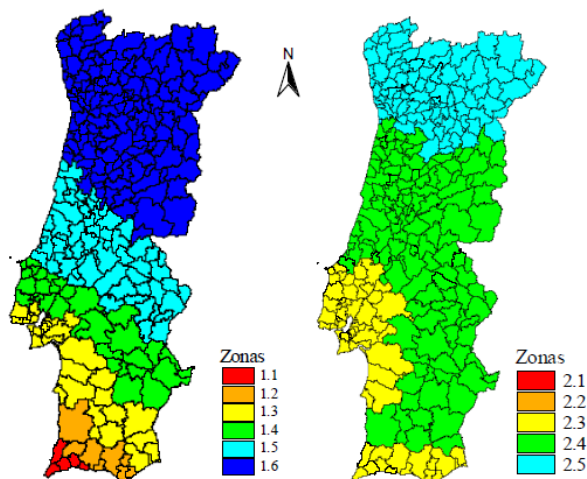


Figura 12 - Zonamento sísmico de Portugal Continental

Quanto às regiões autónomas, para o arquipélago da Madeira considera apenas a ação do sismo tipo 1, enquanto no arquipélago dos Açores contempla unicamente a ação do tipo 2 de acordo com as Figura 13 e Figura 14.



Figura 13 - Zonamento sísmico do arquipélago da Madeira

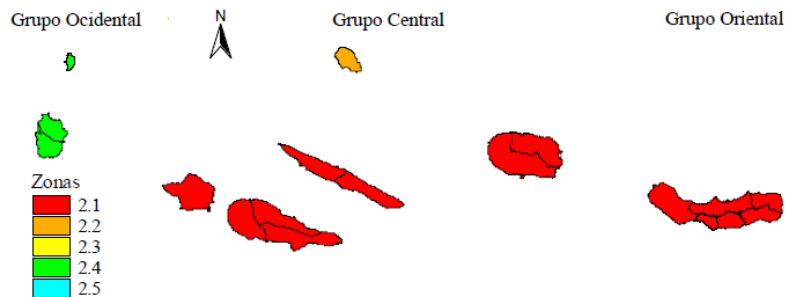


Figura 14 - Zonamento sísmico do arquipélago dos Açores

2- Aceleração máxima de referência à superfície em terrenos do tipo A, a_{gR}

Em função da zona sísmica a norma considera o valor de referência da aceleração máxima à superfície de um terreno do tipo A de acordo com a indicação da Tabela 7.

Tabela 7 - Valores de referência da aceleração máxima à superfície de um terreno do tipo A conforme o zonamento sísmico

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

3- Tipo de terreno

O tipo de terreno onde são fundadas as estruturas pode ser do tipo A, B, C, D, E, S₁ e S₂, definido em função dos seguintes parâmetros:

- Velocidade média das ondas de corte ($v_{s,30}$);
- Número de pancadas obtidas num ensaio SPT (N_{SPT});
- Resistência não drenada do solo (c_u).

Tabela 8 - Tipo de terreno

Tipo de terreno	Descrição do perfil estratigráfico	Parâmetros		
		$v_{s,30}$ [m/s]	N_{SPT} pancadas/30cm	c_u [kPa]
A	Rocha ou outra formação geológica de tipo rochoso, que inclua, no máximo, 5 m de material mais fraco à superfície	>800	-	-
B	Depósitos de areia muito compacta, de seixo (cascalho) ou de argila muito rijas, com uma espessura de, pelo menos, várias dezenas de metros, caracterizados por um aumento gradual das propriedades mecânicas com a profundidade	360-800	>50	>250
C	Depósitos profundos de areia compacta ou medianamente compacta, de seixo (cascalho) ou de argila rija com uma espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros	180-360	15-50	70-250
D	Depósitos de solos não coesivos de compactidade baixa a média (com ou sem alguns estratos de solos coesivos moles), ou de solos predominantemente coesivos de consistência mole a dura	<180	<15	<70
E	Perfil de solo com um estrato aluvionar superficial com valores de v_s do tipo C ou D e uma espessura entre cerca de 5 m e 20 m, situado sobre um estrato mais rígido com $v_s > 800$ m/s			
S ₁	Depósitos constituídos ou contendo um estrato com pelo menos 10 m de espessura de argilas ou siltes moles com um elevado índice de plasticidade ($PI > 40$) e um elevado teor de água	<100 (indicativo)	-	10-20
S ₂	Depósitos de solos com potencial de liquefação, de argilas ou qualquer outro perfil de terreno não incluído nos tipos A - E ou S ₁			

4- Classe de importância

A norma preconiza quatro classes de importância para os edifícios, definida em função das consequências de eventuais colapsos em termos de vidas humanas, socioeconômicos e da importância para a segurança pública e proteção civil.

Tabela 9 - Classes de importância para edifícios

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

5- Coeficiente de importância, γ_I

O coeficiente de importância é função da classe de importância do edifício.

Tabela 10 - Coeficientes de importância γ_I

Classe de importância	Ação sísmica tipo 1	Ação sísmica tipo 2	
		Continente	Açores
I	0,65	0,75	0,85
II	1,00	1,00	1,00
III	1,45	1,25	1,15
IV	1,95	1,50	1,35

6- Valor de cálculo da aceleração à superfície de um terreno do tipo A, a_g

O valor de cálculo da aceleração à superfície de um terreno do tipo A calcula-se pela expressão:

$$a_g = \gamma_I a_{gR} \quad (32)$$

7- Valores dos parâmetros do espectro de resposta elástico para a ação sísmica tipo 1 e tipo 2, T_B , T_C , T_D e S_{\max}

Os valores dos parâmetros que definem o espectro de resposta elástico para a ação sísmica dos tipos 1 e 2 estão indicados nas Tabela 11 e Tabela 12 respetivamente.

Tabela 11 - Valores dos parâmetros do espectro de resposta elástico para a ação sísmica tipo 1

Tipo de terreno	S_{\max}	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,1	0,6	2,0
B	1,35	0,1	0,6	2,0
C	1,6	0,1	0,6	2,0

Tipo de terreno	S_{\max}	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
D	2,0	0,1	0,8	2,0
E	1,8	0,1	0,6	2,0

Tabela 12 - Valores dos parâmetros do espectro de resposta elástico para a ação sísmica tipo 2

Tipo de terreno	S_{\max}	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,1	0,25	2,0
B	1,35	0,1	0,25	2,0
C	1,6	0,1	0,25	2,0
D	2,0	0,1	0,3	2,0
E	1,8	0,1	0,25	2,0

8- Coeficiente de solo, S

A quantificação do parâmetro S é feita com base nas expressões:

$$S = S_{\max} \text{ para } a_g \leq 1 \text{ m/s}^2 \quad (33)$$

$$S = S_{\max} - \frac{S_{\max} - 1}{3} (a_g - 1) \text{ para } 1 \text{ m/s}^2 < a_g < 4 \text{ m/s}^2 \quad (34)$$

$$S = 1,0 \text{ para } a_g \geq 4 \text{ m/s}^2 \quad (35)$$

9- Coeficiente de correção do amortecimento, η

O valor do coeficiente de correção do amortecimento obtém-se por:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55 \quad (36)$$

Em que:

ξ Amortecimento viscoso com um valor recomendado de 5%.

10- Representação da ação sísmica por espectro de resposta elástica horizontal

O espectro de resposta elástica, $S_e(T)$, para a componente horizontal da ação sísmica é calculado pelas equações:

$$0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g S \left[1 + \frac{T}{T_B} (\eta 2,5 - 1) \right] \quad (37)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g S \eta 2,5 \quad (38)$$

$$T_c \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g S \eta 2,5 \left[\frac{T_c}{T} \right] \quad (39)$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_e(T) = a_g S \eta 2,5 \left[\frac{T_c T_D}{T^2} \right] \quad (40)$$

Em que:

- S_e espectro de resposta elástica;
- T período de vibração de um sistema linear com um grau de liberdade;
- a_g valor de cálculo da aceleração à superfície para um terreno do tipo A;
- T_B limite inferior do patamar de aceleração espectral constante;
- T_C limite superior do patamar de aceleração espectral constante;
- T_D valor que define no espectro o início do ramo de deslocamento constante;
- S coeficiente de solo;
- η coeficiente de correção do amortecimento com o valor de referência $\eta = 1$ para 5% de amortecimento viscoso.

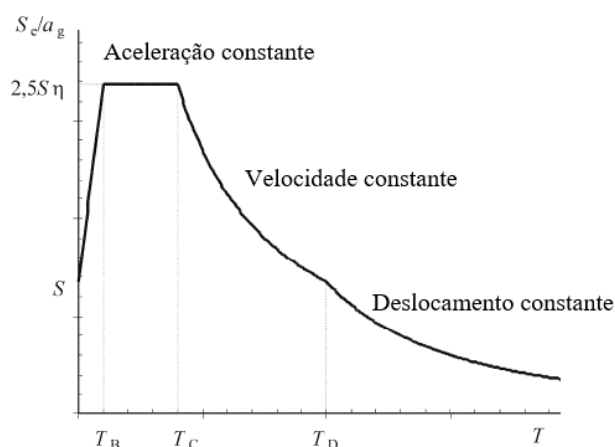


Figura 15 - Forma do espectro de resposta elástica

11- Representação da ação sísmica por espectro de resposta de cálculo

O espectro de resposta de cálculo, $S_d(T)$, devido às componentes horizontais da ação sísmica é calculado por:

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_g S \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (41)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g S 2,5 \quad (42)$$

$$T_c \leq T \leq T_D : S_d(T) = \begin{cases} a_g S \eta \frac{2,5}{q} \left[\frac{T_c}{T} \right] \\ \geq \beta a_g \end{cases} \quad (43)$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_d(T) = \begin{cases} a_g S \eta \frac{2,5}{q} \left[\frac{T_c T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta a_g \end{cases} \quad (44)$$

Em que:

- S_d espectro de resposta de cálculo;
- q coeficiente de comportamento;
- β coeficiente correspondente ao limite inferior do espectro de cálculo horizontal. O valor recomendado para β pelo EC8-1, é 0,2

IV. ANEXO IV - METODOLOGIA PARA A QUANTIFICAÇÃO DAS COMPONENTES UNIFORME E DIFERENCIAL DE TEMPERATURA

Variação Uniforme de Temperatura

A quantificação da variação uniforme da temperatura foi feita do seguinte modo:

1- Zonamento do território para condições de Inverno e de Verão

Segundo o Anexo Nacional do EC1-1-5 Portugal Continental está dividido em duas zonas para condições de Inverno e em três para o Verão.

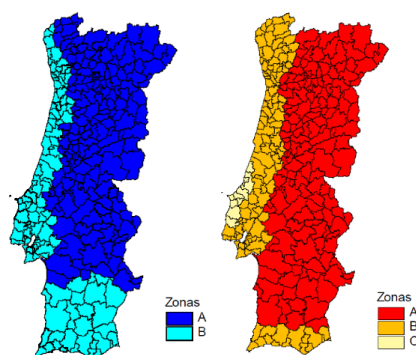


Figura 16 - Zonamento térmico para condições de Inverno e de Verão em Portugal Continental

2- Temperaturas mínima e máxima do ar à sombra, T_{\min} e T_{\max}

Os valores da temperatura mínima e máxima do ar à sombra a uma altitude zero são obtidos em função da zona térmica do país conforme a Tabela 13:

Tabela 13 - Zonamento térmico para condições de Inverno e de Verão

Condições de Inverno		Condições de Verão	
Zona Térmica	T_{\min} [°C]	Zona Térmica	T_{\max} [°C]
A	-5	A	45
B	0	B	40
C	5	C	35

A norma recomenda subtrair aos valores de T_{\min} , 0,5°C por cada 100m de altitude, e para os valores de T_{\max} , 1°C por cada 100m, respeitando as seguintes expressões:

$$T_{\min}(h) = T_{\min} - 0,005h \quad (45)$$

$$T_{\max}(h) = T_{\max} - 0,01h \quad (46)$$

Em que:

h altitude em metros medida em relação ao nível médio das águas do mar.

3- Temperatura do ar ambiente interior e exterior, T_{in} e T_{out}

Segundo o Anexo Nacional as temperaturas do ar ambiente interior e exterior são as indicadas nas Tabela 14 e Tabela 15.

Tabela 14 - Temperaturas indicativas T_{in} para ambientes interiores

Estação	Temperatura T_{in} [°C]
Verão	$T_1 = 25^\circ\text{C}$
Inverno	$T_2 = 18^\circ\text{C}$

Tabela 15 - Temperaturas indicativas T_{out} para zonas de edifícios acima do solo

Estação	Fator significativo	Temperatura T_{out} [°C]
Verão	Absorvidade relativa 0,5 clara brilhante	$T_{máx} + T_3$
	dependente da cor da superfície 0,7 clara	$T_{máx} + T_4$
	0,9 escura	$T_{máx} + T_5$
Inverno		$T_{mín}$

Devem utilizar-se os seguintes valores:

$$T_3 = 0^\circ\text{C}; T_4 = 2^\circ\text{C}; T_5 = 5^\circ\text{C} \quad (47)$$

Os valores de T_{out} são válidos para superfícies horizontais ou orientadas a Oeste.

De modo a ter em conta outras orientações T_{out} deve ser multiplicado pelo coeficiente η calculado pela expressão empírica:

$$\eta = 0,9 + 0,1 \text{sen} \left[\left(\frac{\beta}{360} \right)^{2,5} \times 360 - 90 \right] \quad (48)$$

Em que:

β representa o ângulo em graus que a normal exterior do elemento estrutural faz com o Norte medido no sentido horário (ex.: $N \rightarrow \beta = 0^\circ$; $S \rightarrow \beta = 180^\circ$; $SO \rightarrow \beta = 225^\circ$).

4- Temperatura média, T

A temperatura média de um elemento estrutural, T , para as condições de Inverno e de Verão é calculada pelas expressões:

$$T(I) = \frac{T_{in}(I) + T_{out}(I)}{2} \quad (49)$$

$$T(V) = \frac{T_{in}(V) + T_{out}(V)}{2} \quad (50)$$

Em que:

- $T(I)$ temperatura média em condições de Inverno;
- $T_{in}(I)$ temperatura do ar ambiente interior em condições de Inverno;
- $T_{out}(I)$ temperatura do ar ambiente exterior em condições de Inverno;
- $T(V)$ temperatura média em condições de Verão;
- $T_{in}(V)$ temperatura do ar ambiente interior em condições de Verão;
- $T_{out}(V)$ temperatura do ar ambiente exterior em condições de Verão.

5- Temperatura inicial na fase de construção, T_0

Uma vez que não é possível prever, na altura da construção, o valor da temperatura inicial o EC1-1-5 recomenda $T_0 = 15^\circ\text{C}$.

6- Variações uniformes de temperatura, ΔT_u^- e ΔT_u^+

As variações uniformes máximas negativa e positiva, ΔT_u^- e ΔT_u^+ de temperatura calculam-se a partir de:

$$\Delta T_u^- = T(I) - T_0 \quad (51)$$

$$\Delta T_u^+ = T(V) - T_0 \quad (52)$$

Variação Diferencial da Temperatura

Segundo a cl. 7.4(4) do EC1-1-5 a variação diferencial de temperatura, ΔT_M , em paredes de silos e de reservatórios é determinada pelas expressões seguintes:

$$\Delta T_M(I) = T_{\min} - T_{\text{material}} \quad (53)$$

$$\Delta T_M(V) = T_{\max} - T_{\text{material}} \quad (54)$$

Em que:

- $\Delta T_M(I)$ variação diferencial de temperatura em condições de Inverno;
- $\Delta T_M(V)$ variação diferencial de temperatura em condições de Verão;
- T_{material} temperatura do material *stockado*.

V. ANEXO V - METODOLOGIA PARA A QUANTIFICAÇÃO DAS PRESSÕES EM SILOS ESBELTOS E EM SILOS DE RETENÇÃO

Pressões em Silos Esbeltos

- Pressões verticais nas paredes durante o enchimento - Carga simétrica

A quantificação da carga simétrica resultante das operações de enchimento nas paredes dos silos verticais, é realizada a partir do cálculo das pressões seguindo o cálculo de um conjunto de variáveis através da seguinte metodologia:

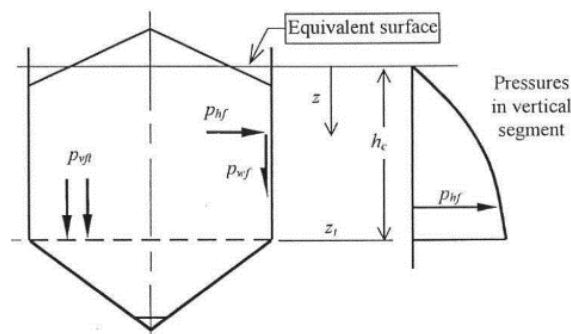


Figura 17 - Pressões nas paredes verticais devido ao enchimento - carga simétrica

1- Profundidade característica de *Janssen*, z_0 ;

$$z_0 = \frac{1}{K\mu} \times \frac{A}{U} \quad (55)$$

Em que:

- A área da secção transversal do silo;
- U perímetro interno da secção transversal do silo.

2- Pressão horizontal assintótica a grande profundidade devido ao material armazenado, p_{h0} ;

$$p_{h0} = \gamma \times K \times z_0 \quad (56)$$

3- Profundidade de *Janssen* em função da cota altimétrica da célula de armazenagem, $Y_j(z)$;

$$Y_j(z) = 1 - e^{-z/z_0} \quad (57)$$

4- Pressão horizontal nas paredes, após o enchimento, em função da cota altimétrica, $p_{hf}(z)$;

$$p_{hf}(z) = p_{h0} \times Y_J(z) \quad (58)$$

5- Pressão vertical de atrito nas paredes, após o enchimento, $p_{wf}(z)$;

$$p_{wf}(z) = \mu \times p_{h0} \times Y_J(z) \quad (59)$$

6- Pressão vertical no material armazenado após o enchimento, $p_{vf}(z)$;

$$p_{vf}(z) = \frac{P_{h0}}{K} \times Y_J(z) \quad (60)$$

7- Valor característico do esforço vertical (de compressão) na parede, n_{zsk} , por unidade de perímetro após o enchimento à profundidade z ;

$$n_{zsk} = \int_0^z p_{wf}(z) dz = \mu \times p_{h0} \times [z - z_0 \times Y_J(z)] \quad (61)$$

• Pressões nas paredes verticais decorrente do enchimento - Carga local

A carga local representa potenciais carregamentos acidentalmente assimétricos provocados por excentricidades e imperfeições na operação de enchimento, que podem, porém, ser ignorados nos seguintes casos:

- silos da classe 1;
- silos de armazenamento ventilados durante o enchimento.

A metodologia usada para o cálculo das pressões nas paredes durante o enchimento segue a determinação de um conjunto de parâmetros com a seguinte orientação:

1- Rácio, E , através da expressão:

$$E = \frac{2e_f}{d_c} \quad (62)$$

Em que:

e_f excentricidade máxima na superfície da pilha de material armazenado durante o processo de enchimento;

2- Fator de referência do sólido para a carga local, C_{op} ;

$$C_{op} = 0,7 \quad (63)$$

3- Fator majorativo da carga local no processo de enchimento, C_{pf} ;

$$C_{pf} = 0,21 \times C_{op} \times (1 + 2 \times E^2) \times (1 - e^{-1,5 \times [(h_c/d_c) - 1]}) \text{ com } C_{pf} \geq 0 \quad (64)$$

4- Magnitude de referência da pressão local devido ao enchimento, p_{pf} ;

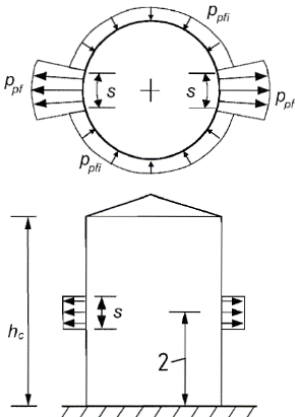
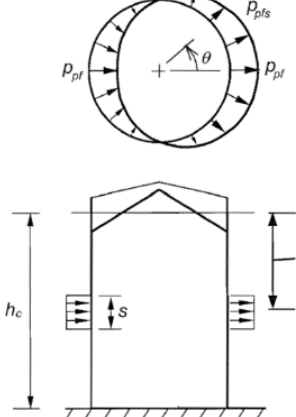
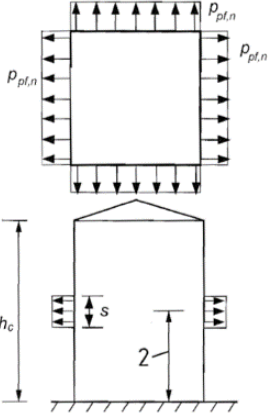
$$p_{pf} = C_{pf} \times p_{hf} \quad (65)$$

Em que, p_{hf} , é determinado à cota em que a carga local está aplicada.

5- Parâmetro, s , sujeita à carga local.

$$s = \frac{\pi \times d_c}{16} \approx 0,2 \times d_c \quad (66)$$

Tabela 16 - Variação da carga local durante o enchimento

Geometria da secção transversal	Silo Circular	Silo Circular	Silo Retangular
Relação d_c/t	Silo de parede espessa $d_c/t < 200$	Silo de parede delgada $d_c/t > 200$	-
Material	Betão armado	Aço	Betão armado ou Aço
Variação da carga local ao longo da secção transversal e da altura do silo			
Carga local	$p_{pfi} = \frac{p_{pf}}{7}$	$p_{pfs} = p_{pf} \times \cos \theta$	$p_{pfn} = 0,36 \times p_{pf}$
Ponto de aplicação em altura	2 - Em qualquer posição	1 - Em qualquer posição, exceto em silos soldados da classe 2 (abaixo da superfície de equivalência, o mín z_0 e $h_c/2$)	2 - Em qualquer posição

Em que:

p_{pfi} pressão local complementar inversa após o enchimento;

- p_{pfs} pressão local em função da coordenada angular circunferencial, θ , após o enchimento;
- $p_{pf,nc}$ pressão uniforme num silo não circular que representa os efeitos da carga local após o enchimento.

• **Pressões nas paredes verticais decorrente do esvaziamento - Carga simétrica**

O processo de esvaziamento provoca aumentos transitórios das pressões nas paredes dos silos, que são tidos em consideração através de cargas suplementares.

A determinação deste tipo de pressões obriga à determinação dos seguintes elementos informativos:

1- Fatores de esvaziamento para a pressão horizontal, C_h , e para o atrito nas paredes, C_w .

Tabela 17 - Fatores de esvaziamento para a pressão horizontal e para o atrito

Classe do silo	C_h	C_w
Silo de qualquer classe descarregado pelo topo	1,0	1,0
Silo esbelto da classe 2 ou 3	1,15	1,10
Silo esbelto da classe 1 dimensionado recorrendo aos valores médios de K e μ	$C_h = 1,15 + 1,5 \times \left(1 + 0,4 \times \frac{e}{d_c} \right) \times C_{op}$ $e = \max \{ e_f; e_0 \}$	$C_w = 1,4 \times \left(1 + 0,4 \times \frac{e}{d_c} \right)$ $e = \max \{ e_f; e_0 \}$

Em que:

- e_0 excentricidade do centro da abertura de saída do material em relação ao centro do silo durante a operação de esvaziamento;

2- Pressão horizontal durante o esvaziamento, p_{he} ;

$$p_{he} = C_h \times p_{hf} \quad (67)$$

3- Quantificação do atrito durante o esvaziamento, P_{we} ;

$$p_{we} = C_w \times p_{wf} \quad (68)$$

4- Valor característico resultante da força vertical nas paredes, n_{zsk} , por unidade de perímetro, durante o esvaziamento à profundidade z :

$$n_{zsk} = \int_0^z p_{we}(z) dz = C_w \times \mu \times p_{h0} \times [z - z_0 \times Y_1(z)] \quad (69)$$

- **Pressões nas paredes verticais durante o esvaziamento - Carga local**

Para ter em consideração as cargas acidentalmente assimétricas durante o esvaziamento recorre-se à carga local, inclui-se também a influência das excentricidades de entrada e de saída do produto, que podem, porém, ser ignoradas nos silos da classe 1.

No projeto aplicou-se a seguinte metodologia:

1- Determinação do rácio, E;

$$E = \frac{2 \times \max\{e_f; e_0\}}{d_c} \quad (70)$$

2- Cálculo do fator de referência do sólido para a carga local, C_{op} ;

$$C_{op} = 0,7 \quad (71)$$

3- Fator majorativo da carga local na operação de esvaziamento, C_{pe} ;

$$C_{pe} = 0,42 \times C_{op} \times (1 + 2 \times E^2) \times \left(1 - e^{\{-1,5 \times [(h_c/d_c) - 1]\}}\right) \text{ para } h_c/d_c > 1,2 \quad (72)$$

Nota: Caso se verifique a relação $h_c/d_c \leq 1,2$ considera-se para, C_{pe} , o maior dos valores:

$$C_{pe} = 0,272 \times C_{op} \times [(h_c/d_c) - 1 + E] \quad (73)$$

$$C_{pe} = 0 \quad (74)$$

4- Magnitude de referência da pressão local devido ao esvaziamento, P_{pe} ;

$$P_{pe} = C_{pe} \times p_{he} \quad (75)$$

5- Parâmetro de quantificação, s;

$$s = \frac{\pi \times d_c}{16} \approx 0,2 \times d_c \quad (76)$$

Tabela 18 - Variação da carga local durante o esvaziamento em função do tipo de silo

Geometria da secção transversal	Silo Circular	Silo Circular	Silo Retangular
Relação d_c/t	Silo de parede espessa $d_c/t < 200$	Silo de parede delgada $d_c/t > 200$	-

Geometria da secção transversal	Silo Circular	Silo Circular	Silo Retangular
Material	Betão armado	Aço	Betão armado ou Aço
Variação da carga local ao longo da secção transversal e da altura do silo			
Carga local	$p_{pei} = \frac{p_{pe}}{7}$	$p_{pes} = p_{pe} \times \cos \theta$	$p_{pe,nc} = 0,36 \times p_{pe}$
Ponto de aplicação em altura	2 - Em qualquer posição	1 - Em qualquer posição, exceto em silos soldados da classe 2 (abaixo da superfície de equivalência, o mín z_0 e $hc/2$)	2 - Em qualquer posição

Em que:

- p_{pei} pressão local complementar;
- p_{pfs} pressão local função da coordenada angular circunferencial, θ ;
- $p_{pe,nc}$ pressão uniforme não circular referente aos efeitos da carga local.

• **Pressões no fundo durante as operações de enchimento e esvaziamento**

A pressão vertical, p_v , que atua no fundo plano dos silos é uniforme, exceto em silos “pouco esbeltos” ou de esbelteza intermédia, e é igual a:

$$p_v = C_b \times p_{vf} \tag{77}$$

Em que:

- C_b coeficiente majorativo das cargas aplicadas no fundo.

Pressões em Silos de Retenção

• **Pressão horizontal nas paredes verticais na operação de enchimento**

A pressão horizontal, p_h , calcula-se pela expressão:

$$p_h = \gamma \times K \times (1 + \text{sen}\phi_r) \times z_s \quad (78)$$

Em que:

z_s ordenada de contacto entre o material armazenado e as paredes verticais.

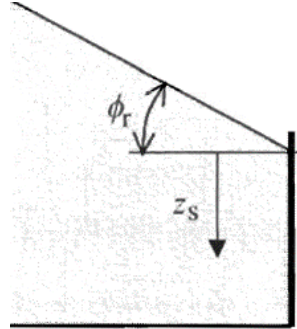


Figura 18 - Parâmetros geométricos para o cálculo da pressão horizontal

O valor característico da força de atrito na parede, n_{zsk} , por unidade de perímetro no enchimento, à profundidade z_s é calculado por:

$$n_{zsk} = \gamma \times \frac{\mu \times K}{2} \times (1 + \text{sen}\phi_r) \times z_s^2 \quad (79)$$

VI. ANEXO VI - ANÁLISE ESTRUTURAL SEGUNDO O EC3-1-1

Análise Global Elástica

A análise global elástica assenta na premissa que o aço obedece à lei de Hooke, ou seja, que a relação entre as tensões e as extensões é linear para qualquer nível de tensão.

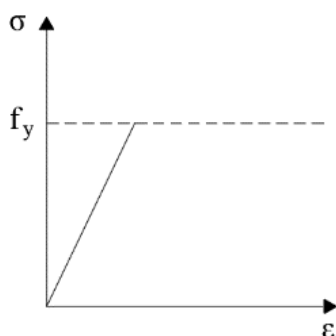


Figura 19 - Tensão-deformação em regime elástico

Este tipo de análise aplica-se a todas as classes de secção transversal. Para as secções das classes 1 e 2 o dimensionamento deve ser feito plasticamente, por razões económicas.

Para as secções das classes 3 e 4 o dimensionamento é feito elasticamente. Nas secções da classe 4 é necessário considerar sempre a encurvadura local das placas que formam as secções. As características efetivas destas secções são calculadas com base no EC3-1-5.

Análise Global Plástica

Segundo o EC3-1-1 o cálculo dos esforços na análise global plástica é feito considerando o comportamento não linear dos aços.

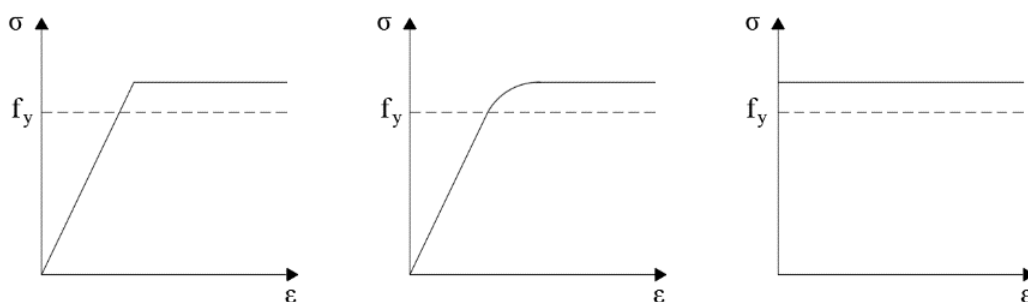


Figura 20 - Relações tensão-deformação nos regimes elástico perfeitamente plástico, elasto-plástico e rígido-plástico

O EC3-1-1 indica os principais requisitos para a utilização de uma análise global plástica:

- Estruturas hiperestáticas;
- Os aços devem ter ductilidades adequadas e cumprir os requisitos do EC3-1-1;
- As secções transversais onde se formam rótulas plásticas têm de ter capacidade de rotação adequada;

- Os elementos onde se formam as rótulas plásticas devem estar contraventados lateralmente.

Esta análise permite aproveitar a resistência plástica dos elementos conduzindo a resultados mais económicos.

Análise Global de 1ª Ordem

A análise global de 1ª ordem baseia-se na teoria dos pequenos deslocamentos. Nesta análise as condições de equilíbrio são formuladas a partir da geometria inicial indeformada da estrutura.

Segundo o EC3-1-1 a análise global de 1ª ordem pode ser aplicável quando os “efeitos” da deformação são desprezáveis na quantificação dos esforços. Aplica-se para uma dada combinação de ações quando se verificarem as seguintes expressões:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10 \quad \text{para a análise elástica} \quad (80)$$

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15 \quad \text{para a análise plástica} \quad (81)$$

Em que:

- α_{cr} valor mínimo do fator de amplificação dos esforços que é necessário considerar para se atingir a carga crítica de encurvadura elástica;
- F_{cr} valor crítico do carregamento associado à instabilidade elástica num modo com deslocamentos laterais, determinado com base nos valores de rigidez iniciais;
- F_{Ed} valor de cálculo do carregamento da estrutura.

Estruturas que cumpram estas condições são designadas por “*Non-Sway*” e no caso de serem suscetíveis de instabilizar globalmente por “*Sway*”.

Quantificação de α_{cr}

A quantificação do fator de carga crítica, α_{cr} , pode ser realizada recorrendo a métodos exatos (utilização de *softwares* apropriados) ou através de métodos aproximados.

Em pórticos de travessas inclinadas com declives pouco acentuados (<26°), e também em pórticos planos de edifícios com vigas e colunas, nos quais as vigas ou travessas não estejam sujeitas a compressão axial significativa, o EC3-1-1 propõe o método de Horne para a determinação do α_{cr}
:

$$\alpha_{cr} = \left(\frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} \right) \left(\frac{h}{\delta_{H,Ed}} \right) \quad (82)$$

Em que:

- H_{Ed} valor de cálculo da carga horizontal total incluindo as forças equivalentes transmitidas pelo piso (*storey shear*);
- V_{Ed} valor de cálculo da carga vertical total transmitida pelo piso (*storey thrust*);
- h altura do piso;
- $\delta_{H,Ed}$ deslocamento horizontal no topo do piso medido em relação à sua base, quando se consideram carregamentos definidos pelos valores de cálculo das ações horizontais e das cargas horizontais fictícias aplicadas ao nível de cada piso.

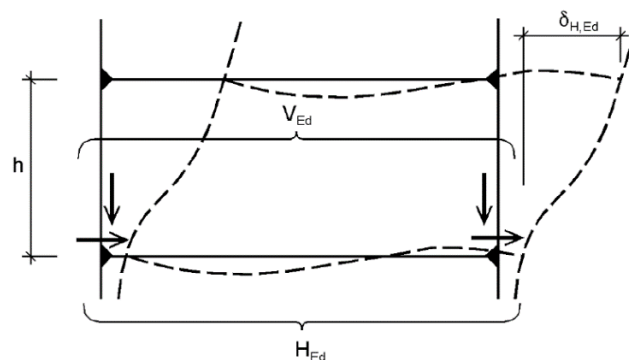


Figura 21 - Deformação do pórtico devido a cargas verticais e horizontais

De referir que a compressão axial é significativa em vigas quando:

$$\bar{\lambda} \geq 0,3 \sqrt{\frac{Af_y}{N_{Ed}}} \quad (83)$$

Análise Global de 2ª Ordem

Quando as ações originam deslocamentos que não podem “ser desprezados” os esforços são agravados e por isso devem ser tidos em consideração nas análises a realizar.

Para caracterizar a trajetória de equilíbrio não linear de um pórtico (determinação da evolução dos valores dos deslocamentos, esforços, etc.) é necessário considerar os “efeitos de 2ª ordem” ou efeitos (P-delta).

Estes efeitos são devidos aos deslocamentos do pórtico e geram esforços adicionais, os quais, por sua vez, alteram os valores dos próprios deslocamentos.

Esta dependência entre esforços e deslocamentos faz com que seja necessário recorrer a técnicas iterativas para obter a solução de um problema com estas características.

Segundo (Reis & Camotim, 2012), tal como sucede nas colunas-viga (efeitos (P- Δ) e (P- δ)) os efeitos p-delta nos pórticos podem ser de dois tipos.

1- Efeitos (P- Δ) - Relacionados com deslocamentos relativos das extremidades das barras (rotações das cordas) também designados “efeitos de 2ª ordem globais”. Correspondem a tomar para a configuração deformada do pórtico a linha poligonal definida pelas cordas das várias barras.

Estes efeitos de 2ª ordem são provocados pelas cargas verticais aplicadas e só existem em pórticos não contraventados e dão origem a diagramas de momentos fletores adicionais lineares (secundários).

2- Efeitos (P- δ) - Relacionados com deslocamentos das configurações deformadas de cada barra comprimida do pórtico em relação à posição da corda respetiva (curvaturas) também designados “efeitos de 2ª ordem locais”.

Estes efeitos são provocados pelos esforços de compressão e existem tanto em pórticos contraventados como não contraventados, originando diagramas de momentos fletores (secundários) adicionais não lineares.

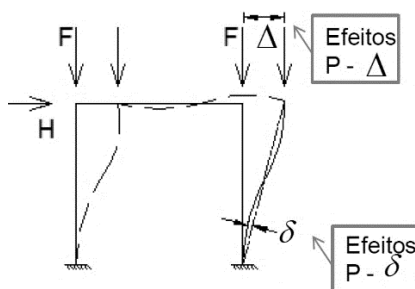


Figura 22 - Tipos de efeitos de 2ª ordem explicitados por (Santos Viseu, Introdução aos eurocódigos estruturais - NP EN 1993-1-1:2010 Projecto de Estruturas de Aço - Regras gerais e regras para edifícios, 2014)

A contabilização dos efeitos de 2ª ordem pode ser feita:

- Diretamente para os efeitos P- Δ e/ou P- δ através de softwares de cálculo automático que trabalhem com base no MEF, que através de processos iterativos quantifiquem o grau de majoração existente nos esforços inicialmente instalados.

O EC3-1-1 permite ainda a dispensa do cálculo dos efeitos locais (P- δ) de segunda ordem sempre que sejam efetuadas as verificações de segurança dos elementos à encurvadura, assim como a dispensa da verificação dos elementos à encurvadura quando os efeitos de segunda ordem locais são calculados.

O EC3-1-1 obriga que este tipo de análise seja sempre verificado quando $\alpha_{cr} < 3,0$.

- Indiretamente para os efeitos P- Δ através de uma análise de 1ª ordem cujos esforços atuantes são majorados com a consideração das cargas equivalentes às imperfeições geométricas $V_{Ed} \phi$ e da amplificação das cargas horizontais H_{Ed} .

Esta análise limita-se a pórticos regulares cujo primeiro modo de instabilidade seja predominante, calculados com base numa análise elástica global, em que a condição $\alpha_{cr} \geq 3,0$ se verifique.

O fator de amplificação é determinado por:

$$\frac{1}{1 - 1/\alpha_{cr}} \quad (84)$$

Imperfeições

As imperfeições, de caráter geométrico (falta de verticalidade ou horizontalidade dos elementos), ou ao nível dos materiais (tensões residuais) e outras (excentricidades de aplicação de cargas ou ligações defeituosas) são “variáveis” que devem ser consideradas nos processos de análise e dimensionamento.

Imperfeições Globais e Locais em Pórticos

No caso de edifícios a norma dispensa a determinação das imperfeições globais de pórticos, sempre que:

$$H_{Ed} \geq 0,15V_{Ed} \quad (85)$$

- **Imperfeições Globais em Pórticos**

A amplitude das imperfeições globais dos pórticos calcula-se por:

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m \quad (86)$$

Em que:

- ϕ imperfeição inicial global associada à falta de verticalidade;
- ϕ_0 valor de base (igual a 1/200) da imperfeição inicial global associada à falta de verticalidade;
- α_h coeficiente de redução para considerar a altura h do pórtico, com:

$$\frac{2}{3} \leq \alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \leq 1,0;$$
- h altura de um pórtico;
- α_m coeficiente de redução para ter em conta o número de colunas num piso com:

$$\alpha_m = \sqrt{0,5(1 + 1/m)}$$
- m número de colunas num piso submetidas a um esforço axial igual ou superior a 50% do valor médio por coluna no plano vertical considerado.

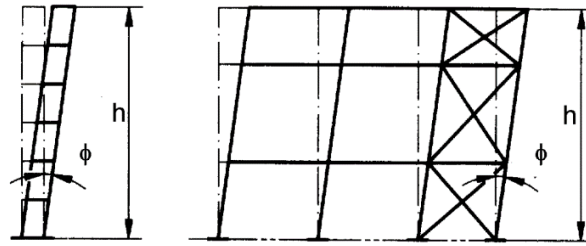


Figura 23 - Imperfeições globais equivalentes

- **Imperfeições Locais dos Elementos em Pórticos**

Neste Projeto foram efetuadas as verificações de segurança dos elementos à encurvadura, pelo que se dispensou o cálculo de imperfeições locais dos elementos em pórticos.

- **Forças Equivalentes**

Os efeitos das imperfeições iniciais (globais ou locais) podem ser substituídos por forças horizontais equivalentes, recorrendo a um binário de forças horizontais aplicado numa coluna indeformada.

Quando se analisam as colunas apoiadas no solo as forças horizontais equivalentes devem ser aplicadas acima da linha de ação dos apoios, para que as reações não sejam afetadas como indica (Sanches, Dimensionamento de um Pavilhão Industrial Metálico com Fundações Indirectas, 2015).

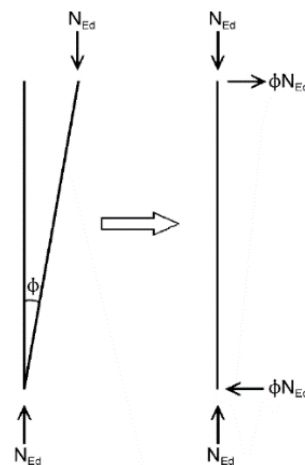


Figura 24 - Substituição das imperfeições iniciais por forças horizontais equivalentes

Nota: As imperfeições globais devem considerar-se em todas as direções horizontais relevantes, e apenas de cada vez numa única direção.

- **Forças Horizontais nos Diafragmas dos Pisos**

O cálculo das forças horizontais que atuam nos diafragmas dos pisos é feito a partir da expressão (86) com base no modelo da figura seguinte.

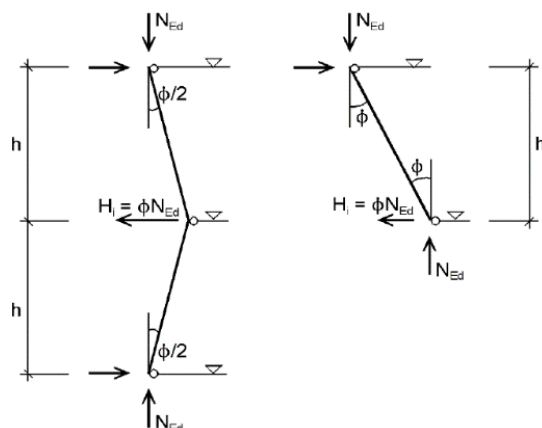


Figura 25 - Configuração da imperfeição global do pórtico no cálculo das forças horizontais que atuam nos diafragmas dos pisos

Imperfeições para a Análise dos Sistemas de Contraventamento

Segundo a norma os efeitos das imperfeições devem ser incluídos na análise de sistemas de contraventamento que permitem assegurar a estabilidade lateral ao longo do comprimento de vigas ou de elementos comprimidos, através de uma imperfeição geométrica equivalente dos elementos a travar, com a forma de uma deformada inicial igual a:

$$e_0 = \alpha_m L / 500 \quad (87)$$

Em que, m , representa o número de elementos a travar e L o comprimento do sistema da contraventamento.

Quando for desejável, os efeitos das deformadas iniciais dos elementos contraventados podem ser substituídos por uma força estabilizante equivalente, q_d .

$$q_d = \sum N_{Ed} 8 \frac{e_0 + \delta_q}{L^2} \quad (88)$$

Em que:

δ_q deslocamento do sistema de contraventamento, no seu próprio plano, devido a q e a eventuais cargas exteriores, calculado através de uma análise de 1ª ordem.

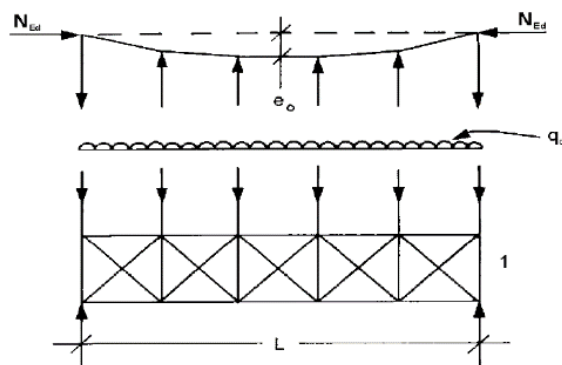


Figura 26 - Força estabilizadora equivalente

Quando o sistema de contraventamento for necessário para estabilizar o banzo comprimido de uma viga de altura constante, a força N_{Ed} pode ser determinada por:

$$N_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{h} \quad (89)$$

Em que:

M_{Ed} momento fletor máximo da viga;

h altura total da viga.

De referir, porém, e em resumo, que a análise global mais utilizada é a elástica de 1ª ordem que conduz a resultados mais conservativos. De referir que quando parte das estruturas são normalmente projetadas para não serem globalmente instáveis e trabalharem com tensões inferiores à tensão de cedência.

VII. ANEXO VII - ENCURVADURA EM COLUNAS PERFEITAS

Colunas Perfeitas

O estudo de colunas perfeitas foi iniciado por Euler, que definiu “a carga crítica”, P_{cr} , através da expressão (90) partindo das seguintes premissas:

- Teoria das pequenas deformações;
- Material elástico regido pela lei de *Hooke*;
- Teoria de *Navier*;
- Eixo longitudinal retilíneo e esforço axial sem excentricidades;
- Barra bi-articulada de secção constante;
- Ausência de tensões residuais.

$$P_{cr}^n = \frac{n^2 \pi^2}{L^2} EI \quad (90)$$

Em que:

- P_{cr} carga axial crítica para encurvadura por flexão;
- n números de cargas críticas;
- L comprimento da coluna;
- E módulo de elasticidade do material;
- I momento de inércia em relação ao eixo mais fraco.

A carga crítica P_{cr}^1 é a que confere à coluna menor energia potencial (Calado, Resistência de Materiais 2 - Estabilidade do Equilíbrio, 1994).

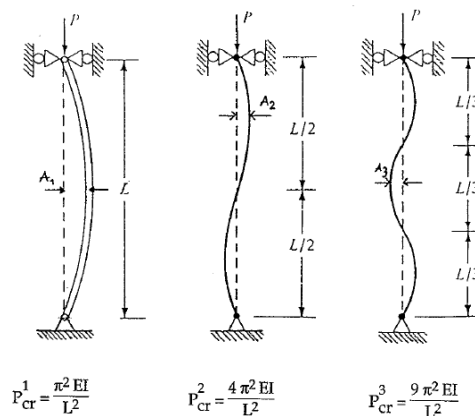


Figura 27 - Deformadas sinusoidais de colunas perfeitas

As cargas críticas 2, 3 e seguintes conduzem a configurações de deformadas instáveis e só aparecem em colunas travadas transversalmente.

Euler concluiu também, que a carga crítica para outras condições de apoio pode ser obtida pela expressão:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2}{L_e^2} EI \quad (91)$$

Em que:

L_e comprimento de encurvadura dado pela distância entre os pontos de inflexão da deformada.

Tabela 19 - Condições de apoio, comprimentos de encurvadura e cargas críticas

Condições de apoio e deformada de encurvadura						
L_e	0,5L	0,7L	L	L	2L	2L
P_{cr}	$\frac{4\pi^2 EI}{L^2}$	$\frac{2,04\pi^2 EI}{L^2}$	$\frac{\pi^2 EI}{L^2}$	$\frac{\pi^2 EI}{L^2}$	$\frac{\pi^2 EI}{4L^2}$	$\frac{\pi^2 EI}{4L^2}$
Apoios	Rotação e translação impedidas	Rotação livre e translação impedida	Rotação e translação livres	Rotação impedida e translação livre	Rotação e translação livres	Rotação e translação impedidas

Os operadores que permitem o estudo de colunas são:

$$\sigma_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{A} = f_y \quad (92)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e A} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad (93)$$

Sendo:

$$\lambda = \frac{L_e}{i}; i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (94)$$

Em que:

i raio de giração da secção transversal em relação ao eixo menos resistente;

λ esbelteza da coluna.

Igualando as equações (92) e (93) obtém-se a esbelteza de referência, λ_1 , que representa a esbelteza para a qual o dimensionamento de uma coluna perfeita é condicionado simultaneamente pela plastificação da secção e pela encurvadura.

$$\sigma_{cr} = f_y (=) \frac{\pi^2 E}{\lambda_1^2} = f_y (=) \lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (95)$$

De modo a verificar se o dimensionamento é regido pela plastificação da secção ($\bar{\lambda} < 1$) ou pela encurvadura do elemento ($\bar{\lambda} > 1$), define-se a esbelteza normalizada, $\bar{\lambda}$, recorrendo à expressão:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \quad (96)$$

Embora a NP EN 1993-1-1 “não limite” a esbelteza de colunas, porém, recomenda valores inferiores a 180 em elementos primários e 250 em secundários.

Resumindo se se considerarem duas colunas com a mesma secção transversal, com iguais condições de ligação ao exterior, mas com diferentes comprimentos, conforme se mostra na Figura 28.

A coluna 1 por ter maior comprimento atinge o colapso mais facilmente, uma vez que está condicionada por fenómenos de encurvadura. Ao invés, a coluna 2 com menor comprimento resiste melhor, uma vez que o seu comportamento depende da plastificação das secções transversais.

O dimensionamento de uma coluna é, pois, condicionado pela menor das tensões σ_{Ed} (associada à plastificação da secção) e σ_{cr} (relacionada com a carga crítica) conforme se mostra na Figura 29.

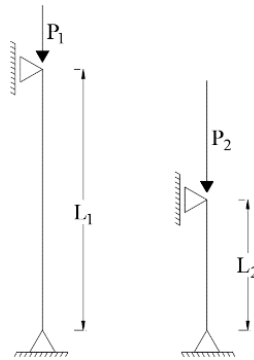


Figura 28 - Colunas perfeitas com diferentes comprimentos

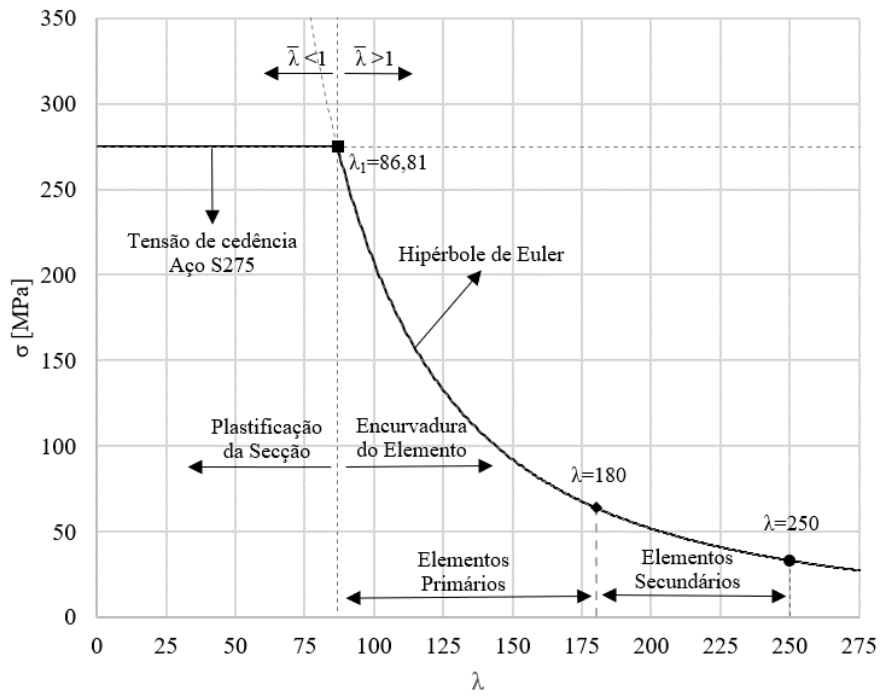





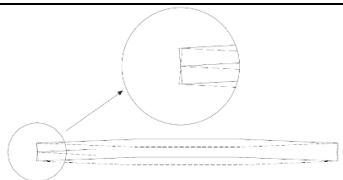
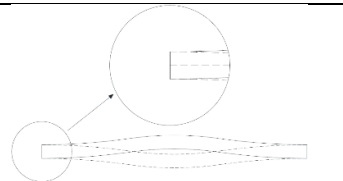
Figura 29 - Curva de dimensionamento de uma Coluna Perfeita - Aço S275

VIII. ANEXO VIII - ELEMENTOS PARA O CÁLCULO DA ENCURVADURA LATERAL EM VIGAS

Coefficientes k_z e k_w

Na tabela infra indicam-se os coeficientes k_z e k_w utilizados no cálculo do momento crítico que estão dependentes das condições de ligação das vigas ao exterior.

Tabela 1 - Coeficientes k_z e k_w

		
$k_z = 1,0$	$k_z = 0,7$	$k_z = 0,5$
	Uma extremidade com o empenamento livre e outra com o empenamento impedido	
Ambas as extremidades com o empenamento livre		Ambas as extremidades com o empenamento impedido
$k_w = 1,0$	$k_w = 0,7$	$k_w = 0,5$

Coefficientes z_g e z_j

O valor de z_g é positivo quando o sentido da carga é do ponto de aplicação para o centro de corte (efeito desestabilizante), nulo quando a carga é aplicada no centro de corte e negativo quando o sentido da carga é do centro de corte para o local de aplicação (efeito estabilizante).

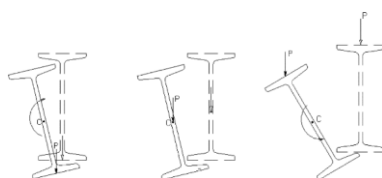


Figura 1 - Ponto de aplicação da carga e determinação do momento crítico (Santos Viseu, Introdução aos eurocódigos estruturais - NP EN 1993-1-1:2010 Projecto de Estruturas de Aço - Regras gerais e regras para edifícios, 2014)

O valor de z_j calcula-se pelas expressões:

$$z_j = 0,4h_s (2\beta_f - 1) \text{ para } \beta_f \geq 0,5 \quad (1)$$

$$z_j = 0,5h_s (2\beta_f - 1) \text{ para } \beta_f < 0,5 \quad (2)$$

$$\beta_f = \frac{I_{fc}}{I_{fc} + I_{ft}} \quad (3)$$

Em que:


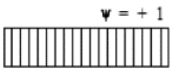
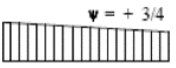
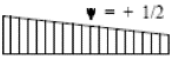
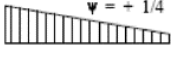




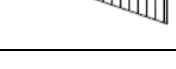
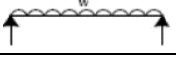
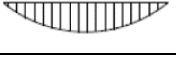
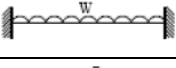
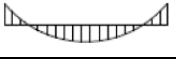
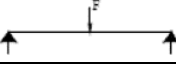
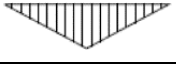
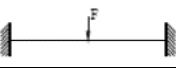

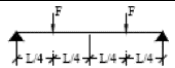

h_s distância entre os centros de gravidade dos banzos;

I_{fc} e I_{ft} momentos de inércia dos banzos comprimido e tracionado em relação ao eixo de menor inércia, respetivamente.

Coeficientes C1, C2 e C3

Na Tabela 2 indicam-se os valores dos fatores C1, C2 e C3.

Tabela 2 - Fatores C1, C2 e C3

Carregamento e condições de apoio	Diagrama de momento fletor	Valor de k	Valor dos fatores		
			C1	C2	C3
		1,0	1,000		1,000
		0,7	1,000		1,113
		0,5	1,000		1,144
		1,0	1,141		0,998
		0,7	1,270		1,565
		0,5	1,305		2,283
		1,0	1,323		0,992
		0,7	1,473		1,556
		0,5	1,514		2,271
		1,0	1,563		0,977
		0,7	1,739		1,531
		0,5	1,788		2,235
	1,0	1,789		0,939	
	0,7	2,092		1,473	
	0,5	2,150		2,150	
	1,0	2,281		0,855	
	0,7	2,538		1,340	
	0,5	2,609		1,957	
	1,0	2,704		0,676	
	0,7	3,009		1,059	
	0,5	3,093		1,546	
	1,0	2,927		0,366	
	0,7	3,009		0,575	
	0,5	3,093		0,837	
	1,0	2,752		0,000	
	0,7	3,063		0,000	
	0,5	3,149		0,000	
		1,0	1,132	0,459	0,525
		0,5	0,972	0,304	0,980
		1,0	1,258	1,562	0,753
		0,5	0,712	0,652	1,070
		1,0	1,365	0,553	1,730
		0,5	1,070	0,432	3,050
		1,0	1,565	1,267	2,640
		0,5	0,938	0,715	4,800
		1,0	1,046	0,430	1,120
		0,5	1,010	0,410	1,890

C1 tem o valor unitário quando o momento fletor é constante que corresponde ao banzo superior estar comprimido em todo o vão, originando-se uma situação que é mais propícia à instabilidade lateral.

IX. ANEXO IX - FATORES DE INTERAÇÃO EM COLUNAS-VIGA (MÉTODO AUSTRO-ALEMÃO)

Tabela 1 - Fatores de interação kij para elementos não suscetíveis à deformação por torção

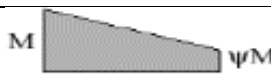
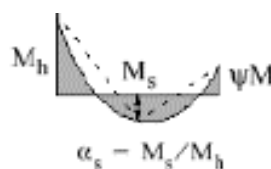
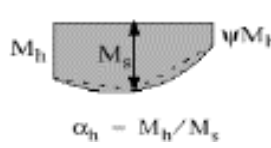
Fatores de interação	Tipo de secções	Hipóteses de cálculo	
		Propriedades elásticas das secções transversais das classes 3 e 4	Propriedades plásticas das secções transversais das classes 1 e 2
k_{yy}	Secções em I	$C_{my} \left(1 + 0,6\bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	Secções tubulares retangulares	$\leq C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$\leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
k_{yz}	Secções em I tubulares retangulares	k_{zz}	$0,6k_{zz}$
k_{zy}	Secções em I tubulares retangulares	$0,8k_{yy}$	$0,6k_{yy}$
k_{zz}	Secções em I	$C_{mz} \left(1 + 0,6\bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	Secções tubulares retangulares	$\leq C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$\leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$

Nota: Em secções I, H e tubulares retangulares com compressão axial e flexão reta $M_{y,Ed}$, o fator k_{zy} poderá ser tomado igual a zero.

Tabela 2 - Fatores de Interação kij para elementos suscetíveis à deformação por torção

Fatores de interação	Hipóteses de cálculo	
	Propriedades elásticas das secções transversais das classes 3 e 4	Propriedades plásticas das secções transversais das classes 1 e 2
k_{yy}	k_{yy} da Tabela 1	k_{yy} da Tabela 1
k_{yz}	k_{yz} da Tabela 1	k_{yz} da Tabela 1
k_{zy}	$\left[1 - \frac{0,05\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\leq \left[1 - \frac{0,05}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$	$\left[1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\leq \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ <p>Para $\bar{\lambda}_z < 0,4$</p> $k_{zy} = 0,6 + \bar{\lambda}_z \leq 1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}}$
k_{zz}	k_{zz} da Tabela 1	k_{zz} da Tabela 1

Tabela 3 - Coeficientes de Momento Uniforme Equivalente C_m

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

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

C_{my}, C_{mz} e C_{mLT} deverão ser obtidos de acordo com o diagrama dos momentos fletores atuantes entre as secções de travamento, de acordo com:

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

X. ANEXO X - PORMENORIZAÇÃO DE ELEMENTOS DE BETÃO ARMADO

- **Espaçamento mínimo entre varões - d_{\min}**

Com o objetivo de garantir uma betonagem e compactação do betão satisfatórias, e também adequadas condições de aderência, as distâncias entre varões paralelos deve respeitar a seguinte condição:

$$d_{\min} = \max \{k_1 \phi; d_g + k_2; 20\text{mm}\} \quad (97)$$

Em que:

- k_1 coeficiente de valor 1mm;
- ϕ diâmetro do varão [mm];
- d_g dimensão máxima do agregado [mm];
- k_2 coeficiente de valor 5mm.

- **Diâmetro mínimo de dobragem**

O diâmetro mínimo de dobragem dos varões $\phi_{m,\min}$, de modo a impedir o aparecimento de fendas nos varões e a rotura do betão, deve ser:

Tabela 1 - Diâmetro mínimo de dobragem

ϕ	$\phi_{m,\min}$
$\phi \leq 16\text{mm}$	4ϕ
$\phi > 16\text{mm}$	7ϕ

- **Comprimento de amarração**

As amarrações garantem a transferência de forças de aderência das armaduras ao betão de forma adequada, evitando a fendilhação longitudinal, assim como o destacamento do betão.

O comprimento de amarração, l_{bd} , deve respeitar as expressões:

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqd} \geq l_{b,\min} \quad (98)$$

Com:

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi \sigma_{sd}}{4f_{bd}} \quad (99)$$

$$f_{bd} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd} \quad (100)$$

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk,0.05}}{\gamma_c} \quad (101)$$

Em que:

$l_{b,rqd}$	comprimento de amarração de referência;
ϕ	diâmetro do varão;
σ_{sd}	valor de cálculo da tensão na secção do varão a partir da qual é medido o comprimento de amarração. Considera-se igual a f_{yd} ;
f_{bd}	tensão de aderência;
η_1	coeficiente relacionado com as condições de aderência e com a posição do varão durante a betonagem. Igual à unidade em casos de boa aderência ou igual a 0,7 em caso contrário;
η_2	coeficiente relacionado com o diâmetro do varão. Igual à unidade para diâmetros de varão não superior a 32mm ou igual a $(132-\phi)/100$ em cc;
f_{ctd}	valor de cálculo da tensão de rotura à tração;
α_{ct}	coeficiente de valor unitário (recomendado) que tem em conta os efeitos de longo prazo na resistência à tração e os efeitos desfavoráveis resultantes do modo como a carga é aplicada.
$f_{ctk,0.05}$	5% do valor da tensão de rotura do betão à compressão de acordo com o quadro 3.1 do EC2;

Os coeficientes α_i são calculados a partir do no quadro 8.2 do EC2.

α_1	coeficiente que contempla o efeito da forma dos varões admitindo um recobrimento adequado. De forma conservativa considera-se unitário;
α_2	coeficiente que contempla o efeito do recobrimento mínimo de betão. De forma conservativa considera-se unitário;
α_3	coeficiente que contempla o efeito de cintagem das armaduras transversais. De forma conservativa considera-se unitário;
α_4	coeficiente que contempla a influência de um ou mais varões transversais soldados ao longo de l_{bd} . De forma conservativa considera-se igual a 0,7;
α_5	coeficiente que contempla o efeito da pressão ortogonal ao plano de fendimento ao longo de l_{bd} . De forma conservativa considera-se unitário;

O cálculo do comprimento de amarração mínimo, $l_{b,min}$, determina-se pelas expressões (102) e (103) para os varões tracionados e comprimidos respetivamente:

$$l_{b,min} \geq \max \{0,3 \times l_{b,rqd}; 10\phi; 100\text{mm}\} \quad (102)$$

$$l_{b,min} \geq \max \{0,6 \times l_{b,rqd}; 10\phi; 100\text{mm}\} \quad (103)$$

- **Amarração de armaduras transversais**

A amarração de cintas e de armaduras de esforço transversal deve ser realizada com recurso a cotovelos e ganchos ou recorrendo a armaduras transversais soldadas. Deve colocar-se sempre um varão no interior do gancho ou cotovelo.

- **Recobrimento de armaduras**

O recobrimento das armaduras é a distância entre a superfície da armadura (incluindo ganchos, cintas, estribos e armaduras de pele) e a face exterior de betão.

O recobrimento nominal é calculado por:

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{mín}} + \Delta c_{\text{dev}} \quad (104)$$

O recobrimento mínimo tem por finalidade transmitir não só as forças de aderência, proteger o aço da corrosão, mas também conferir resistência ao fogo.

$$c_{\text{mín}} = \text{máx} \{ c_{\text{mín},b}; c_{\text{mín},dur} + \Delta c_{\text{dur},\gamma} - \Delta c_{\text{dur},st} - \Delta c_{\text{dur},add}; 10\text{mm} \} \quad (105)$$

Em que:

- $c_{\text{mín},b}$ recobrimento mínimo para os requisitos de aderência;
- $c_{\text{mín},dur}$ recobrimento mínimo relativo às condições ambientais;
- $\Delta c_{\text{dur},\gamma}$ margem de segurança;
- $\Delta c_{\text{dur},st}$ redução do recobrimento mínimo no caso de utilização de aço inoxidável;
- $\Delta c_{\text{dur},add}$ redução do recobrimento mínimo no caso de proteção adicional.

XI. ANEXO XI - MÉTODO DOS COEFICIENTES GLOBAIS

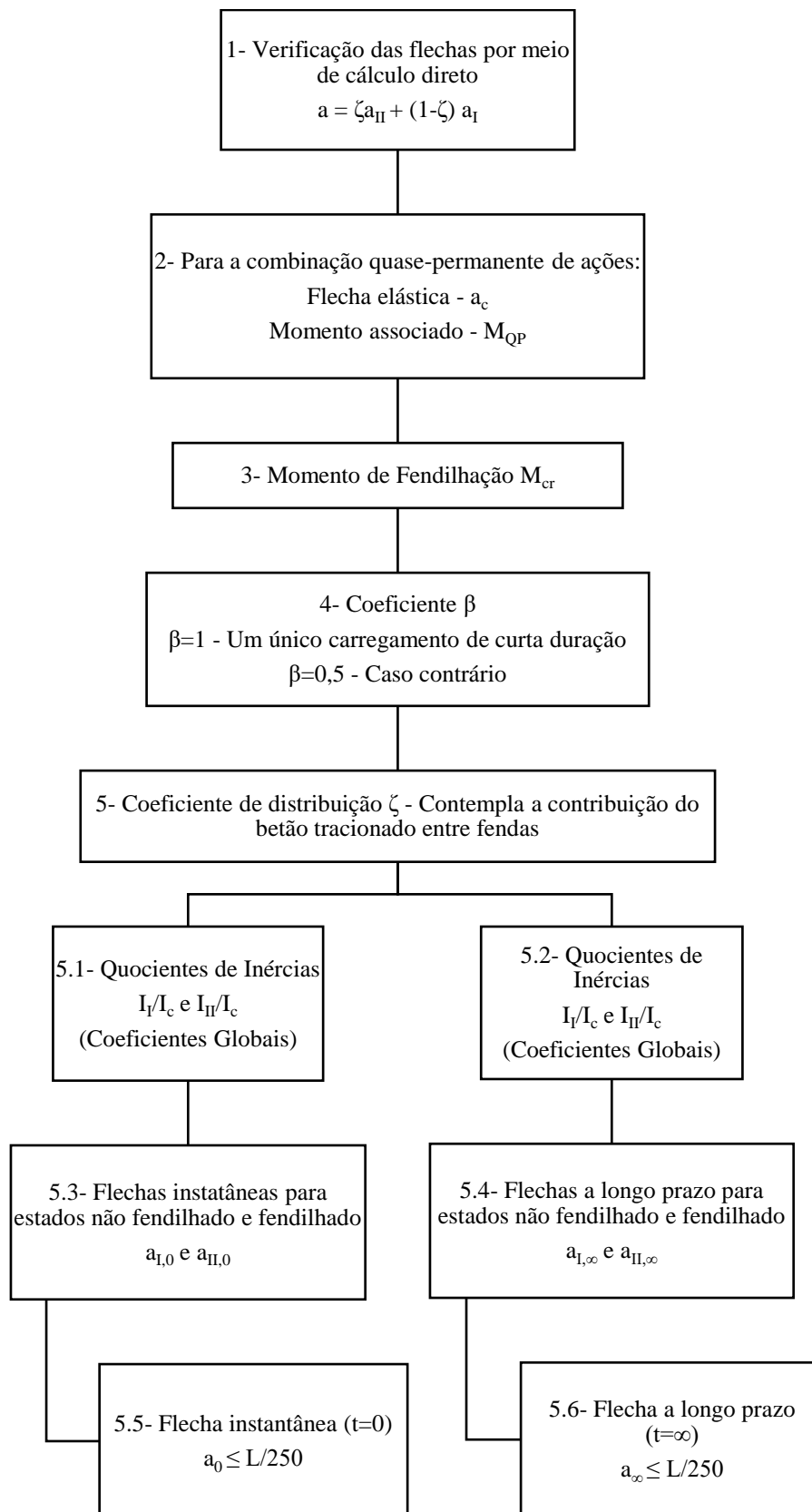


Figura 1 - Fluxograma para cálculo das flechas instantânea e a longo prazo

- **Cálculo de M_{cr}**

$$M_{cr} = f_{ctm} \frac{bh^2}{6} \quad (106)$$

$$\zeta = 1 - \beta \left(\frac{M_{cr}}{M_{QP}} \right)^2 \text{ igual a 0 para secções não fendilhadas} \quad (107)$$

- **Flecha Instantânea ($t=0$)**

$$a_0 = \zeta a_{II,0} + (1 - \zeta) a_{I,0} \quad (108)$$

$$a_{I,0} = \frac{a_c}{I_I / I_c} \quad (109)$$

$$a_{II,0} = \frac{a_c}{I_{II} / I_c} \quad (110)$$

- **Determinação dos coeficientes globais.**

Os quocientes I_I / I_c e I_{II} / I_c são calculados recorrendo às tabelas do Anexo XII deste documento:

$$\alpha = \frac{E_s}{E_{cm}} \quad (111)$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \quad (112)$$

$$\beta' = \frac{A_{s,sup}}{A_{s,inf}} \quad (113)$$

$$\text{Quociente } d/h \quad (114)$$

- **Flecha a Longo Prazo ($t=\infty$)**

$$a_\infty = \zeta a_{II,\infty} + (1 - \zeta) a_{I,\infty} \quad (115)$$

$$a_{I,\infty} = (1 + \varphi) \frac{a_c}{I_I / I_c} \quad (116)$$

$$a_{II,\infty} = (1 + \varphi) \frac{a_c}{I_{II} / I_c} \quad (117)$$

- **Determinação dos coeficientes globais**

Os quocientes I_I / I_c e I_{II} / I_c são determinados como referido no ponto anterior:

$$E_{c,eff} = 1,05 \frac{E_{cm}}{(1 + \varphi)} \quad (118)$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_{c,eff}} \quad (119)$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \quad (120)$$

$$\beta' = \frac{A_{s,\text{sup}}}{A_{s,\text{inf}}} \quad (121)$$

$$\text{Quociente } d/h \quad (122)$$

Em que:

- α coeficiente de homogeneização;
- E_s valor de cálculo do módulo de elasticidade do aço das armadura ordinárias;
- E_{cm} módulo de elasticidade secante do betão;
- $E_{c,\text{eff}}$ módulo de elasticidade efetivo do betão;
- ρ taxa de armadura de tração;
- β' quociente de área de armaduras.

- **Coefficiente de Fluência φ**

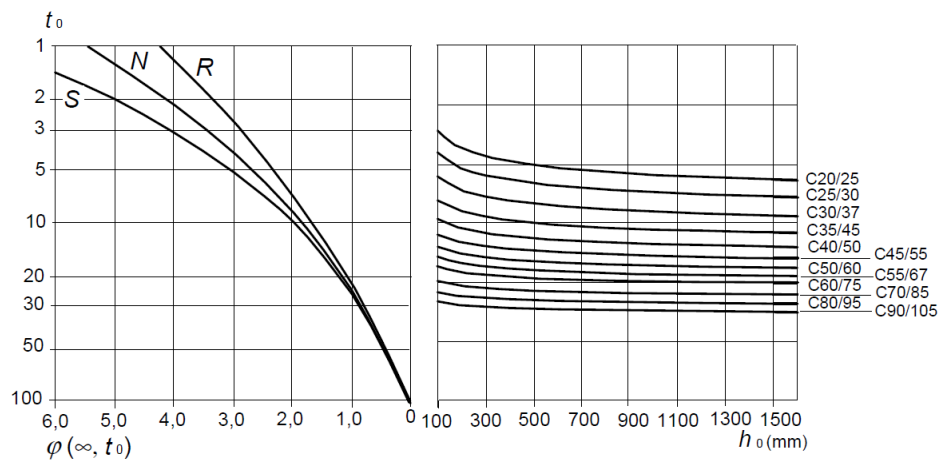


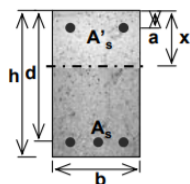
Figura 2 - Coeficiente de fluência através do EC2-1

10 – ESTADO LIMITE DE DEFORMAÇÃO

MOMENTOS DE INÉRCIA EM SECÇÕES RECTANGULARES DE BETÃO ARMADO

em secção não fendilhada: $I_I = (I_I/I_C) bh^3/12$

em secção fendilhada: $I_{II} = (I_{II}/I_C) bh^3/12$



$$\rho = A_s/bd$$

$$\beta = A'_s / A_s$$

$$\alpha = E_s / E_{c,eff}$$

$$E_{c,eff} = 1.05 E_{cm} / (1 + \phi)$$

$$a = h - d$$

d/h= 0.90											
β	0.00		0.25		0.50		0.75		1.00		
$\alpha\rho$	I_I/I_C	I_{II}/I_C	I_I/I_C	I_{II}/I_C	I_I/I_C	I_{II}/I_C	I_I/I_C	I_{II}/I_C	I_I/I_C	I_{II}/I_C	
0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	
0.02	1.04	0.13	1.05	0.13	1.06	0.14	1.07	0.14	1.08	0.14	
0.05	1.09	0.29	1.12	0.29	1.14	0.30	1.17	0.30	1.19	0.30	
0.10	1.17	0.49	1.23	0.51	1.28	0.52	1.33	0.53	1.38	0.54	
0.15	1.25	0.66	1.34	0.69	1.42	0.71	1.50	0.73	1.58	0.75	
0.20	1.32	0.79	1.45	0.84	1.56	0.89	1.67	0.93	1.77	0.96	
0.25	1.38	0.91	1.55	0.99	1.70	1.05	1.83	1.11	1.96	1.16	
0.30	1.44	1.01	1.65	1.12	1.83	1.21	2.00	1.28	2.15	1.35	
0.35	1.50	1.10	1.75	1.24	1.97	1.36	2.17	1.46	2.34	1.54	
0.40	1.55	1.19	1.85	1.36	2.10	1.50	2.33	1.62	2.54	1.72	
0.45	1.60	1.26	1.94	1.47	2.24	1.65	2.50	1.79	2.73	1.91	
0.50	1.64	1.33	2.03	1.58	2.37	1.78	2.66	1.95	2.92	2.09	

d/h= 1.00											
β	0.00		0.25		0.50		0.75		1.00		
$\alpha\rho$	I_I/I_C	I_{II}/I_C	I_I/I_C	I_{II}/I_C	I_I/I_C	I_{II}/I_C	I_I/I_C	I_{II}/I_C	I_I/I_C	I_{II}/I_C	
0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	
0.02	1.06	0.18	1.07	0.19	1.09	0.19	1.10	0.19	1.12	0.19	
0.05	1.14	0.40	1.18	0.41	1.22	0.42	1.26	0.43	1.30	0.44	
0.10	1.27	0.68	1.36	0.71	1.44	0.75	1.52	0.78	1.60	0.80	
0.15	1.39	0.90	1.53	0.98	1.66	1.04	1.78	1.10	1.90	1.15	
0.20	1.50	1.09	1.70	1.21	1.88	1.31	2.04	1.40	2.20	1.48	
0.25	1.60	1.25	1.86	1.42	2.09	1.57	2.30	1.70	2.50	1.80	
0.30	1.69	1.39	2.01	1.62	2.30	1.82	2.56	1.98	2.80	2.12	
0.35	1.78	1.52	2.17	1.81	2.51	2.06	2.82	2.26	3.10	2.44	
0.40	1.86	1.63	2.32	1.99	2.73	2.29	3.08	2.54	3.40	2.75	
0.45	1.93	1.73	2.47	2.17	2.93	2.52	3.34	2.82	3.70	3.06	
0.50	2.00	1.82	2.62	2.33	3.14	2.75	3.60	3.09	4.00	3.37	

d/h= 0.80											
β	0.00		0.25		0.50		0.75		1.00		
$\alpha\rho$	I_I/I_C	I_{II}/I_C	I_I/I_C	I_{II}/I_C	I_I/I_C	I_{II}/I_C	I_I/I_C	I_{II}/I_C	I_I/I_C	I_{II}/I_C	
0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	
0.02	1.02	0.09	1.03	0.09	1.03	0.09	1.04	0.09	1.04	0.10	
0.05	1.05	0.20	1.07	0.20	1.08	0.20	1.09	0.20	1.11	0.20	
0.10	1.10	0.35	1.13	0.35	1.16	0.35	1.19	0.35	1.22	0.35	
0.15	1.14	0.46	1.19	0.47	1.24	0.47	1.28	0.48	1.32	0.48	
0.20	1.18	0.56	1.25	0.57	1.32	0.58	1.38	0.59	1.43	0.60	
0.25	1.22	0.64	1.31	0.66	1.39	0.68	1.47	0.70	1.54	0.71	
0.30	1.25	0.71	1.37	0.75	1.47	0.77	1.56	0.80	1.65	0.82	
0.35	1.28	0.78	1.42	0.82	1.55	0.86	1.66	0.89	1.76	0.92	
0.40	1.31	0.83	1.48	0.89	1.62	0.94	1.75	0.99	1.86	1.02	
0.45	1.34	0.88	1.53	0.96	1.70	1.02	1.84	1.08	1.97	1.12	
0.50	1.36	0.93	1.58	1.03	1.77	1.10	1.94	1.16	2.08	1.22	

Figura 3 - Coeficientes globais para o cálculo da deformação na laje

XII. ANEXO XII - REQUISITOS PARA O CÁLCULO DE FUNDAÇÕES

Segundo (Reis de Barros & Ascuito, 2015) a rotura por corte de um solo de fundação dá origem à formação de três cunhas plastificadas:

- A cunha I desce solidária com a sapata que está no estado activo de *Rankine*;
- A cunha II é solicitada pela cunha I que se desloca lateralmente segundo corte radial;
- A cunha III está no estado passivo de *Rankine* que se forma devido ao deslocamento lateral e ascendente da cunha II.

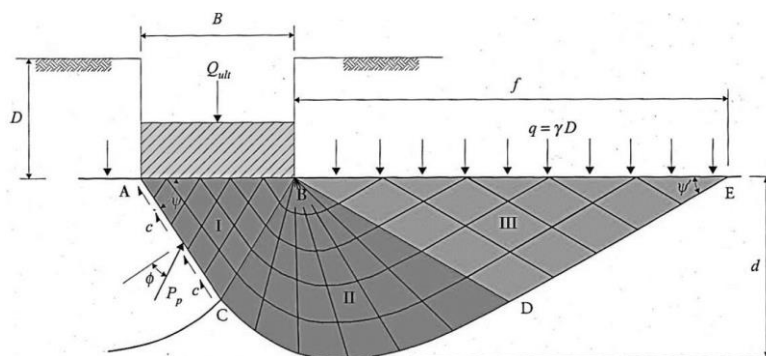


Figura 1 - Rotura por corte de um solo de fundação (Reis de Barros & Ascuito, 2015)

A teoria de *Rankine* permite definir a expressão da capacidade resistente de sapatas de fundação:

$$q_{ult} = \frac{1}{2} \gamma B N_{\gamma} + c N_c + q N_q \quad (123)$$

Em que:

- γ peso volúmico;
- B geometria da base da sapata;
- N_{γ} fator que tem em conta a contribuição do peso;
- c coesão;
- N_c fator de coesão;
- q sobrecarga;
- N_q fator relativo à sobrecarga.

A equação anterior não é mais que uma sobreposição de efeitos “não muito correta”. Está, porém, do lado da segurança com uma percentagem de erro admissível e permite ultrapassar a incapacidade de determinar a capacidade resistente ao carregamento de solos com peso.

A primeira parcela, $\frac{1}{2}\gamma BN_\gamma$, representa a resistência ao carregamento de um material com resistência friccional combinada com o peso, mas sem coesão e sem sobrecarga lateral.

A segunda parcela, cN_c inclui resistência ao carregamento de um material com resistência friccional combinada com a coesão, mas sem peso e sem sobrecarga lateral.

A terceira parcela, qN_q é a resistência ao carregamento de um material com resistência friccional combinada com sobrecarga lateral, mas sem peso e sem coesão.

De modo a generalizar e regulamentar os procedimentos de projeto geotécnico o EC7 define à semelhança de *Hansen*, a capacidade resistente de uma fundação superficial, e em concordância com *Terzaghi* e *Hansen*, distingue a análise em termos de tensões efetivas (condições drenadas) e tensões totais (condições não drenadas) resultando as seguintes equações:

$$q_{rd} = \frac{R'_d}{A'} = \frac{1}{2}\gamma^* B' N_{\gamma s_i \gamma b_\gamma} + c'_d N_{c s_c i_c b_c} + q' N_{q s_q i_q b_q} \quad (124)$$

$$q_{rd} = \frac{R_d}{A} = 5,14 c_{ud} s_c i_c b_c + q \quad (125)$$

- **Dimensões efetivas da sapata**

As dimensões efetivas B' , L' e a área efetiva A' de uma sapata sujeita a uma carga excêntrica podem ser calculadas pelas expressões seguintes aplicadas na base da sapata:

$$B' = B - 2e_x \quad (126)$$

$$L' = L - 2e_y \quad (127)$$

$$A' = B'L' \quad (128)$$

Com:

$$e_x = \frac{M_{yyb}}{V_d} \quad (129)$$

$$e_y = \frac{M_{xxb}}{V_d} \quad (130)$$

Em que:

V_d carga vertical (inclui os pesos da sapata e da terra sobre a sapata);

M_{xxb} momento fletor xx ;

M_{yyb} momento fletor yy ;

- e_x excentricidade segundo xx ;
- e_y excentricidade segundo yy .

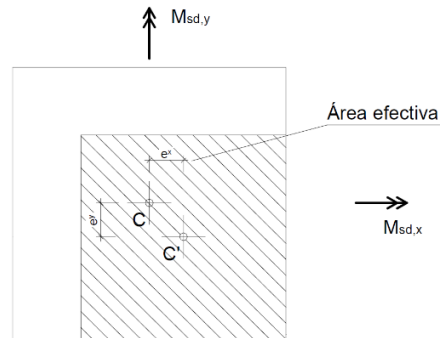


Figura 2 - Área efetiva de uma sapata excêntrica (Reis de Barros & Ascuito, 2015)

- Coefficientes de capacidade resistente (Só aplicáveis em condições drenadas)**

Estes coeficientes são calculados pelas expressões:

$$N_q = e^{m\phi'_d} \operatorname{tg} \left(45 + \frac{\phi'_d}{2} \right)^2 \quad (131)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot g(\phi'_d) \quad (132)$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \operatorname{tg} \phi'_d \quad (133)$$

Em que:

- ϕ'_d valor de cálculo do ângulo de atrito interno;

- Fatores corretivos da forma da sapata, s_γ , s_c e s_q**

Os fatores corretivos da forma da sapata estão indicados na Tabela 1.

Tabela 1 - Fatores corretivos (Reis de Barros & Ascuito, 2015)

Sapatas Retangulares	Outras Sapatas	Sapatas Quadradas ou Circulares
$s_\gamma = 1 - 0,3 \frac{B'}{L'}$		$s_\gamma = 0,7$
	$s_c = \frac{s_q N_q - 1}{N_q - 1}$	
$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \operatorname{sen} \phi'_d$		$s_q = 1 + \operatorname{sen} \phi'_d$

- Fatores corretivos da inclinação da carga, i_γ , i_c e i_q**

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H_d}{V_d + A' c'_{ad} \cot \phi'_d} \right)^{(m+1)} \quad (134)$$

$$i_q = \left(1 - \frac{H_d}{V_d + A' c'_{ad} \cot \phi'_d} \right)^m \quad (135)$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c - 1} \text{tg} \phi'_d \quad (136)$$

Com:

$$m = m_B = \frac{2 + \frac{B'}{L'}}{1 + \frac{B'}{L'}} \text{ para } \theta = 90^\circ \quad (137)$$

$$m = m_L = \frac{2 + \frac{L'}{B'}}{1 + \frac{L'}{B'}} \text{ para } \theta = 0^\circ \quad (138)$$

$$m = m_\theta = m_L \cos^2 \theta + m_B \sin^2 \theta \text{ para } 0^\circ < \theta < 90^\circ \quad (139)$$

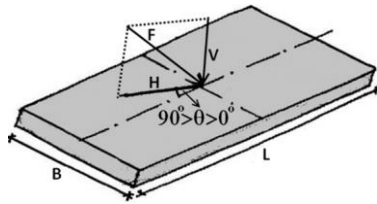


Figura 3 - Componentes da carga na sapata (Reis de Barros & Ascuito, 2015)

Notas:

- 1- Para sapatas contínuas $m=2$.
 - 2- No caso de existir a coesão de cálculo c'_{ad} não deve ser considerada.
- **Fatores corretivos da inclinação da base da sapata, b_γ , b_c e b_q**

Estes fatores são calculados pelas expressões:

$$b_\gamma = b_q = (1 - \alpha \text{tg} \phi'_d)^2 \text{ com } \alpha \text{ em rad} \quad (140)$$

$$b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_c \text{tg} \phi'_d} \quad (141)$$

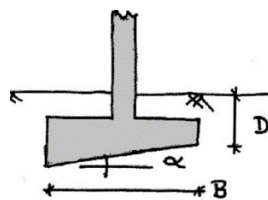


Figura 4 - Sapatas com base inclinada (Reis de Barros & Ascuito, 2015)

A quantificação da capacidade resistente para condições drenadas varia em função dos fatores de forma, das inclinações da carga e da base da sapata incluídas nas expressões seguintes.

$$s_c = 1 + 0,2 \frac{B'}{L'} \quad (142)$$

$$i_c = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{H_d}{A' c_{ud}}} \right) \text{ com } H_d \leq A' c_{ud} \quad (143)$$

$$b_c = 1 - \frac{2\alpha}{\pi + 2} \text{ com } \alpha \text{ em rad} \quad (144)$$

- **Fundação em meios estratificados**

Em fundações em meios estratificados é necessário verificar se a profundidade atingida pela rotura do solo é superior à distância entre a base da sapata e a interface dos estratos. Recorre-se à expressão:

$$d_1 < H = \frac{1}{2} B \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\phi'_d}{2} \right) \quad (145)$$

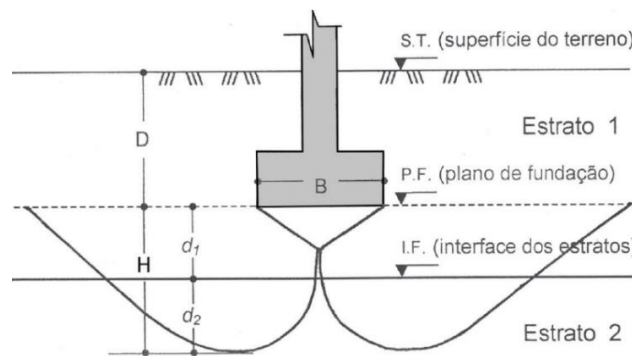


Figura 5 - Influência dos estratos na capacidade resistente

Quando a capacidade resistente é conferida por dois ou mais estratos há que considerar a influência de cada um, ou de forma conservativa adotar o estrato menos resistente.

Em condições drenadas tem-se:

$$\gamma_{\text{médio}} = \frac{\gamma_{h1} d_1 + \gamma_{h2} (H - d_1)}{H} \quad (146)$$

$$\phi'_{\text{médio}} = \frac{\phi'_1 d_1 + \phi'_2 (H - d_1)}{H} \quad (147)$$

$$c'_{\text{médio}} = \frac{c'_1 d_1 + c'_2 (H - d_1)}{H} \quad (148)$$

A verificação da segurança ao ELU GEO por rotura do solo de fundação devido ao carregamento vertical é verificada por:

$$V_d \leq R_d \quad (149)$$

Em que:

V_d valor de cálculo da força vertical atuante;

R_d valor de cálculo da força vertical resistente, com $R_d = q'_{rd} \times A'$ ou $R_d = q_{rd} \times A'$ em condições drenadas e não drenadas respetivamente

XIII. ANEXO XIII - QUANTIFICAÇÃO DE RCP, SC, SC-EQU E SC - MANUT

RCP - Madres da cobertura da torre metálica

Na Tabela 20 resumem-se os pesos das chapas metálicas dos revestimentos e dos elementos de ligação.

Tabela 20 - Madres da cobertura da torre metálica - RCP

Madre	q [kN/m ²]	Área de influência [m ²]	Vão [m]	q [kN/m]
1		2,93	4,59	0,06
2		4,81	3,57	0,14
3	0,10	3,43	2,54	0,14
4		2,05	1,52	0,14
5		0,67	0,50	0,14

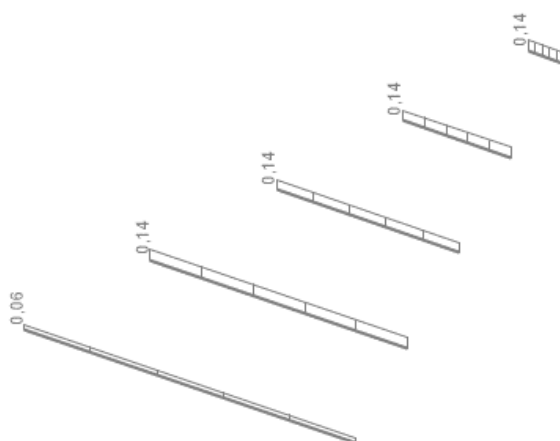


Figura 30 - RCP aplicada num gomo tipo da cobertura

RCP - Madres dos alçados da torre metálica

O peso das chapas metálicas dos revestimentos dos alçados está indicado na tabela seguinte.

Tabela 21 - Madres dos alçados da torre metálica - RCP

Madre	q [kN/m ²]	Área de influência [m ²]	Vão [m]	q [kN/m]
1		5,16	4,59	0,11
2		8,61	4,59	0,19
3		8,03	4,59	0,18
4	0,10	6,89	4,59	0,15
5		6,89	4,59	0,15
6		6,89	4,59	0,15
7		5,05	4,59	0,11

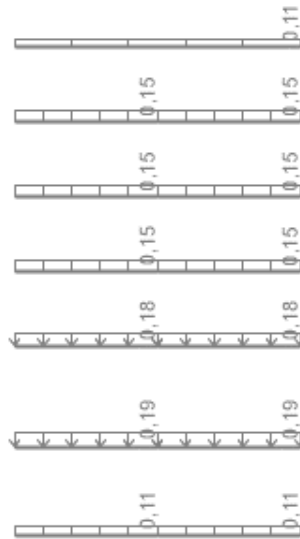


Figura 31 - RCP aplicada num gomo tipo dos alçados da torre metálica

RCP - Vigas da plataforma metálica

As cargas nas vigas metálicas que resultam do peso do pavimento em chapa xadrez 6/8mm constam da Tabela 22.

Tabela 22 - Vigas da plataforma metálica - RCP

Madre	q [kN/m ²]	Área de Influência [m ²]	Vão [m]	q [kN/m]	Madre	q [kN/m ²]	Área de Influência [m ²]	Vão [m]	q [kN/m]
1		44,12	12,00	-	22		1,36	1,67	0,49
2		22,28	8,49	-	23		4,60	4,24	0,65
3		23,59	8,49	-	24		3,03	2,41	0,75
4		1,65	1,76	0,56	25		1,22	2,49	0,29
5		0,83	1,76	0,28	26		0,98	2,49	0,24
6		0,63	0,51	0,74	27		2,61	2,41	0,65
7		0,93	0,93	0,60	28		6,04	4,24	0,86
8		1,34	1,34	0,60	29		2,74	4,36	0,38
9		1,34	1,34	0,60	30		3,11	4,36	0,43
10		0,93	0,93	0,60	31		2,57	4,36	0,35
11	0,6	0,63		0,74	32	0,6	2,92	4,36	0,40
12		0,63	0,51	0,74	33		3,65	4,36	0,50
13		0,93	0,93	0,60	34		2,97	4,36	0,41
14		1,34	1,34	0,60	35		3,22	4,24	0,46
15		1,91	1,82	0,63	36		4,24	4,24	0,60
16		1,91	1,82	0,63	37		4,24	4,24	0,60
17		3,94	4,24	0,56	38		4,24	4,24	0,60
18		3,94	4,24	0,56	39		4,24	4,24	0,60
19		3,46	4,24	0,49	40		4,76	3,63	0,79
20		3,18	4,24	0,45	41		3,61	3,7	0,59
21		2,02	4,24	0,29	42		1,29	1,29	0,60

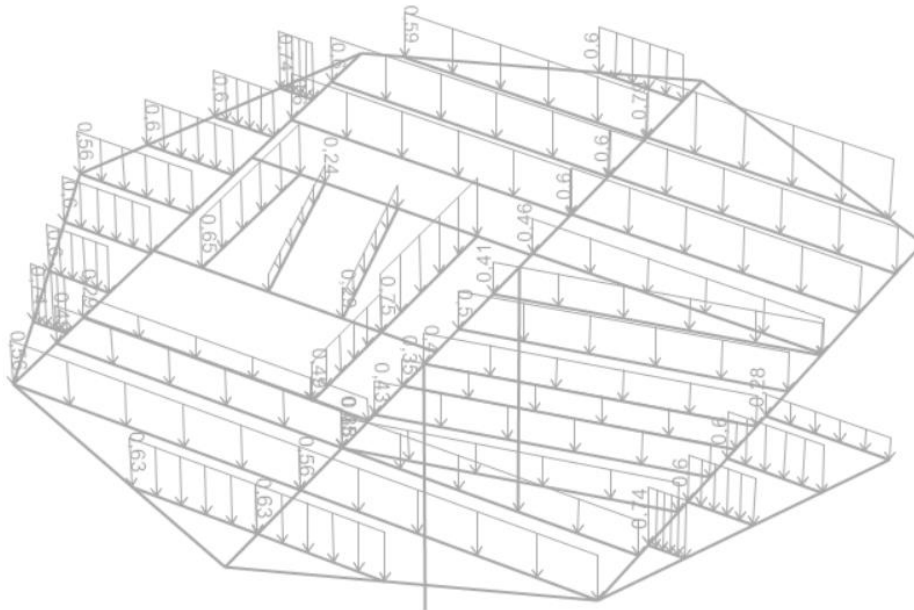


Figura 32 - RCP aplicada nas vigas da plataforma

SC - Madres da cobertura da torre metálica

Na Tabela 23 indicam-se as sobrecargas nestes elementos estruturais.

Tabela 23 - Madres da cobertura da torre metálica - SC

Madre	q [kN/m ²]	Área de influência [m ²]	Vão [m]	q [kN/m]
1	0,80	2,93	4,59	0,51
2		4,81	3,57	1,08
3		3,43	2,54	1,08
4		2,05	1,52	1,08
5		0,67	0,50	1,08

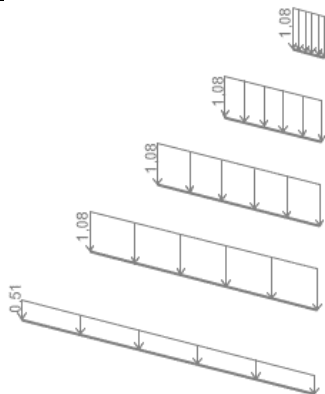


Figura 33 - SC aplicada num gomo tipo das madres

SC-Equ - Vigas da plataforma metálica e na Laje de betão

A sobrecarga nos equipamentos mecânicos de transporte atua nas vigas do pavimento metálico e também na laje de betão da torre central.

Tabela 24 - Vigas da plataforma metálica - SC-Equ

Madre	q [kN/m ²]	Área de Influência [m ²]	Vão [m]	q [kN/m]	Madre	q [kN/m ²]	Área de Influência [m ²]	Vão [m]	q [kN/m]
1		44,12	12,00	-	22		1,36	1,67	8,13
2		22,28	8,49	-	23		4,60	4,24	10,85
3		23,59	8,49	-	24		3,03	2,41	12,58
4		1,65	1,76	9,40	25		1,22	2,49	4,90
5		0,83	1,76	4,70	26		0,98	2,49	3,94
6		0,63	0,51	12,33	27		2,61	2,41	10,85
7		0,93	0,93	9,99	28		6,04	4,24	14,26
8		1,34	1,34	10,02	29		2,74	4,36	6,29
9		1,34	1,34	10,02	30		3,11	4,36	7,14
10		0,93	0,93	9,99	31		2,57	4,36	5,90
11	10	0,63	0,51	12,33	32	10	2,92	4,36	6,69
12		0,63	0,51	12,33	33		3,65	4,36	8,37
13		0,93	0,93	9,99	34		2,97	4,36	6,81
14		1,34	1,34	10,02	35		3,22	4,24	7,59
15		1,91	1,82	10,49	36		4,24	4,24	10,01
16		1,91	1,82	10,49	37		4,24	4,24	10,01
17		3,94	4,24	9,29	38		4,24	4,24	10,01
18		3,94	4,24	9,29	39		4,24	4,24	10,01
19		3,46	4,24	8,16	40		4,76	3,63	13,12
20		3,18	4,24	7,50	41		3,61	3,7	9,75
21		2,02	4,24	4,75	42		1,29	1,29	9,98

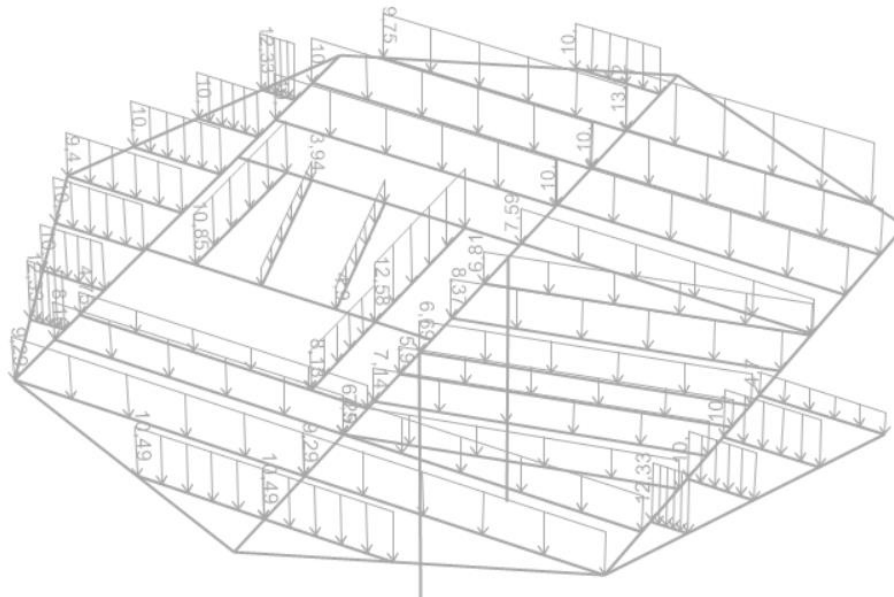


Figura 34 - SC-Equ nas vigas da plataforma

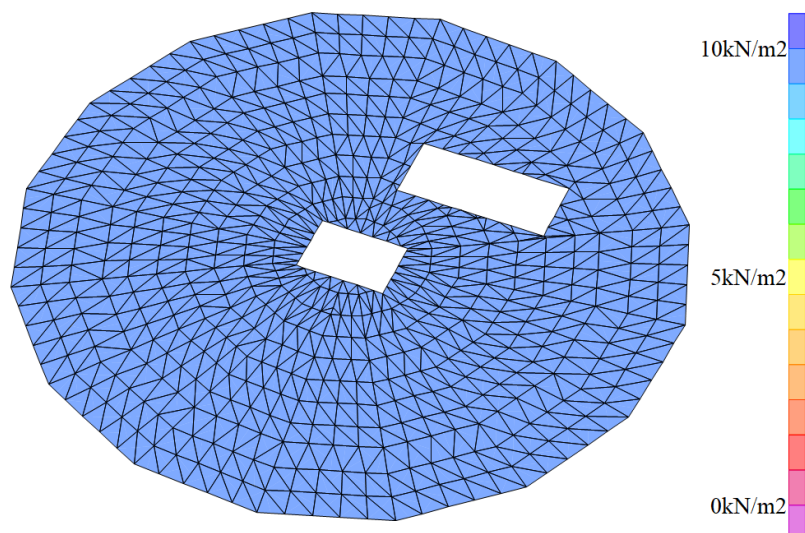


Figura 35 - SC-Equ na laje de betão

SC-Manut - Vigas da plataforma metálica e na Laje de betão

A sobrecarga referente à manutenção dos equipamentos mecânicos de transporte foi considerada igualmente nas vigas do pavimento metálico e na laje de betão.

Tabela 25 - Vigas da plataforma metálica - SC-Equ

Madre	q [kN/m ²]	Área de Influência [m ²]	Vão [m]	q [kN/m]	Madre	q [kN/m ²]	Área de Influência [m ²]	Vão [m]	q [kN/m]
1		44,12	12,00	-	22		1,36	1,67	4,06
2		22,28	8,49	-	23		4,60	4,24	5,43
3		23,59	8,49	-	24		3,03	2,41	6,29
4		1,65	1,76	4,70	25		1,22	2,49	2,45
5		0,83	1,76	2,35	26		0,98	2,49	1,97
6		0,63	0,51	6,17	27		2,61	2,41	5,43
7		0,93	0,93	4,99	28		6,04	4,24	7,13
8		1,34	1,34	5,01	29		2,74	4,36	3,14
9		1,34	1,34	5,01	30		3,11	4,36	3,57
10		0,93	0,93	4,99	31		2,57	4,36	2,95
11	5	0,63	0,51	6,17	32	5	2,92	4,36	3,35
12		0,63	0,51	6,17	33		3,65	4,36	4,18
13		0,93	0,93	4,99	34		2,97	4,36	3,40
14		1,34	1,34	5,01	35		3,22	4,24	3,79
15		1,91	1,82	5,24	36		4,24	4,24	5,00
16		1,91	1,82	5,24	37		4,24	4,24	5,00
17		3,94	4,24	4,65	38		4,24	4,24	5,00
18		3,94	4,24	4,65	39		4,24	4,24	5,00
19		3,46	4,24	4,08	40		4,76	3,63	6,56
20		3,18	4,24	3,75	41		3,61	3,7	4,88
21		2,02	4,24	2,38	42		1,29	1,29	4,99

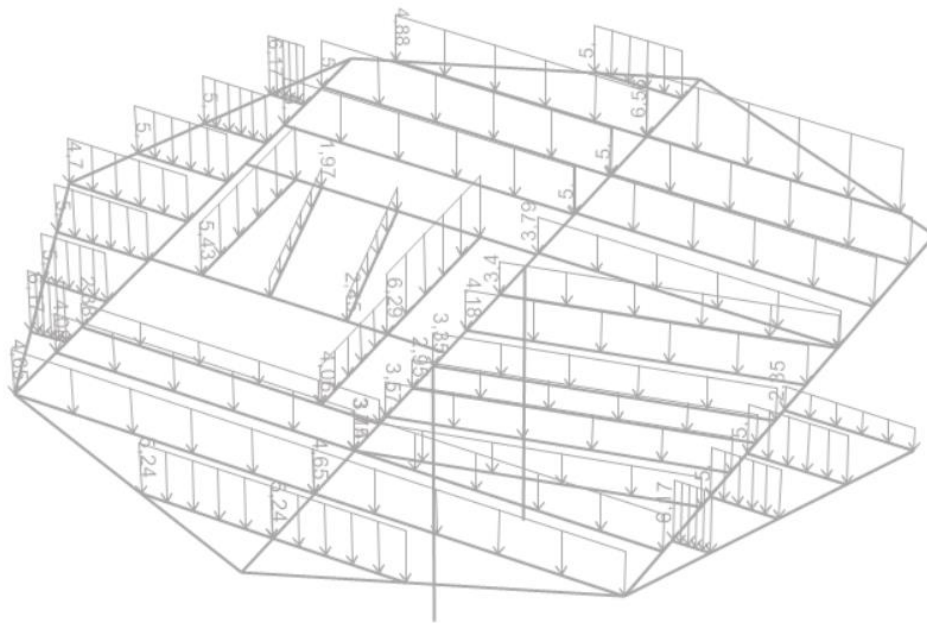


Figura 36 - SC-Manut nas vigas da plataforma

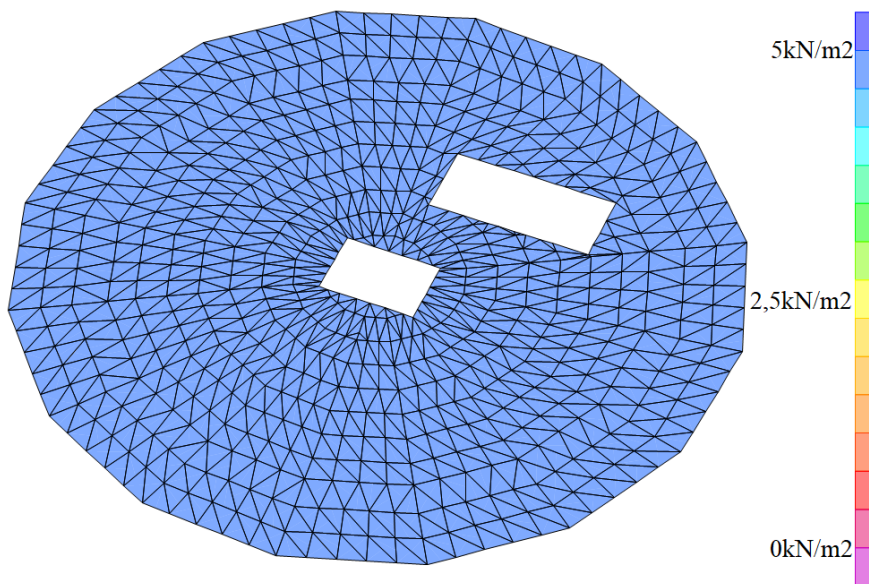


Figura 37 - SC-Manut na laje de betão

XIV. ANEXO XIV - QUANTIFICAÇÃO DA AÇÃO DO W

Coefficientes de Pressão Exterior

Cobertura metálica do stock

A cobertura metálica do *stock* tem a forma de uma pirâmide hexadecagonal seccionada no topo, e foi estudada como uma cúpula.

Tabela 26 - Parâmetros para o cálculo dos coeficientes de pressão exterior

Parâmetro	Valor	Unidade
h	8,35	m
f	21,09	m
d	61,20	m
h/d	0,14	-
f/d	0,34	-

Na Tabela 27 e na Figura 38 resumem-se os coeficientes de pressão exterior considerados nos alinhamentos A, B e C.

Tabela 27 - Coeficientes de pressão exterior globais em A, B e C

Posição	Relação h/d	$C_{pe,10}$
A	0,00	0,57
	0,25	0,08
	1,00	-1,25
	0,14	0,30
B	0,00	-0,88
	0,50	-1,25
	0,14	-0,98
C	0,00	0,00
	0,50	-0,50
	0,14	-0,14

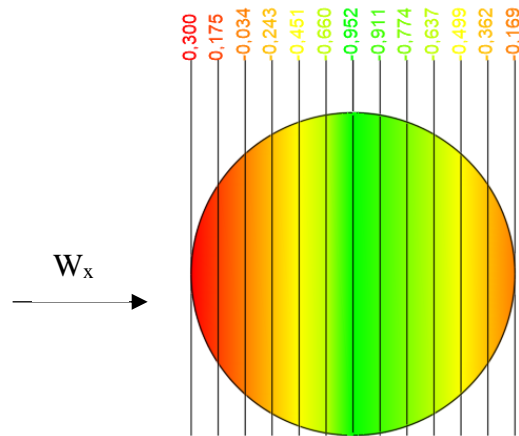


Figura 38 - Coeficientes de pressão exterior

Silo de retenção

A ação do vento o silo de retenção foi feita a partir de um cilindro de base circular.

Tabela 28 - Elementos para o cálculo dos coeficientes de pressão exterior

Parâmetro	z_e	ρ	$q_p(z_e)$	$v(z_e)$	b	v	Re
Valor	8,35	1,25	0,726	34,08	60,7	15×10^6	$1,38 \times 10^8$
Unidade	m	kg/m^3	kN/m^2	m/s	m	m^2/s	-
Parâmetro	α_{\min}	$c_{p0,\min}$	α_A	$c_{p0,h}$	Φ	λ	$\psi\lambda$
Valor	75	-1,5	105	-0,8	1	1	0,6
Unidade	°	-	°	-	-	-	-

Na Tabela 29 indicam-se todos os coeficientes de pressão exterior calculados.

Tabela 29 - Coeficientes de pressão exterior

α	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
c_{p0}	1,00	0,79	0,46	0,00	-0,43	-0,83	-1,20	-1,40	-1,45	-1,35	-0,98	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80
$\Psi_{\lambda\alpha}$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,88	0,70	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
c_{pe}	1,00	0,79	0,46	0,00	-0,43	-0,83	-1,20	-1,40	-1,43	-1,19	-0,69	-0,48	-0,48	-0,48	-0,48	-0,48	-0,48	-0,48	-0,48

Ilustra-se na Figura 39, os coeficientes de pressão exterior referentes ao silo de retenção

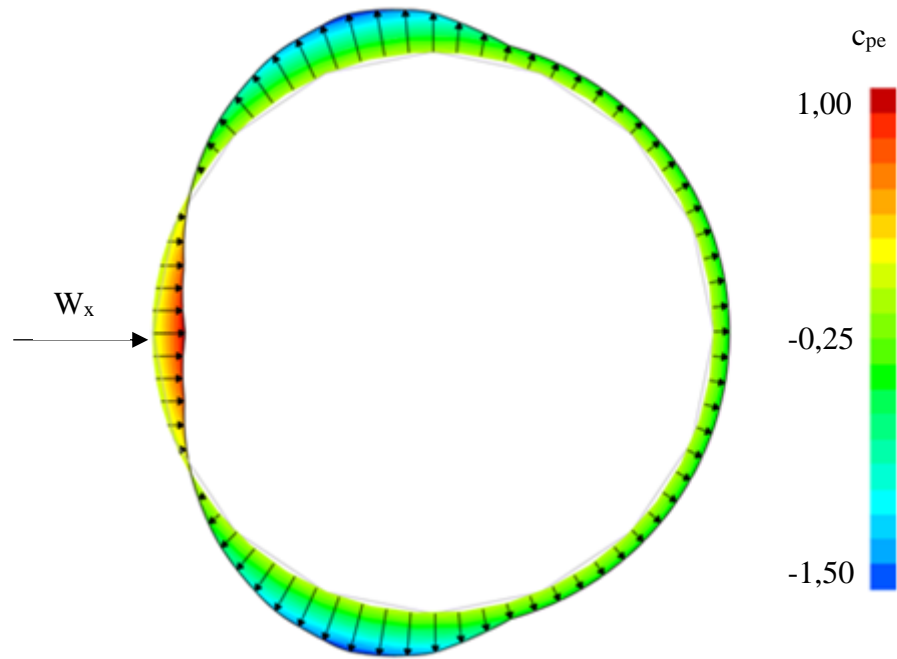


Figura 39 - Coeficientes de pressão exterior

Forças do Vento

Cobertura metálica do stock

O estudo da ação do vento na cobertura do *stock* foi feito analisando os diferentes setores em que se dividiu a cobertura.

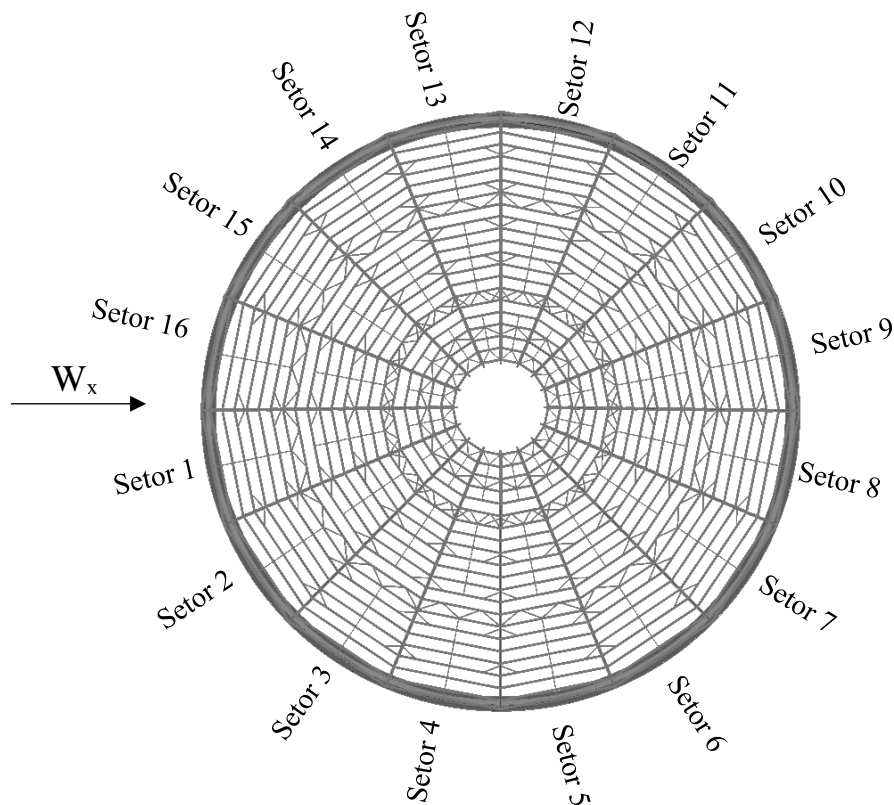


Figura 40 - Planta com a divisão do *stock*

Tabela 30 - Cargas do vento nas madres - Setores 1 e 16

Madre	$A_{\text{influência}}$	Vão	c_{pe}	$c_s c_d$	$q_p(z_e)$	w_e	F_w	q	Fenómeno
1	6,52	12,10	0,24			0,27	1,77	0,15	Sobrepressão
2	15,37	11,75	0,21			0,24	3,72	0,32	Sobrepressão
3	17,33	11,26	0,16			0,18	3,25	0,29	Sobrepressão
4	16,58	10,77	0,11			0,13	2,17	0,20	Sobrepressão
5	15,82	10,27	0,06			0,07	1,14	0,11	Sobrepressão
6	15,06	9,78	0,01			0,01	0,22	0,02	Sobrepressão
7	14,30	9,29	-0,04	1,02	1,12	-0,04	-0,63	0,07	Sucção
8	13,54	8,80	-0,09			-0,10	-1,35	0,15	Sucção
9	12,79	8,31	-0,14			-0,16	-2,08	0,25	Sucção
10	12,03	7,81	-0,19			-0,21	-2,57	0,33	Sucção
11	11,27	7,32	-0,24			-0,27	-3,10	0,42	Sucção
12	10,51	6,83	-0,29			-0,33	-3,54	0,52	Sucção

Madre	$A_{\text{influência}}$	Vão	c_{pe}	$c_s c_d$	$q_p(z_e)$	w_e	F_w	q	Fenómeno
13	9,76	6,34	-0,34			-0,38	-3,75	0,59	Sucção
14	9,00	5,85	-0,40			-0,45	-4,11	0,70	Sucção
15	8,24	5,35	-0,44			-0,49	-4,13	0,77	Sucção
16	7,48	4,86	-0,49			-0,55	-4,22	0,87	Sucção
17	6,73	4,37	-0,55			-0,62	-4,23	0,97	Sucção
18	5,97	3,88	-0,58			-0,66	-3,99	1,03	Sucção
19	5,21	3,39	-0,66			-0,74	-3,91	1,15	Sucção
20	4,45	2,89	-0,69			-0,78	-3,52	1,22	Sucção
21	3,70	2,40	-0,74			-0,84	-3,14	1,31	Sucção
22	2,28	1,91	-0,80			-0,90	-2,07	1,09	Sucção
Unidades	m ²	m	-	-	kN/m ²	kN/m ²	kN	kN/m	-

Tabela 31 - Cargas do vento nas madres - Setores 2 e 15

Madre	$A_{\text{influência}}$	Vão	c_{pe}	$c_s c_d$	$q_p(z_e)$	w_e	F_w	q	Fenómeno
1	6,52	12,10	0,05			0,06	0,40	0,03	Sobrepressão
2	15,37	11,75	0,03			0,03	0,51	0,04	Sobrepressão
3	17,33	11,26	-0,01			-0,01	-0,25	0,02	Sucção
4	16,58	10,77	-0,06			-0,06	-1,04	0,10	Sucção
5	15,82	10,27	-0,10			-0,11	-1,75	0,17	Sucção
6	15,06	9,78	-0,14			-0,16	-2,45	0,25	Sucção
7	14,30	9,29	-0,18			-0,20	-2,97	0,32	Sucção
8	13,54	8,80	-0,23			-0,26	-3,54	0,40	Sucção
9	12,79	8,31	-0,27			-0,30	-3,91	0,47	Sucção
10	12,03	7,81	-0,31			-0,35	-4,31	0,55	Sucção
11	11,27	7,32	-0,35			-0,40	-4,57	0,62	Sucção
12	10,51	6,83	-0,40	1,02	1,12	-0,45	-4,78	0,70	Sucção
13	9,76	6,34	-0,44			-0,50	-4,93	0,78	Sucção
14	9,00	5,85	-0,48			-0,54	-4,96	0,85	Sucção
15	8,24	5,35	-0,53			-0,59	-4,98	0,93	Sucção
16	7,48	4,86	-0,57			-0,64	-4,86	1,00	Sucção
17	6,73	4,37	-0,61			-0,69	-4,72	1,08	Sucção
18	5,97	3,88	-0,65			-0,74	-4,47	1,15	Sucção
19	5,21	3,39	-0,70			-0,78	-4,16	1,23	Sucção
20	4,45	2,89	-0,74			-0,83	-3,77	1,30	Sucção
21	3,70	2,40	-0,78			-0,88	-3,32	1,38	Sucção
22	2,28	1,91	-0,83			-0,93	-2,15	1,13	Sucção
Unidades	m ²	m	-	-	kN/m ²	kN/m ²	kN	kN/m	-

Tabela 32 - Cargas do vento nas madres - Setores 3 e 14

Madre	$A_{\text{influência}}$	Vão	c_{pe}	$c_s c_d$	$q_p(z_e)$	w_e	F_w	q	Fenómeno
1	6,52	12,10	-0,29			-0,33	-2,19	0,18	Sucção
2	15,37	11,75	-0,31			-0,35	-5,48	0,47	Sucção
3	17,33	11,26	-0,34			-0,38	-6,67	0,59	Sucção
4	16,58	10,77	-0,37			-0,41	-6,95	0,65	Sucção
5	15,82	10,27	-0,40			-0,45	-7,17	0,70	Sucção
6	15,06	9,78	-0,42			-0,48	-7,30	0,75	Sucção
7	14,30	9,29	-0,45			-0,51	-7,39	0,80	Sucção
8	13,54	8,80	-0,48			-0,54	-7,44	0,85	Sucção
9	12,79	8,31	-0,51			-0,57	-7,48	0,90	Sucção
10	12,03	7,81	-0,54			-0,60	-7,41	0,95	Sucção
11	11,27	7,32	-0,57			-0,64	-7,30	1,00	Sucção
12	10,51	6,83	-0,59	1,02	1,12	-0,67	-7,15	1,05	Sucção
13	9,76	6,34	-0,63			-0,70	-6,98	1,10	Sucção
14	9,00	5,85	-0,65			-0,74	-6,74	1,15	Sucção
15	8,24	5,35	-0,68			-0,76	-6,41	1,20	Sucção
16	7,48	4,86	-0,71			-0,80	-6,08	1,25	Sucção
17	6,73	4,37	-0,74			-0,83	-5,68	1,30	Sucção
18	5,97	3,88	-0,77			-0,87	-5,27	1,36	Sucção
19	5,21	3,39	-0,79			-0,89	-4,73	1,40	Sucção
20	4,45	2,89	-0,82			-0,93	-4,20	1,45	Sucção
21	3,70	2,40	-0,85			-0,96	-3,61	1,50	Sucção
22	2,28	1,91	-0,88			-0,99	-2,29	1,20	Sucção
Unidades	m ²	m	-	-	kN/m ²	kN/m ²	kN	kN/m	-

Tabela 33 - Forças do vento nas madres - Setores 4 e 13

Madre	$A_{\text{influência}}$	Vão	c_{pe}	$c_s c_d$	$q_p(z_e)$	w_e	F_w	q	Fenómeno
1	6,52	12,10	-0,74			-0,84	-5,55	0,46	Sucção
2	15,37	11,75	-0,75			-0,84	-13,19	1,12	Sucção
3	17,33	11,26	-0,76			-0,85	-15,08	1,34	Sucção
4	16,58	10,77	-0,77			-0,86	-14,59	1,35	Sucção
5	15,82	10,27	-0,78			-0,88	-14,09	1,37	Sucção
6	15,06	9,78	-0,79	1,02	1,12	-0,89	-13,59	1,39	Sucção
7	14,30	9,29	-0,80			-0,90	-13,09	1,41	Sucção
8	13,54	8,80	-0,81			-0,91	-12,53	1,42	Sucção
9	12,79	8,31	-0,82			-0,92	-11,96	1,44	Sucção
10	12,03	7,81	-0,83			-0,93	-11,39	1,46	Sucção
11	11,27	7,32	-0,84			-0,94	-10,82	1,48	Sucção

Madre	$A_{\text{influência}}$	Vão	c_{pe}	$c_s c_d$	$q_p(z_e)$	w_e	F_w	q	Fenómeno
12	10,51	6,83	-0,85			-0,95	-10,20	1,49	Sucção
13	9,76	6,34	-0,86			-0,96	-9,56	1,51	Sucção
14	9,00	5,85	-0,87			-0,97	-8,91	1,52	Sucção
15	8,24	5,35	-0,88			-0,99	-8,27	1,54	Sucção
16	7,48	4,86	-0,89			-1,00	-7,59	1,56	Sucção
17	6,73	4,37	-0,89			-1,00	-6,87	1,57	Sucção
18	5,97	3,88	-0,90			-1,01	-6,16	1,59	Sucção
19	5,21	3,39	-0,91			-1,03	-5,44	1,61	Sucção
20	4,45	2,89	-0,92			-1,04	-4,70	1,62	Sucção
21	3,70	2,40	-0,93			-1,04	-3,91	1,63	Sucção
22	2,28	1,91	-0,93			-1,04	-2,42	1,27	Sucção
Unidades	m ²	m	-	-	kN/m ²	kN/m ²	kN	kN/m	-

Tabela 34 - Cargas do vento nas madres - Setores 5 e 12

Madre	$A_{\text{influência}}$	Vão	c_{pe}	$c_s c_d$	$q_p(z_e)$	w_e	F_w	q	Fenómeno
1	6,52	12,10	-0,80			-0,90	-5,98	0,49	Sucção
2	15,37	11,75	-0,81			-0,91	-14,19	1,21	Sucção
3	17,33	11,26	-0,81			-0,91	-16,11	1,43	Sucção
4	16,58	10,77	-0,82			-0,92	-15,53	1,44	Sucção
5	15,82	10,27	-0,83			-0,93	-14,94	1,45	Sucção
6	15,06	9,78	-0,83			-0,94	-14,34	1,47	Sucção
7	14,30	9,29	-0,84			-0,94	-13,73	1,48	Sucção
8	13,54	8,80	-0,85			-0,95	-13,10	1,49	Sucção
9	12,79	8,31	-0,85			-0,96	-12,46	1,50	Sucção
10	12,03	7,81	-0,86			-0,96	-11,81	1,51	Sucção
11	11,27	7,32	-0,87			-0,97	-11,16	1,52	Sucção
12	10,51	6,83	-0,87	1,02	1,12	-0,98	-10,49	1,54	Sucção
13	9,76	6,34	-0,88			-0,99	-9,79	1,54	Sucção
14	9,00	5,85	-0,88			-0,99	-9,10	1,56	Sucção
15	8,24	5,35	-0,89			-1,00	-8,40	1,57	Sucção
16	7,48	4,86	-0,90			-1,01	-7,69	1,58	Sucção
17	6,73	4,37	-0,90			-1,01	-6,94	1,59	Sucção
18	5,97	3,88	-0,91			-1,02	-6,20	1,60	Sucção
19	5,21	3,39	-0,92			-1,03	-5,46	1,61	Sucção
20	4,45	2,89	-0,92			-1,04	-4,70	1,63	Sucção
21	3,70	2,40	-0,93			-1,04	-3,91	1,63	Sucção
22	2,28	1,91	-0,93			-1,04	-2,42	1,27	Sucção
Unidades	m ²	m	-	-	kN/m ²	kN/m ²	kN	kN/m	-

Tabela 35 - Cargas do vento nas madres - Setores 6 e 11

Madre	A _{influência}	Vão	c _{pe}	c _s c _d	q _p (z _e)	w _e	F _w	q	Fenómeno
1	6,52	12,10	-0,51			-0,57	-3,77	0,31	Sucção
2	15,37	11,75	-0,52			-0,58	-9,09	0,77	Sucção
3	17,33	11,26	-0,53			-0,60	-10,60	0,94	Sucção
4	16,58	10,77	-0,55			-0,62	-10,48	0,97	Sucção
5	15,82	10,27	-0,57			-0,63	-10,22	0,99	Sucção
6	15,06	9,78	-0,59			-0,66	-10,17	1,04	Sucção
7	14,30	9,29	-0,61			-0,68	-9,94	1,07	Sucção
8	13,54	8,80	-0,63			-0,71	-9,73	1,11	Sucção
9	12,79	8,31	-0,65			-0,73	-9,46	1,14	Sucção
10	12,03	7,81	-0,67			-0,75	-9,17	1,17	Sucção
11	11,27	7,32	-0,69			-0,77	-8,87	1,21	Sucção
12	10,51	6,83	-0,70	1,02	1,12	-0,79	-8,46	1,24	Sucção
13	9,76	6,34	-0,72			-0,81	-8,07	1,27	Sucção
14	9,00	5,85	-0,74			-0,83	-7,60	1,30	Sucção
15	8,24	5,35	-0,76			-0,85	-7,16	1,34	Sucção
16	7,48	4,86	-0,78			-0,87	-6,64	1,37	Sucção
17	6,73	4,37	-0,80			-0,90	-6,14	1,41	Sucção
18	5,97	3,88	-0,82			-0,92	-5,59	1,44	Sucção
19	5,21	3,39	-0,83			-0,94	-4,97	1,47	Sucção
20	4,45	2,89	-0,85			-0,96	-4,35	1,50	Sucção
21	3,70	2,40	-0,87			-0,98	-3,69	1,54	Sucção
22	2,28	1,91	-0,89			-1,00	-2,32	1,22	Sucção
Unidades	m ²	m	-	-	kN/m ²	kN/m ²	kN	kN/m	-

Tabela 36 - Cargas do vento nas madres - Setores 7 e 10

Madre	A _{influência}	Vão	c _{pe}	c _s c _d	q _p (z _e)	w _e	F _w	q	Fenómeno
1	6,52	12,10	-0,28			-0,31	-2,06	0,17	Sucção
2	15,37	11,75	-0,30			-0,33	-5,22	0,44	Sucção
3	17,33	11,26	-0,31			-0,35	-6,22	0,55	Sucção
4	16,58	10,77	-0,35			-0,39	-6,60	0,61	Sucção
5	15,82	10,27	-0,38			-0,42	-6,79	0,66	Sucção
6	15,06	9,78	-0,40	1,02	1,12	-0,45	-6,97	0,71	Sucção
7	14,30	9,29	-0,43			-0,49	-7,06	0,76	Sucção
8	13,54	8,80	-0,46			-0,52	-7,12	0,81	Sucção
9	12,79	8,31	-0,49			-0,55	-7,16	0,86	Sucção
10	12,03	7,81	-0,51			-0,58	-7,04	0,90	Sucção
11	11,27	7,32	-0,55			-0,62	-7,07	0,97	Sucção

Madre	$A_{\text{influência}}$	Vão	c_{pe}	$c_s c_d$	$q_p(z_e)$	w_e	F_w	q	Fenómeno
12	10,51	6,83	-0,57			-0,64	-6,90	1,01	Sucção
13	9,76	6,34	-0,60			-0,68	-6,73	1,06	Sucção
14	9,00	5,85	-0,63			-0,71	-6,48	1,11	Sucção
15	8,24	5,35	-0,66			-0,74	-6,22	1,16	Sucção
16	7,48	4,86	-0,69			-0,77	-5,87	1,21	Sucção
17	6,73	4,37	-0,72			-0,80	-5,51	1,26	Sucção
18	5,97	3,88	-0,74			-0,83	-5,07	1,31	Sucção
19	5,21	3,39	-0,77			-0,87	-4,60	1,36	Sucção
20	4,45	2,89	-0,80			-0,90	-4,07	1,41	Sucção
21	3,70	2,40	-0,83			-0,93	-3,50	1,46	Sucção
22	2,28	1,91	-0,86			-0,96	-2,23	1,17	Sucção
Unidades	m ²	m	-	-	kN/m ²	kN/m ²	kN	kN/m	-

Tabela 37 - Cargas do vento nas madres - Setores 8 e 9

Madre	$A_{\text{influência}}$	Vão	c_{pe}	$c_s c_d$	$q_p(z_e)$	w_e	F_w	q	Fenómeno
1	6,52	12,10	-0,11			-0,13	-0,83	0,07	Sucção
2	15,37	11,75	-0,15			-0,17	-2,58	0,22	Sucção
3	17,33	11,26	-0,20			-0,23	-3,99	0,35	Sucção
4	16,58	10,77	-0,24			-0,27	-4,48	0,42	Sucção
5	15,82	10,27	-0,27			-0,30	-4,89	0,48	Sucção
6	15,06	9,78	-0,30			-0,34	-5,23	0,53	Sucção
7	14,30	9,29	-0,34			-0,38	-5,52	0,59	Sucção
8	13,54	8,80	-0,37			-0,41	-5,72	0,65	Sucção
9	12,79	8,31	-0,41			-0,46	-5,93	0,71	Sucção
10	12,03	7,81	-0,43			-0,49	-5,98	0,77	Sucção
11	11,27	7,32	-0,47			-0,53	-6,06	0,83	Sucção
12	10,51	6,83	-0,51	1,02	1,12	-0,57	-6,08	0,89	Sucção
13	9,76	6,34	-0,53			-0,60	-5,95	0,94	Sucção
14	9,00	5,85	-0,57			-0,65	-5,91	1,01	Sucção
15	8,24	5,35	-0,60			-0,67	-5,66	1,06	Sucção
16	7,48	4,86	-0,64			-0,72	-5,45	1,12	Sucção
17	6,73	4,37	-0,67			-0,76	-5,18	1,19	Sucção
18	5,97	3,88	-0,70			-0,78	-4,75	1,23	Sucção
19	5,21	3,39	-0,74			-0,84	-4,43	1,31	Sucção
20	4,45	2,89	-0,77			-0,86	-3,91	1,35	Sucção
21	3,70	2,40	-0,80			-0,90	-3,39	1,41	Sucção
22	2,28	1,91	-0,84			-0,94	-2,18	1,14	Sucção
Unidades	m ²	m	-	-	kN/m ²	kN/m ²	kN	kN/m	-

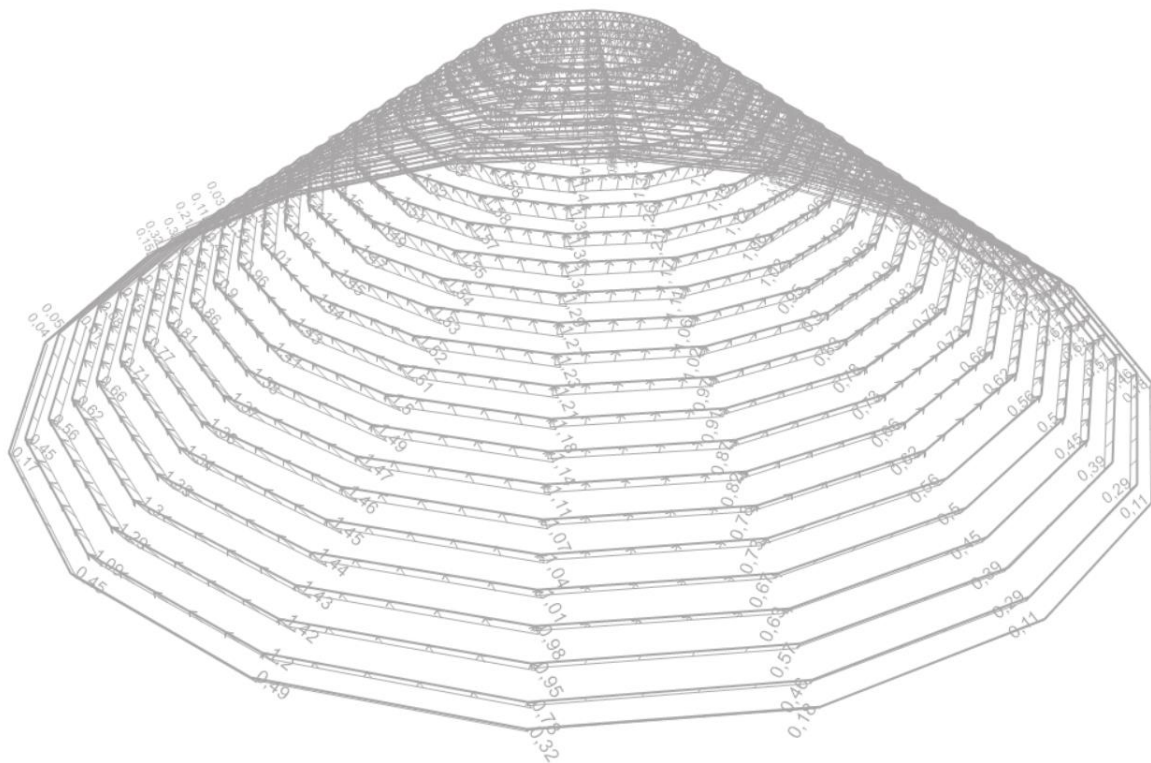


Figura 41 - Ação do vento nas madres da cobertura do stock

XV. ANEXO XV - MODOS DE VIBRAÇÃO

Tabela 38 - Modos de vibração

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
1	3,355	0,298	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2	1,748	0,572	0,0%	0,2%	0,0%	0,2%
3	1,748	0,572	0,2%	0,0%	0,3%	0,3%
4	1,580	0,633	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
5	1,401	0,714	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
6	1,401	0,714	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
7	1,394	0,717	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
8	1,394	0,717	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
9	1,342	0,745	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
10	1,331	0,751	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
11	1,331	0,751	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
12	1,277	0,783	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
13	1,277	0,783	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
14	1,237	0,808	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
15	1,237	0,808	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
16	1,212	0,825	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
17	1,212	0,825	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
18	1,197	0,835	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
19	1,197	0,835	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
20	1,193	0,838	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
21	1,064	0,940	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
22	1,064	0,940	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
23	1,033	0,968	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
24	1,033	0,968	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
25	0,952	1,050	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
26	0,949	1,054	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
27	0,949	1,054	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
28	0,923	1,084	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
29	0,919	1,089	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
30	0,909	1,100	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
31	0,906	1,104	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
32	0,903	1,107	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
33	0,809	1,236	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
34	0,809	1,236	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
35	0,757	1,321	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
36	0,757	1,321	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
37	0,686	1,458	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
38	0,686	1,458	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
39	0,643	1,555	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
40	0,643	1,555	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
41	0,640	1,562	0,0%	0,0%	0,3%	0,3%
42	0,636	1,573	0,0%	0,2%	0,3%	0,5%
43	0,636	1,573	0,2%	0,0%	0,5%	0,5%
44	0,619	1,616	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
45	0,619	1,616	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
46	0,601	1,663	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
47	0,601	1,663	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
48	0,592	1,689	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
49	0,592	1,689	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
50	0,588	1,702	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
51	0,588	1,702	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
52	0,577	1,733	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
53	0,577	1,733	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
54	0,577	1,735	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
55	0,576	1,735	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
56	0,576	1,735	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
57	0,576	1,735	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
58	0,576	1,735	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
59	0,576	1,736	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
60	0,576	1,736	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
61	0,576	1,736	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
62	0,576	1,736	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
63	0,576	1,737	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
64	0,575	1,738	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
65	0,575	1,738	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
66	0,575	1,739	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
67	0,575	1,739	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
68	0,567	1,764	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
69	0,567	1,764	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
70	0,565	1,769	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
71	0,565	1,769	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
72	0,564	1,772	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
73	0,564	1,772	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
74	0,564	1,773	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
75	0,563	1,777	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
76	0,563	1,777	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
77	0,562	1,781	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
78	0,562	1,781	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
79	0,562	1,781	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
80	0,561	1,782	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
81	0,561	1,782	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
82	0,561	1,783	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
83	0,561	1,783	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
84	0,558	1,791	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
85	0,558	1,791	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
86	0,555	1,802	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
87	0,553	1,810	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
88	0,542	1,843	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
89	0,542	1,843	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
90	0,542	1,846	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
91	0,542	1,846	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
92	0,541	1,849	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
93	0,541	1,849	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
94	0,537	1,863	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
95	0,536	1,865	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
96	0,536	1,865	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
97	0,526	1,902	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
98	0,526	1,902	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
99	0,525	1,906	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
100	0,524	1,909	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
101	0,524	1,909	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
102	0,521	1,918	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
103	0,521	1,918	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
104	0,520	1,925	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
105	0,520	1,925	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
106	0,518	1,929	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
107	0,518	1,930	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
108	0,518	1,930	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
109	0,518	1,931	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
110	0,518	1,931	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
111	0,518	1,931	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
112	0,518	1,931	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
113	0,517	1,933	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
114	0,517	1,933	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
115	0,517	1,935	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
116	0,517	1,935	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
117	0,513	1,950	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
118	0,513	1,950	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
119	0,512	1,953	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
120	0,512	1,953	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
121	0,512	1,955	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
122	0,508	1,969	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
123	0,508	1,969	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
124	0,502	1,993	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
125	0,501	1,995	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
126	0,501	1,995	0,0%	0,0%	0,5%	0,5%
127	0,501	1,995	0,0%	0,0%	0,5%	0,6%
128	0,501	1,995	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
129	0,498	2,006	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
130	0,498	2,006	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
131	0,493	2,028	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
132	0,493	2,028	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
133	0,492	2,031	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
134	0,492	2,031	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
135	0,481	2,078	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
136	0,481	2,078	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
137	0,481	2,080	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
138	0,481	2,080	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
139	0,480	2,084	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
140	0,480	2,084	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
141	0,478	2,090	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
142	0,478	2,090	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
143	0,472	2,120	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
144	0,472	2,120	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
145	0,467	2,142	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
146	0,466	2,145	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
147	0,466	2,145	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
148	0,463	2,160	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
149	0,458	2,183	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
150	0,458	2,183	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
151	0,457	2,190	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
152	0,457	2,190	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%
153	0,456	2,191	0,0%	0,1%	0,6%	0,7%
154	0,456	2,192	0,1%	0,0%	0,7%	0,7%
155	0,455	2,197	0,0%	0,0%	0,7%	0,7%
156	0,455	2,197	0,0%	0,0%	0,7%	0,7%
157	0,455	2,197	0,0%	0,0%	0,7%	0,7%
158	0,454	2,203	0,0%	0,0%	0,7%	0,7%
159	0,454	2,203	0,0%	0,0%	0,7%	0,7%
160	0,451	2,215	0,0%	0,0%	0,7%	0,7%
161	0,451	2,215	0,0%	0,0%	0,7%	0,7%
162	0,449	2,229	0,0%	0,0%	0,7%	0,7%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
163	0,449	2,229	0,0%	0,0%	0,7%	0,7%
164	0,448	2,230	0,0%	0,8%	0,7%	1,5%
165	0,448	2,233	0,0%	0,0%	0,7%	1,5%
166	0,448	2,233	0,1%	0,0%	0,7%	1,5%
167	0,447	2,236	0,0%	0,3%	0,7%	1,8%
168	0,447	2,236	0,0%	0,0%	0,7%	1,8%
169	0,447	2,236	0,0%	0,0%	0,7%	1,8%
170	0,447	2,236	0,0%	0,0%	0,7%	1,8%
171	0,447	2,237	0,0%	0,0%	0,7%	1,8%
172	0,447	2,237	0,0%	0,0%	0,7%	1,8%
173	0,447	2,239	0,0%	0,0%	0,7%	1,8%
174	0,447	2,239	0,0%	0,0%	0,7%	1,8%
175	0,447	2,240	0,0%	0,0%	0,7%	1,8%
176	0,447	2,240	0,0%	0,0%	0,7%	1,8%
177	0,446	2,240	0,0%	0,0%	0,7%	1,8%
178	0,446	2,240	0,0%	0,0%	0,7%	1,8%
179	0,446	2,241	0,1%	0,0%	0,8%	1,8%
180	0,446	2,241	0,0%	0,0%	0,8%	1,8%
181	0,446	2,243	0,0%	0,0%	0,8%	1,8%
182	0,446	2,243	0,0%	0,0%	0,8%	1,8%
183	0,446	2,245	0,0%	0,3%	0,8%	2,1%
184	0,443	2,259	1,4%	0,0%	2,2%	2,1%
185	0,440	2,274	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
186	0,440	2,274	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
187	0,435	2,296	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
188	0,435	2,296	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
189	0,434	2,303	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
190	0,434	2,303	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
191	0,433	2,310	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
192	0,431	2,323	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
193	0,431	2,323	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
194	0,429	2,329	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
195	0,426	2,349	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
196	0,426	2,349	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
197	0,423	2,364	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
198	0,423	2,364	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
199	0,420	2,379	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
200	0,420	2,379	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
201	0,420	2,379	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
202	0,420	2,379	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
203	0,420	2,379	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
204	0,420	2,379	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
205	0,420	2,380	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
206	0,420	2,380	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
207	0,420	2,380	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
208	0,420	2,380	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
209	0,420	2,380	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
210	0,420	2,381	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
211	0,420	2,381	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
212	0,418	2,394	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
213	0,418	2,394	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
214	0,410	2,436	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
215	0,410	2,437	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
216	0,410	2,437	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
217	0,410	2,438	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
218	0,410	2,438	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
219	0,405	2,469	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
220	0,405	2,469	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
221	0,404	2,476	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
222	0,404	2,476	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
223	0,394	2,540	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
224	0,390	2,566	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
225	0,390	2,566	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
226	0,388	2,575	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
227	0,388	2,575	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
228	0,387	2,587	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
229	0,387	2,587	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
230	0,386	2,590	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
231	0,386	2,590	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
232	0,383	2,608	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
233	0,383	2,608	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
234	0,383	2,612	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
235	0,383	2,612	0,0%	0,0%	2,2%	2,1%
236	0,382	2,616	0,0%	0,0%	2,2%	2,2%
237	0,382	2,616	0,0%	0,0%	2,3%	2,2%
238	0,382	2,617	0,0%	0,0%	2,3%	2,2%
239	0,379	2,635	0,0%	0,0%	2,3%	2,2%
240	0,379	2,635	0,0%	0,0%	2,3%	2,2%
241	0,377	2,653	0,0%	0,0%	2,3%	2,2%
242	0,372	2,686	0,0%	0,0%	2,3%	2,2%
243	0,372	2,686	0,0%	0,0%	2,3%	2,2%
244	0,352	2,840	0,0%	0,0%	2,3%	2,2%
245	0,352	2,840	0,0%	0,0%	2,3%	2,2%
246	0,351	2,848	0,0%	0,0%	2,3%	2,2%
247	0,343	2,914	0,0%	0,0%	2,3%	2,2%
248	0,343	2,915	0,0%	0,0%	2,3%	2,2%
249	0,343	2,915	0,0%	0,0%	2,3%	2,2%
250	0,342	2,921	0,0%	0,0%	2,3%	2,2%
251	0,342	2,921	0,0%	0,0%	2,3%	2,2%
252	0,340	2,937	0,0%	0,0%	2,3%	2,2%
253	0,340	2,937	0,0%	0,0%	2,3%	2,2%
254	0,339	2,949	0,0%	0,0%	2,3%	2,2%
255	0,339	2,949	0,0%	0,0%	2,3%	2,2%
256	0,339	2,952	0,0%	0,0%	2,3%	2,2%
257	0,339	2,952	0,0%	0,0%	2,3%	2,2%
258	0,337	2,965	0,0%	0,0%	2,3%	2,2%
259	0,337	2,967	0,1%	0,4%	2,3%	2,6%
260	0,337	2,967	0,4%	0,1%	2,7%	2,7%
261	0,336	2,977	0,0%	0,0%	2,7%	2,7%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
262	0,336	2,977	0,0%	0,0%	2,7%	2,7%
263	0,334	2,995	0,0%	0,0%	2,7%	2,7%
264	0,332	3,009	0,0%	0,0%	2,7%	2,7%
265	0,332	3,009	0,0%	0,0%	2,7%	2,7%
266	0,332	3,009	0,0%	0,0%	2,8%	2,7%
267	0,332	3,009	0,0%	0,0%	2,8%	2,7%
268	0,328	3,048	0,0%	0,0%	2,8%	2,7%
269	0,328	3,048	0,0%	0,0%	2,8%	2,7%
270	0,326	3,068	0,0%	0,0%	2,8%	2,7%
271	0,322	3,104	0,0%	0,0%	2,8%	2,7%
272	0,322	3,104	0,0%	0,0%	2,8%	2,7%
273	0,321	3,115	0,0%	0,0%	2,8%	2,7%
274	0,321	3,115	0,0%	0,0%	2,8%	2,7%
275	0,320	3,126	0,0%	0,0%	2,8%	2,7%
276	0,320	3,126	0,0%	0,0%	2,8%	2,7%
277	0,310	3,224	0,0%	0,0%	2,8%	2,7%
278	0,310	3,224	0,0%	0,0%	2,8%	2,7%
279	0,309	3,236	0,0%	0,0%	2,8%	2,7%
280	0,309	3,236	0,0%	0,0%	2,8%	2,7%
281	0,308	3,243	0,0%	0,0%	2,8%	2,7%
282	0,302	3,308	1,6%	29,9%	4,4%	32,6%
283	0,302	3,309	35,3%	1,8%	39,8%	34,4%
284	0,301	3,322	0,2%	7,1%	40,0%	41,5%
285	0,297	3,365	0,0%	0,0%	40,0%	41,5%
286	0,297	3,365	0,0%	0,0%	40,0%	41,5%
287	0,297	3,369	0,0%	0,0%	40,0%	41,5%
288	0,297	3,369	0,0%	0,0%	40,0%	41,5%
289	0,295	3,391	0,0%	0,0%	40,0%	41,5%
290	0,294	3,398	1,7%	0,0%	41,6%	41,6%
291	0,293	3,408	0,0%	0,0%	41,6%	41,6%
292	0,293	3,409	0,0%	0,4%	41,6%	42,0%
293	0,293	3,411	0,0%	0,0%	41,6%	42,0%
294	0,293	3,411	0,0%	0,0%	41,6%	42,0%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
295	0,292	3,424	0,0%	0,0%	41,6%	42,0%
296	0,292	3,424	0,0%	0,0%	41,6%	42,0%
297	0,291	3,431	3,6%	0,0%	45,2%	42,0%
298	0,291	3,432	0,1%	16,1%	45,3%	58,1%
299	0,291	3,433	12,9%	0,0%	58,2%	58,1%
300	0,291	3,434	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
301	0,291	3,434	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
302	0,291	3,437	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
303	0,291	3,437	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
304	0,291	3,438	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
305	0,290	3,444	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
306	0,290	3,444	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
307	0,290	3,446	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
308	0,290	3,446	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
309	0,290	3,449	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
310	0,290	3,449	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
311	0,289	3,460	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
312	0,289	3,460	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
313	0,289	3,465	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
314	0,289	3,465	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
315	0,289	3,465	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
316	0,289	3,466	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
317	0,289	3,466	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
318	0,288	3,468	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
319	0,288	3,477	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
320	0,288	3,477	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
321	0,286	3,493	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
322	0,286	3,493	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
323	0,285	3,512	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
324	0,285	3,512	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
325	0,283	3,536	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
326	0,283	3,536	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
327	0,279	3,586	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
328	0,279	3,586	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
329	0,278	3,599	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
330	0,278	3,599	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
331	0,274	3,650	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
332	0,274	3,650	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
333	0,271	3,687	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
334	0,271	3,687	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
335	0,271	3,687	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
336	0,270	3,703	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
337	0,267	3,742	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
338	0,267	3,742	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
339	0,267	3,751	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
340	0,267	3,751	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
341	0,265	3,775	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
342	0,265	3,775	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
343	0,264	3,783	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
344	0,264	3,783	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
345	0,263	3,797	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
346	0,263	3,799	0,0%	0,0%	58,2%	58,1%
347	0,261	3,836	0,0%	0,1%	58,2%	58,3%
348	0,261	3,836	0,2%	0,0%	58,3%	58,3%
349	0,261	3,837	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
350	0,261	3,837	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
351	0,259	3,867	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
352	0,258	3,877	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
353	0,257	3,886	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
354	0,257	3,886	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
355	0,255	3,924	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
356	0,255	3,925	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
357	0,255	3,926	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
358	0,254	3,932	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
359	0,254	3,937	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
360	0,254	3,937	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
361	0,253	3,948	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
362	0,251	3,992	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
363	0,251	3,992	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
364	0,248	4,026	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
365	0,248	4,026	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
366	0,245	4,074	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
367	0,245	4,074	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
368	0,244	4,092	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
369	0,244	4,092	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
370	0,241	4,144	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
371	0,241	4,144	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
372	0,239	4,178	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
373	0,238	4,205	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
374	0,238	4,205	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
375	0,236	4,243	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
376	0,236	4,243	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
377	0,235	4,249	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
378	0,235	4,250	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
379	0,235	4,252	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
380	0,235	4,252	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
381	0,235	4,253	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
382	0,235	4,255	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
383	0,235	4,255	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
384	0,235	4,264	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
385	0,235	4,264	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
386	0,233	4,293	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
387	0,233	4,293	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
388	0,230	4,345	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
389	0,230	4,345	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
390	0,229	4,371	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
391	0,227	4,412	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
392	0,226	4,429	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
393	0,226	4,429	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
394	0,220	4,555	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
395	0,220	4,555	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
396	0,219	4,574	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
397	0,219	4,574	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
398	0,218	4,591	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
399	0,218	4,591	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
400	0,217	4,605	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
401	0,214	4,665	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
402	0,213	4,686	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
403	0,213	4,688	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
404	0,213	4,688	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
405	0,213	4,689	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
406	0,213	4,689	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
407	0,213	4,689	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
408	0,211	4,729	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
409	0,211	4,729	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
410	0,211	4,748	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
411	0,211	4,748	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
412	0,210	4,769	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
413	0,208	4,797	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
414	0,207	4,832	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
415	0,207	4,832	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
416	0,205	4,867	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
417	0,205	4,889	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
418	0,205	4,889	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
419	0,204	4,912	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
420	0,204	4,912	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
421	0,202	4,960	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
422	0,202	4,960	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
423	0,201	4,986	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
424	0,201	4,986	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
425	0,201	4,987	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
426	0,194	5,166	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
427	0,194	5,166	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
428	0,191	5,241	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
429	0,191	5,241	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
430	0,191	5,246	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
431	0,191	5,246	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
432	0,190	5,266	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
433	0,190	5,266	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
434	0,187	5,345	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
435	0,186	5,366	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
436	0,186	5,366	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
437	0,186	5,388	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
438	0,186	5,388	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
439	0,186	5,389	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
440	0,186	5,389	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
441	0,185	5,392	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
442	0,185	5,392	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
443	0,185	5,393	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
444	0,185	5,393	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
445	0,185	5,393	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
446	0,185	5,394	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
447	0,185	5,394	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
448	0,185	5,394	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
449	0,185	5,394	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
450	0,185	5,396	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
451	0,185	5,397	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
452	0,185	5,397	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
453	0,185	5,397	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
454	0,184	5,422	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
455	0,184	5,423	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
456	0,184	5,423	0,0%	0,0%	58,3%	58,3%
457	0,184	5,424	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
458	0,184	5,424	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
459	0,184	5,430	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
460	0,184	5,430	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
461	0,184	5,435	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
462	0,184	5,435	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
463	0,182	5,495	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
464	0,182	5,504	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
465	0,182	5,504	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
466	0,182	5,507	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
467	0,182	5,507	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
468	0,181	5,518	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
469	0,181	5,531	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
470	0,180	5,555	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
471	0,179	5,572	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
472	0,179	5,576	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
473	0,179	5,582	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
474	0,179	5,592	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
475	0,178	5,614	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
476	0,178	5,614	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
477	0,178	5,630	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
478	0,177	5,651	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
479	0,177	5,651	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
480	0,177	5,652	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
481	0,177	5,652	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
482	0,175	5,705	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
483	0,175	5,721	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
484	0,175	5,721	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
485	0,174	5,739	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
486	0,173	5,768	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
487	0,173	5,768	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
488	0,173	5,772	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
489	0,172	5,802	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
490	0,172	5,802	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
491	0,172	5,805	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
492	0,172	5,808	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
493	0,172	5,808	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
494	0,172	5,813	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
495	0,172	5,814	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
496	0,172	5,814	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
497	0,172	5,823	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
498	0,172	5,823	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
499	0,172	5,824	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
500	0,172	5,824	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
501	0,172	5,828	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
502	0,172	5,829	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
503	0,172	5,829	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
504	0,171	5,836	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
505	0,171	5,836	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
506	0,171	5,850	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
507	0,171	5,861	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
508	0,171	5,861	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
509	0,171	5,863	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
510	0,171	5,863	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
511	0,170	5,874	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
512	0,170	5,874	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
513	0,170	5,890	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
514	0,169	5,919	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
515	0,167	5,975	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
516	0,167	5,975	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
517	0,166	6,018	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
518	0,164	6,080	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
519	0,164	6,080	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
520	0,164	6,080	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
521	0,164	6,083	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
522	0,164	6,093	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
523	0,164	6,093	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
524	0,164	6,093	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
525	0,164	6,096	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
526	0,164	6,097	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
527	0,164	6,099	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
528	0,164	6,101	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
529	0,164	6,103	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
530	0,164	6,103	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
531	0,164	6,116	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
532	0,163	6,137	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
533	0,163	6,141	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
534	0,163	6,141	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
535	0,161	6,223	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
536	0,161	6,228	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
537	0,161	6,228	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
538	0,160	6,234	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
539	0,160	6,234	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
540	0,160	6,266	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
541	0,159	6,270	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
542	0,159	6,270	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
543	0,159	6,287	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
544	0,159	6,287	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
545	0,159	6,287	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
546	0,159	6,287	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
547	0,159	6,292	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
548	0,159	6,300	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
549	0,159	6,300	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
550	0,158	6,313	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
551	0,158	6,313	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
552	0,158	6,313	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
553	0,158	6,313	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
554	0,158	6,326	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
555	0,158	6,326	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
556	0,158	6,329	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
557	0,158	6,329	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
558	0,158	6,330	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
559	0,158	6,330	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
560	0,158	6,331	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
561	0,158	6,336	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
562	0,158	6,336	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
563	0,158	6,336	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
564	0,158	6,337	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
565	0,158	6,337	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
566	0,158	6,347	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
567	0,157	6,355	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
568	0,157	6,355	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
569	0,157	6,359	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
570	0,157	6,359	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
571	0,157	6,359	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
572	0,157	6,359	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
573	0,156	6,414	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
574	0,155	6,442	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
575	0,155	6,453	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
576	0,155	6,453	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
577	0,154	6,491	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
578	0,154	6,491	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
579	0,154	6,492	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
580	0,154	6,492	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
581	0,154	6,514	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
582	0,153	6,519	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
583	0,153	6,519	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
584	0,153	6,521	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
585	0,153	6,521	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
586	0,153	6,529	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
587	0,153	6,529	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
588	0,153	6,541	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
589	0,153	6,541	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
590	0,153	6,545	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
591	0,153	6,545	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
592	0,152	6,572	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
593	0,152	6,572	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
594	0,152	6,576	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
595	0,152	6,579	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
596	0,152	6,579	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
597	0,152	6,596	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
598	0,151	6,616	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
599	0,151	6,625	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
600	0,151	6,625	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
601	0,149	6,727	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
602	0,149	6,728	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
603	0,149	6,728	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
604	0,148	6,741	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
605	0,148	6,745	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
606	0,148	6,745	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
607	0,148	6,748	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
608	0,148	6,748	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
609	0,148	6,750	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
610	0,148	6,759	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
611	0,148	6,777	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
612	0,147	6,786	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
613	0,147	6,786	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
614	0,146	6,829	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
615	0,146	6,829	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
616	0,146	6,861	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
617	0,145	6,888	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
618	0,145	6,888	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
619	0,144	6,931	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
620	0,144	6,931	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
621	0,144	6,957	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
622	0,144	6,957	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
623	0,142	7,053	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
624	0,142	7,053	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
625	0,141	7,079	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
626	0,141	7,100	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
627	0,140	7,143	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
628	0,140	7,145	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
629	0,140	7,153	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
630	0,140	7,153	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
631	0,140	7,157	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
632	0,140	7,162	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
633	0,139	7,201	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
634	0,138	7,262	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
635	0,138	7,265	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
636	0,138	7,265	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
637	0,137	7,275	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
638	0,137	7,326	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
639	0,137	7,326	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
640	0,136	7,336	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
641	0,136	7,336	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
642	0,136	7,340	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
643	0,136	7,352	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
644	0,136	7,352	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
645	0,136	7,354	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
646	0,136	7,354	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
647	0,136	7,368	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
648	0,136	7,368	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
649	0,135	7,387	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
650	0,135	7,387	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
651	0,135	7,417	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
652	0,135	7,417	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
653	0,134	7,483	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
654	0,134	7,483	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
655	0,134	7,487	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
656	0,134	7,487	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
657	0,134	7,490	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
658	0,133	7,493	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
659	0,133	7,493	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
660	0,133	7,512	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
661	0,133	7,512	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
662	0,133	7,545	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
663	0,133	7,545	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
664	0,132	7,563	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
665	0,132	7,563	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
666	0,132	7,564	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
667	0,132	7,564	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
668	0,132	7,565	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
669	0,132	7,566	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
670	0,132	7,566	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
671	0,132	7,571	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
672	0,132	7,571	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
673	0,132	7,572	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
674	0,132	7,572	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
675	0,132	7,575	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
676	0,132	7,575	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
677	0,132	7,581	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
678	0,132	7,583	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
679	0,132	7,583	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
680	0,132	7,589	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
681	0,132	7,597	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
682	0,132	7,597	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
683	0,131	7,607	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
684	0,131	7,607	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
685	0,131	7,608	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
686	0,131	7,608	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
687	0,131	7,642	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
688	0,131	7,644	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
689	0,131	7,644	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
690	0,131	7,646	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
691	0,131	7,646	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
692	0,131	7,650	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
693	0,131	7,650	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
694	0,130	7,669	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
695	0,130	7,678	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
696	0,130	7,678	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
697	0,130	7,687	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
698	0,129	7,777	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
699	0,128	7,804	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
700	0,128	7,804	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
701	0,128	7,822	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
702	0,128	7,832	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
703	0,128	7,832	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
704	0,127	7,852	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
705	0,127	7,852	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
706	0,127	7,860	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
707	0,127	7,860	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
708	0,127	7,860	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
709	0,127	7,861	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
710	0,127	7,861	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
711	0,127	7,871	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
712	0,127	7,871	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
713	0,127	7,876	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
714	0,127	7,876	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
715	0,127	7,887	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
716	0,127	7,887	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
717	0,127	7,897	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
718	0,127	7,897	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
719	0,127	7,902	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
720	0,127	7,902	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
721	0,126	7,943	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
722	0,126	7,943	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
723	0,125	8,004	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
724	0,125	8,004	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
725	0,124	8,072	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
726	0,124	8,072	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
727	0,123	8,143	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
728	0,123	8,143	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
729	0,123	8,153	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
730	0,122	8,220	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
731	0,122	8,220	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
732	0,121	8,249	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
733	0,121	8,249	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
734	0,121	8,250	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
735	0,121	8,256	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
736	0,121	8,256	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
737	0,121	8,258	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
738	0,120	8,350	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
739	0,120	8,350	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
740	0,120	8,366	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
741	0,120	8,366	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
742	0,119	8,386	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
743	0,119	8,411	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
744	0,119	8,431	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
745	0,119	8,431	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
746	0,117	8,548	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
747	0,117	8,583	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
748	0,117	8,583	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
749	0,116	8,598	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
750	0,116	8,598	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
751	0,116	8,631	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
752	0,116	8,631	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
753	0,116	8,632	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
754	0,116	8,632	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
755	0,115	8,683	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
756	0,115	8,683	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
757	0,115	8,694	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
758	0,115	8,694	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
759	0,115	8,695	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
760	0,114	8,744	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
761	0,114	8,744	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
762	0,114	8,781	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
763	0,113	8,888	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
764	0,113	8,888	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
765	0,112	8,914	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
766	0,112	8,914	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
767	0,112	8,923	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
768	0,112	8,923	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
769	0,112	8,923	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
770	0,112	8,949	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
771	0,112	8,949	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
772	0,111	8,972	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
773	0,111	8,972	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
774	0,111	8,999	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
775	0,111	9,007	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
776	0,111	9,007	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
777	0,110	9,084	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
778	0,110	9,084	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
779	0,110	9,089	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
780	0,110	9,106	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
781	0,110	9,106	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
782	0,110	9,130	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
783	0,109	9,155	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
784	0,109	9,155	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
785	0,109	9,179	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
786	0,109	9,179	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
787	0,109	9,183	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
788	0,108	9,235	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
789	0,108	9,235	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
790	0,108	9,251	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
791	0,108	9,251	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
792	0,107	9,340	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
793	0,105	9,534	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
794	0,105	9,542	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
795	0,105	9,543	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
796	0,105	9,546	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
797	0,105	9,546	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
798	0,105	9,546	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
799	0,105	9,551	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
800	0,105	9,562	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
801	0,104	9,598	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
802	0,104	9,618	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
803	0,104	9,618	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
804	0,104	9,622	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
805	0,104	9,622	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
806	0,104	9,627	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
807	0,104	9,627	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
808	0,104	9,627	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
809	0,104	9,639	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
810	0,104	9,639	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
811	0,104	9,654	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
812	0,104	9,654	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
813	0,104	9,654	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
814	0,103	9,679	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
815	0,103	9,679	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
816	0,103	9,679	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
817	0,103	9,716	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
818	0,103	9,716	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
819	0,103	9,716	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
820	0,103	9,716	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
821	0,103	9,724	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
822	0,103	9,736	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
823	0,103	9,736	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
824	0,103	9,751	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
825	0,103	9,751	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
826	0,103	9,753	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
827	0,103	9,753	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
828	0,103	9,756	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
829	0,103	9,756	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
830	0,102	9,763	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
831	0,102	9,781	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
832	0,102	9,781	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
833	0,101	9,880	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
834	0,101	9,886	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
835	0,101	9,886	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
836	0,101	9,913	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
837	0,101	9,921	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
838	0,100	9,959	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
839	0,100	10,002	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
840	0,100	10,002	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
841	0,100	10,006	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
842	0,100	10,024	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
843	0,100	10,024	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
844	0,100	10,044	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
845	0,099	10,058	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
846	0,099	10,068	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
847	0,099	10,068	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
848	0,099	10,071	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
849	0,099	10,091	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
850	0,099	10,094	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
851	0,099	10,094	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
852	0,099	10,099	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
853	0,099	10,106	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
854	0,099	10,111	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
855	0,099	10,111	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
856	0,099	10,128	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
857	0,098	10,173	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
858	0,098	10,246	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
859	0,098	10,246	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
860	0,097	10,291	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
861	0,097	10,316	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
862	0,097	10,316	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
863	0,097	10,317	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
864	0,097	10,317	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
865	0,097	10,331	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
866	0,097	10,346	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
867	0,096	10,363	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
868	0,096	10,378	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
869	0,096	10,378	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
870	0,096	10,395	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
871	0,096	10,398	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
872	0,096	10,414	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
873	0,096	10,416	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
874	0,096	10,422	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
875	0,096	10,422	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
876	0,096	10,428	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
877	0,096	10,451	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
878	0,096	10,466	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
879	0,096	10,466	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
880	0,095	10,474	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
881	0,095	10,474	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
882	0,095	10,506	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
883	0,095	10,534	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
884	0,095	10,566	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
885	0,095	10,580	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
886	0,095	10,580	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
887	0,094	10,599	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
888	0,094	10,599	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
889	0,094	10,614	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
890	0,094	10,644	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
891	0,094	10,644	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
892	0,094	10,681	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
893	0,094	10,681	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
894	0,094	10,687	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
895	0,094	10,687	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
896	0,093	10,732	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
897	0,093	10,736	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
898	0,093	10,799	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
899	0,092	10,879	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
900	0,092	10,879	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
901	0,091	10,944	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
902	0,091	10,979	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
903	0,091	11,000	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
904	0,091	11,000	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
905	0,091	11,030	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
906	0,091	11,044	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
907	0,090	11,088	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
908	0,090	11,101	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
909	0,090	11,101	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
910	0,090	11,129	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
911	0,090	11,129	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
912	0,090	11,151	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
913	0,089	11,176	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
914	0,089	11,176	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
915	0,089	11,192	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
916	0,089	11,193	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
917	0,089	11,212	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
918	0,089	11,212	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
919	0,089	11,219	0,0%	0,0%	58,4%	58,4%
920	0,089	11,257	0,0%	0,0%	58,4%	58,5%
921	0,089	11,274	0,0%	0,0%	58,4%	58,5%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
922	0,089	11,274	0,0%	0,0%	58,4%	58,5%
923	0,089	11,282	0,0%	0,0%	58,4%	58,5%
924	0,088	11,310	0,0%	0,0%	58,4%	58,5%
925	0,088	11,318	0,0%	0,0%	58,4%	58,5%
926	0,088	11,318	0,0%	0,0%	58,4%	58,5%
927	0,088	11,324	0,0%	0,0%	58,4%	58,5%
928	0,088	11,324	0,0%	0,0%	58,4%	58,5%
929	0,088	11,383	0,0%	0,0%	58,4%	58,5%
930	0,088	11,383	0,0%	0,0%	58,4%	58,5%
931	0,088	11,400	0,0%	0,0%	58,4%	58,5%
932	0,088	11,408	0,2%	0,0%	58,6%	58,5%
933	0,087	11,487	0,0%	0,0%	58,6%	58,5%
934	0,087	11,487	0,0%	0,0%	58,6%	58,5%
935	0,087	11,531	0,0%	0,0%	58,6%	58,5%
936	0,087	11,532	0,0%	0,0%	58,6%	58,5%
937	0,087	11,532	0,0%	0,0%	58,6%	58,5%
938	0,087	11,534	0,0%	0,0%	58,6%	58,5%
939	0,087	11,542	0,0%	0,0%	58,6%	58,5%
940	0,087	11,543	0,0%	0,0%	58,6%	58,5%
941	0,087	11,543	0,0%	0,0%	58,6%	58,5%
942	0,087	11,546	0,0%	0,0%	58,6%	58,5%
943	0,087	11,546	0,0%	0,0%	58,6%	58,5%
944	0,087	11,548	0,0%	0,0%	58,6%	58,5%
945	0,086	11,587	0,0%	0,0%	58,6%	58,5%
946	0,086	11,587	0,0%	0,0%	58,6%	58,5%
947	0,086	11,631	0,0%	0,2%	58,6%	58,7%
948	0,086	11,662	0,0%	0,0%	58,6%	58,7%
949	0,086	11,662	0,0%	0,0%	58,6%	58,7%
950	0,086	11,678	0,0%	0,0%	58,6%	58,7%
951	0,086	11,678	0,0%	0,0%	58,6%	58,7%
952	0,085	11,699	0,0%	0,0%	58,6%	58,7%
953	0,085	11,701	0,0%	0,2%	58,6%	58,9%
954	0,085	11,720	0,0%	0,1%	58,6%	58,9%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
955	0,085	11,725	0,0%	0,0%	58,6%	58,9%
956	0,085	11,745	0,0%	0,2%	58,6%	59,1%
957	0,085	11,748	0,1%	0,0%	58,7%	59,1%
958	0,085	11,752	0,0%	0,0%	58,7%	59,1%
959	0,085	11,752	0,0%	0,0%	58,7%	59,1%
960	0,085	11,767	0,0%	0,0%	58,8%	59,1%
961	0,085	11,786	0,2%	0,0%	58,9%	59,1%
962	0,084	11,838	0,0%	0,0%	58,9%	59,1%
963	0,084	11,859	0,0%	0,0%	58,9%	59,1%
964	0,084	11,859	0,0%	0,0%	58,9%	59,1%
965	0,084	11,861	0,0%	0,0%	58,9%	59,1%
966	0,084	11,889	0,1%	0,0%	59,0%	59,2%
967	0,084	11,910	0,0%	0,0%	59,0%	59,2%
968	0,084	11,910	0,0%	0,0%	59,0%	59,2%
969	0,084	11,911	0,2%	0,0%	59,2%	59,2%
970	0,084	11,933	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
971	0,084	11,933	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
972	0,084	11,950	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
973	0,084	11,950	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
974	0,083	12,074	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
975	0,083	12,084	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
976	0,083	12,084	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
977	0,083	12,096	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
978	0,083	12,098	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
979	0,083	12,099	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
980	0,082	12,169	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
981	0,082	12,169	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
982	0,082	12,181	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
983	0,082	12,218	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
984	0,082	12,229	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
985	0,082	12,247	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
986	0,082	12,256	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
987	0,082	12,256	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
988	0,082	12,260	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
989	0,082	12,260	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
990	0,081	12,331	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
991	0,081	12,331	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
992	0,081	12,359	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
993	0,081	12,376	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
994	0,081	12,383	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
995	0,081	12,383	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
996	0,081	12,396	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
997	0,081	12,396	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
998	0,080	12,429	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
999	0,080	12,457	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
1000	0,080	12,473	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
1001	0,080	12,547	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
1002	0,080	12,547	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
1003	0,080	12,556	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
1004	0,080	12,556	0,0%	0,0%	59,2%	59,2%
1005	0,080	12,565	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1006	0,079	12,608	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1007	0,079	12,618	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1008	0,079	12,618	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1009	0,079	12,676	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1010	0,079	12,681	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1011	0,079	12,681	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1012	0,079	12,684	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1013	0,078	12,784	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1014	0,078	12,808	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1015	0,078	12,808	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1016	0,078	12,823	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1017	0,078	12,823	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1018	0,078	12,861	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1019	0,078	12,867	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1020	0,078	12,867	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%

Modo de Vibração	T [s]	f [Hz]	U _x	U _y	ΣU _x	ΣU _y
1021	0,078	12,891	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1022	0,078	12,891	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1023	0,077	12,961	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1024	0,077	12,974	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1025	0,077	12,974	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1026	0,077	13,061	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1027	0,076	13,084	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1028	0,076	13,084	0,0%	0,0%	59,3%	59,2%
1029	0,076	13,130	0,1%	0,2%	59,4%	59,4%
1030	0,076	13,130	0,2%	0,1%	59,5%	59,5%
1031	0,076	13,142	0,0%	0,0%	59,5%	59,5%
1032	0,076	13,142	0,0%	0,0%	59,5%	59,5%
1033	0,076	13,146	0,0%	0,0%	59,5%	59,5%
1034	0,076	13,146	0,0%	0,0%	59,5%	59,5%
1035	0,076	13,193	0,0%	0,0%	59,5%	59,5%
1036	0,076	13,193	0,0%	0,0%	59,5%	59,5%
1037	0,076	13,205	0,0%	0,0%	59,5%	59,5%
1038	0,076	13,205	0,0%	0,0%	59,5%	59,5%
1039	0,076	13,225	0,0%	0,0%	59,5%	59,5%
1040	0,076	13,225	0,0%	0,0%	59,5%	59,5%
1041	0,076	13,233	0,0%	0,0%	59,5%	59,5%
1042	0,075	13,259	17,3%	15,6%	76,9%	75,1%
1043	0,075	13,259	15,6%	17,3%	92,5%	92,5%

XVI. ANEXO XVI - COMBINAÇÃO DE AÇÕES

Nas tabelas indicam-se as combinações de ações referentes aos Estados Limites Últimos e de Utilização.

Tabela 39 - Combinações de ações - Estados Limites Últimos

Estado Limite	Tipo de		Nome da Combinação	AVB	Permanente															Variável										Sismo	
	Estado Limite	Tipo de Combinação			PP	RCP	SC			SC - Equ			SC - Manut			W			I			T+			T-			Sismo 1	Sismo 2		
	Último				γ_G	γ_G	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	Fator
ELU	STR e GEO AC1 - Comb1	Fundamental de Ações	ELU(SC)_W_I_T+	SC	1,35	1,35	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	0,60	0,00				
			ELU(SC)_W_I_T-	SC	1,35	1,35	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	0,60	0,90				
			ELU(SC)_W_I	SC	1,35	1,35	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00				
			ELU(SC)_W_T+	SC	1,35	1,35	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	1,00	0,00	1,50	0,60	0,90	0,00	0,60	0,00				
			ELU(SC)_W_T-	SC	1,35	1,35	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	1,50	0,60	0,90				
			ELU(SC)_W	SC	1,35	1,35	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00				
			ELU(SC)_I_T+	SC	1,35	1,35	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	0,60	0,00				
			ELU(SC)_I_T-	SC	1,35	1,35	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	0,60	0,90				
			ELU(SC)_I	SC	1,35	1,35	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00				
			ELU(SC)_T+	SC	1,35	1,35	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	0,00	1,00	0,00	1,50	0,60	0,90	0,00	0,60	0,00				
ELU(SC)_T-	SC	1,35	1,35	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	1,50	0,60	0,90							
ELU(SC)	SC	1,35	1,35	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00							
ELU	STR e GEO AC1 - Comb1	Fundamental de Ações	ELU(SC - Equ)_W_I_T+	SC - Equ	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	0,60	0,00				
			ELU(SC - Equ)_W_I_T-	SC - Equ	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	0,60	0,90				
			ELU(SC - Equ)_W_I	SC - Equ	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00				
			ELU(SC - Equ)_W_T+	SC - Equ	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	1,00	0,00	1,50	0,60	0,90	0,00	0,60	0,00				
			ELU(SC - Equ)_W_T-	SC - Equ	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	1,50	0,60	0,90				
			ELU(SC - Equ)_W	SC - Equ	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00				
			ELU(SC - Equ)_I_T+	SC - Equ	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	0,60	0,00				
			ELU(SC - Equ)_I_T-	SC - Equ	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	0,60	0,90				
			ELU(SC - Equ)_I	SC - Equ	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00				
			ELU(SC - Equ)_T+	SC - Equ	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	0,00	1,00	0,00	1,50	0,60	0,90	0,00	0,60	0,00				
ELU(SC - Equ)_T-	SC - Equ	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	1,50	0,60	0,90							
ELU(SC - Equ)	SC - Equ	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00							
ELU	STR e GEO AC1 - Comb1	Fundamental de Ações	ELU(SC - Manut)_W_I_T+	SC - Man	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	1,50	0,60	0,90	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	0,60	0,00				
			ELU(SC - Manut)_W_I_T-	SC - Man	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	1,50	0,60	0,90	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	0,60	0,90				
			ELU(SC - Manut)_W_I	SC - Man	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	1,50	0,60	0,90	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00				
			ELU(SC - Manut)_W_T+	SC - Man	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	1,00	0,00	1,50	0,60	0,90	0,00	0,60	0,00				
			ELU(SC - Manut)_W_T-	SC - Man	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	1,50	0,60	0,90				
ELU(SC - Manut)_W	SC - Man	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00							

Estado Limite Último	Tipo de Estado Limite		Nome da Combinação	AVB	Permanente												Variável												Sismo				
	Estado Limite	Tipo de Combinação			PP			RCP			SC			SC - Equ			SC - Manut			W			I			T+			T-			Sismo 1	Sismo 2
					γ_G	γ_G	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	Fator	Fator	
			ELU(SC - Manut)_I_T+	SC - Man	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	0,60	0,00						
			ELU(SC - Manut)_I_T-	SC - Man	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	0,60	0,90						
			ELU(SC - Manut)_I	SC - Man	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00						
			ELU(SC - Manut)_T+	SC - Man	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	0,00	0,60	0,00	0,00	1,00	0,00	1,50	0,60	0,90	0,00	0,60	0,00						
			ELU(SC - Manut)_T-	SC - Man	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	0,00	0,60	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	1,50	0,60	0,90						
			ELU(SC - Manut)	SC - Man	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	0,00	0,60	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00						
ELU	STR e GEO AC1 - Comb1	Fundamental de Ações	ELU(W)_SC_I_T+	W	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	0,60	0,00						
			ELU(W)_SC_I_T-	W	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	0,60	0,90						
			ELU(W)_SC_I	W	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00						
			ELU(W)_SC_T+	W	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	0,00	1,00	0,00	1,50	0,60	0,90	0,00	0,60	0,00						
			ELU(W)_SC_T-	W	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	1,50	0,60	0,90						
			ELU(W)_SC	W	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00						
ELU	STR e GEO AC1 - Comb1	Fundamental de Ações	ELU(I)_SC_W_T+	I	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	1,50	-	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	0,60	0,00						
			ELU(I)_SC_W_T-	I	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	1,50	-	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	0,60	0,90						
			ELU(I)_SC_W	I	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	1,50	-	1,50	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00						
			ELU(I)_SC_T+	I	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	1,50	-	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	0,60	0,00						
			ELU(I)_SC_T-	I	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	1,50	-	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	0,60	0,90						
			ELU(I)_SC	I	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	1,50	-	1,50	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00						
ELU	STR e GEO AC1 - Comb1	Fundamental de Ações	ELU(T+)_SC_W_I	T+	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	0,00	0,60	0,00						
			ELU(T+)_SC_W	T+	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	1,00	0,00	1,50	-	1,50	0,00	0,60	0,00						
			ELU(T+)_SC_I	T+	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	0,00	0,60	0,00						
			ELU(T+)_SC	T+	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	1,00	0,00	1,50	-	1,50	0,00	0,60	0,00						
ELU	STR e GEO AC1 - Comb1	Fundamental de Ações	ELU(T-)_SC_W_I	T-	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	-	1,50						
			ELU(T-)_SC_W	T-	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	1,50	-	1,50						
			ELU(T-)_SC_I	T-	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	-	1,50						
			ELU(T-)_SC	T-	1,35	1,35	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	1,50	-	1,50						
ELU	STR e GEO AC1 - Comb1	Fundamental de Ações	ELU(W)_I_T+	W	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	0,60	0,00						
			ELU(W)_I_T-	W	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	0,60	0,90						
			ELU(W)_I	W	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,50	-	1,50	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00						
			ELU(W)_T+	W	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,50	-	1,50	0,00	1,00	0,00	1,50	0,60	0,90	0,00	0,60	0,00						
			ELU(W)_T-	W	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,50	-	1,50	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	1,50	0,60	0,90						
			ELU(W)	W	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,50	-	1,50	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00						
ELU	STR e GEO	Fundamental de Ações	ELU(I)_W_T+	I	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,50	0,60	0,90	1,50	-	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	0,60	0,00						
			ELU(I)_W_T-	I	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,50	0,60	0,90	1,50	-	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	0,60	0,90						
			ELU(I)_W	I	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,50	0,60	0,90	1,50	-	1,50	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00						

Estado Limite Último	Tipo de		Nome da Combinação	AVB	Permanente																		Variável												Sismo	
	Estado Limite	Tipo de Combinação			PP	RCP	SC			SC - Equ			SC - Manut			W			I			T+			T-			Sismo 1	Sismo 2							
	Último				γ_G	γ_G	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	Fator	Fator							
AC1 - Comb1			ELU(I)_T+	I	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	1,50	-	1,50	1,50	0,60	0,90	0,00	0,60	0,00									
			ELU(I)_T-	I	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	1,50	-	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	0,60	0,90									
			ELU(I)	I	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	1,50	-	1,50	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00									
ELU	STR e GEO AC1 - Comb1	Fundamental de Ações	ELU(T+)_W_I	T+	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,50	0,60	0,90	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	0,00	0,60	0,00									
			ELU(T+)_W	T+	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,50	0,60	0,90	0,00	1,00	0,00	1,50	-	1,50	0,00	0,60	0,00									
			ELU(T+)_I	T+	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	1,50	1,00	1,50	1,50	-	1,50	0,00	0,60	0,00									
			ELU(T+)	T+	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	1,00	0,00	1,50	-	1,50	0,00	0,60	0,00									
ELU	STR e GEO AC1 - Comb1	Fundamental de Ações	ELU(T-)_W_I	T-	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,50	0,60	0,90	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	-	1,50									
			ELU(T-)_W	T-	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,50	0,60	0,90	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	1,50	-	1,50									
			ELU(T-)_I	T-	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	1,50	1,00	1,50	0,00	0,60	0,00	1,50	-	1,50									
			ELU(T-)	T-	1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,60	0,00	1,50	-	1,50									
ELU	STR e GEO AC1 - Comb1	Sísmica	ELU(S1)	-	1,00	1,00	-	0,80	0,80	-	0,40	0,40	-	0,40	0,40	-	0,00	0,00	-	0,80	0,80	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	1,00	0,00							
			ELU(S2)	-	1,00	1,00	-	0,80	0,80	-	0,40	0,40	-	0,40	0,40	-	0,00	0,00	-	0,80	0,80	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	1,00							

Tabela 40 - Combinações de ações - Estados Limite de Serviço

Estado Limite Último	Tipo de		Nome da Combinação	AVB	Permanente																		Variável												Sismo	
	Estado Limite	Tipo de Combinação			PP	RCP	SC			SC - Equ			SC - Manut			W			I			T+			T-			Sismo 1	Sismo 2							
	Último				γ_G	γ_G	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	γ_Q	ψ	Fator	Fator	Fator							
ELS	-	Quase-permanente	ELS_QP	-	1,00	1,00	-	0,80	0,80	-	0,40	0,40	-	0,40	0,40	-	0,00	0,00	-	0,80	0,80	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00									

XVII. ANEXO XVII - PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS METÁLICOS

Asnas da cobertura do *stock*

O pré-dimensionamento foi realizado para uma asna tipo.

Características gerais

Na tabela indicam-se os comprimentos de encurvadura das barras das asnas.

Tabela 41 - Comprimentos de encurvadura

Componente da treliça	Número	L _{cr} [m]		Condições de ligação ao exterior
		Plano da estrutura	Plano ⊥ à estrutura	
	1	1,099	1,099	
Cordões Superiores	2 - 20	1,559	1,559	
	21	1,949	1,949	
Cordões Inferiores	1 - 18	1,559	4,677	
	19 - 20	1,559	3,118	
Diagonais	1 - 21	2,344	2,344	
Prumos	1	1,809	1,809	
	2 - 21	1,750	1,750	

Os nós das asnas funcionam como rótulas perfeitas, razão pela qual no plano da estrutura todas as barras têm um comprimento crítico igual ao comprimento das mesmas.

Nos cordões superiores considerou-se para o comprimento de encurvadura no plano perpendicular à estrutura o comprimento das barras, uma vez que as madres travam todos os nós superiores das asnas.

Nos cordões inferiores 1 a 18 e 19 a 20 considerou-se o triplo e o dobro dos comprimentos respetivamente, com base na posição das escoras de travamento das asnas.

A orientação para os perfis metálicos das asnas foi feita de modo a tirar o melhor aproveitamento do comportamento das barras.

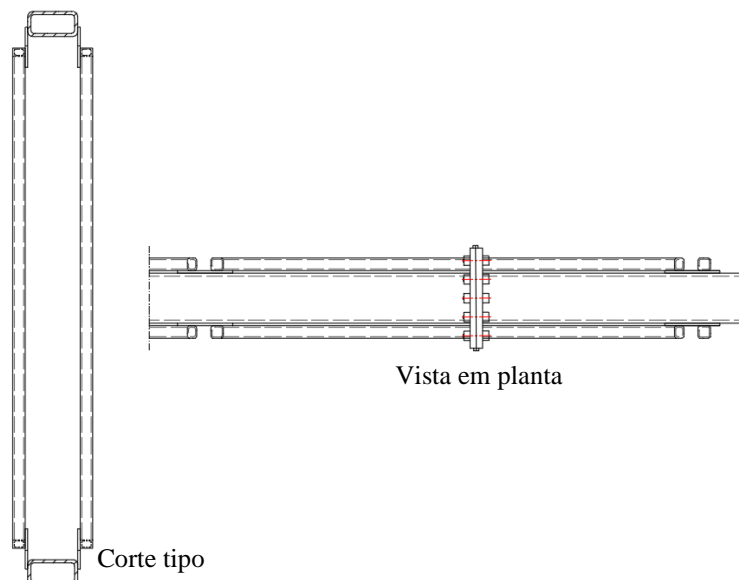


Figura 42 - Orientação dos perfis RHS e SHS nas barras das asnas

Ações e esforços condicionantes de cálculo

Nas tabelas indicam-se as ações usadas no pré-dimensionamento das asnas.

Tabela 42 - Ações - PP, RCP, SC e W

Ação	Valor	Unidades
PP _{asna}	1,2	kN/m
RCP	0,1	kN/m ²
SC	0,8	kN/m ²
W+	1,12	kN/m ²
W-	1,12	kN/m ²

Tabela 43 - Coeficientes de pressão

Troço de Asna	Vão [m]	Área de Influência [m ²]	C _{pe} ⁺	C _{pe} ⁻
1	1,099	12,941	0,242	-0,813
2	1,559	17,712	0,216	-0,818
3	1,559	16,954	0,169	-0,823
4	1,559	16,197	0,120	-0,830
5	1,559	15,439	0,069	-0,836
6	1,559	14,681	0,019	-0,843
7	1,559	13,924	-0,031	-0,849
8	1,559	13,166	-0,079	-0,856
9	1,559	12,409	-0,134	-0,861
10	1,559	11,651	-0,178	-0,868
11	1,559	10,893	-0,231	-0,875

Troço de Asna	Vão [m]	Área de Influência [m ²]	c_{pe}^+	c_{pe}^-
12	1,559	10,136	-0,284	-0,881
13	1,559	9,378	-0,325	-0,886
14	1,559	8,621	-0,388	-0,893
15	1,559	7,863	-0,426	-0,900
16	1,559	7,105	-0,481	-0,906
17	1,559	6,348	-0,537	-0,910
18	1,559	5,590	-0,571	-0,916
19	1,559	4,833	-0,641	-0,923
20	1,559	4,075	-0,677	-0,929
21	1,949	4,034	-0,728	-0,930

Tabela 44 - Combinações de ações - ELU e ELS

Troço de Asna	ELU (SC1)				ELU (W+)				ELU (W-)				ELS				
	Carga distribuída		Carga pontual		Carga distribuída		Carga pontual		Carga distribuída		Carga pontual		Carga distribuída		Carga pontual		
	[kN/m]	[kN]	[kN/m]	[kN]	[kN/m]	[kN]	[kN/m]	[kN]	[kN/m]	[kN]	[kN/m]	[kN]	[kN/m]	[kN]			
	⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥	
1	14,03	10,19	4,06	0,00	18,56	10,19	4,06	2,39	-14,21	1,40	3,01	0,00	8,02	5,83	3,01	0,00	
2	13,58	9,87	4,08	2,97	17,26	9,87	4,08	2,97	-13,77	1,37	3,02	2,20	7,77	5,65	3,02	2,20	
3	13,06	9,49	3,91	2,84	15,70	9,49	3,91	2,84	-13,25	1,34	2,90	2,10	7,48	5,44	2,90	2,10	
4	12,53	9,10	3,74	2,72	14,18	9,10	3,74	2,72	-12,73	1,32	2,77	2,01	7,19	5,22	2,77	2,01	
5	12,01	8,72	2,86	2,08	12,74	8,72	2,86	2,08	-12,19	1,29	2,12	1,54	6,90	5,01	2,12	1,54	
6	11,48	8,34	2,92	2,12	11,39	8,34	2,92	2,12	-11,65	1,26	2,16	1,57	6,61	4,80	2,16	1,57	
7	10,96	7,96	2,77	2,02	10,13	7,96	2,77	2,02	-11,10	1,23	2,05	1,49	6,32	4,59	2,05	1,49	
8	10,43	7,58	2,11	1,53	8,92	7,58	2,11	1,53	-10,53	1,20	1,56	1,13	6,03	4,38	1,56	1,13	
9	9,91	7,20	1,81	1,31	7,82	7,20	1,81	1,31	-9,95	1,17	1,34	0,97	5,74	4,17	1,34	0,97	
10	9,38	6,82	1,70	1,24	6,81	6,82	1,70	1,24	-9,37	1,14	1,26	0,92	5,44	3,96	1,26	0,92	
11	8,86	6,44	1,29	0,94	5,83	6,44	1,29	0,94	-8,77	1,12	0,95	0,69	5,15	3,74	0,95	0,69	
12	8,33	6,05	1,09	0,79	5,00	6,05	1,09	0,79	-8,16	1,09	0,80	0,58	4,86	3,53	0,80	0,58	
13	7,81	5,67	0,82	0,59	4,20	5,67	0,82	0,59	-7,53	1,06	0,60	0,44	4,57	3,32	0,60	0,44	
14	7,28	5,29	0,75	0,55	3,50	5,29	0,75	0,55	-6,91	1,03	0,56	0,40	4,28	3,11	0,56	0,40	
15	6,76	4,91	0,69	0,50	2,91	4,91	0,69	0,50	-6,27	1,00	0,51	0,37	3,99	2,90	0,51	0,37	
16	6,23	4,53	0,63	0,45	2,34	4,53	0,63	0,45	-5,61	0,97	0,46	0,34	3,70	2,69	0,46	0,34	
17	5,71	4,15	0,56	0,41	1,92	4,15	0,56	0,41	-4,94	0,94	0,42	0,30	3,41	2,48	0,42	0,30	
18	5,18	3,77	0,50	0,36	1,53	3,77	0,50	0,36	-4,28	0,92	0,37	0,27	3,12	2,26	0,37	0,27	
19	4,66	3,38	0,44	0,32	1,23	3,38	0,44	0,32	-3,60	0,89	0,32	0,23	2,83	2,05	0,32	0,23	
20	4,13	3,00	0,37	0,27	1,05	3,00	0,37	0,27	-2,90	0,86	0,28	0,20	2,54	1,84	0,28	0,20	
21	3,55	2,58	0,31	0,22	0,92	2,58	0,31	0,22	-2,10	0,83	0,23	0,17	2,21	1,61	0,23	0,17	
			0,25	0,18			0,25	0,18				0,18	0,13			0,18	0,13

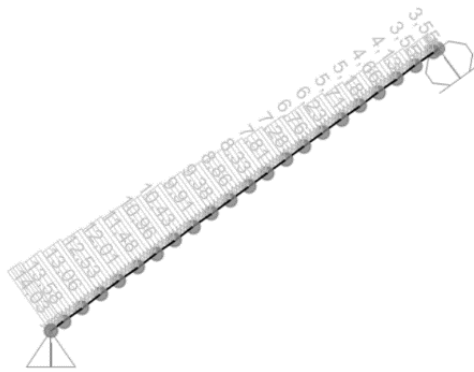


Figura 43 - Carregamento referente ao ELU (SC) segundo zz

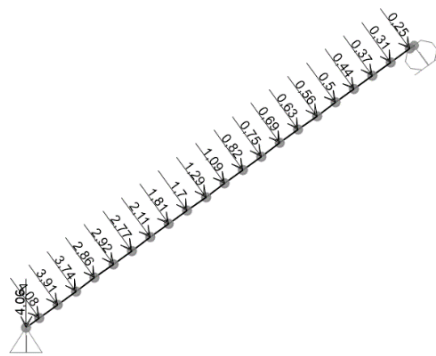


Figura 44 - Carregamento referente ao ELU (SC) segundo zz

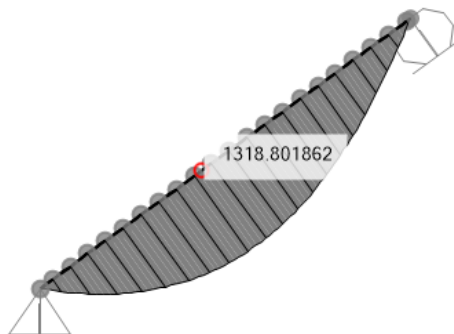


Figura 45 – Diagrama de momentos fletores referente aos ELU (SC)

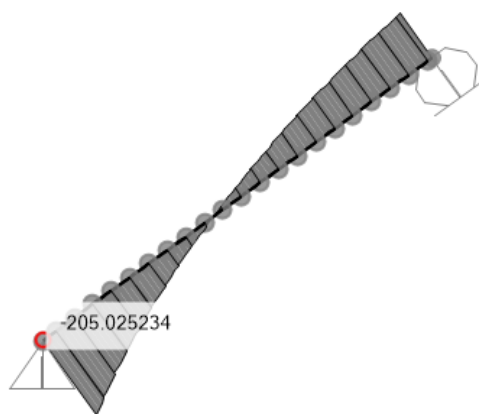


Figura 46 - Diagrama de esforços transversos referente aos ELU (SC)

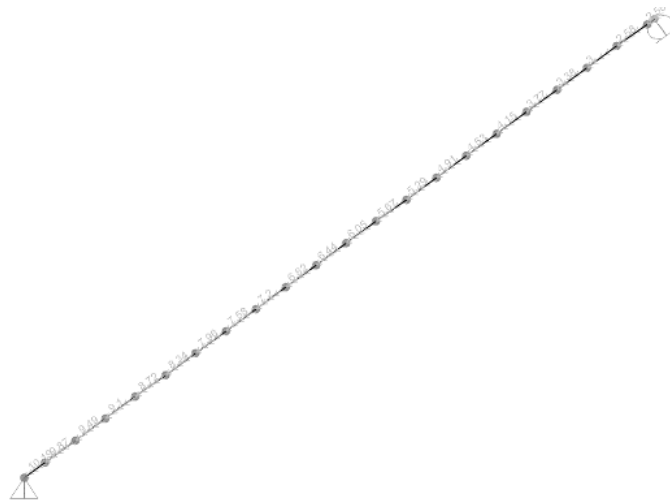


Figura 47 - Carga distribuída referente ao ELU (SC) segundo yy

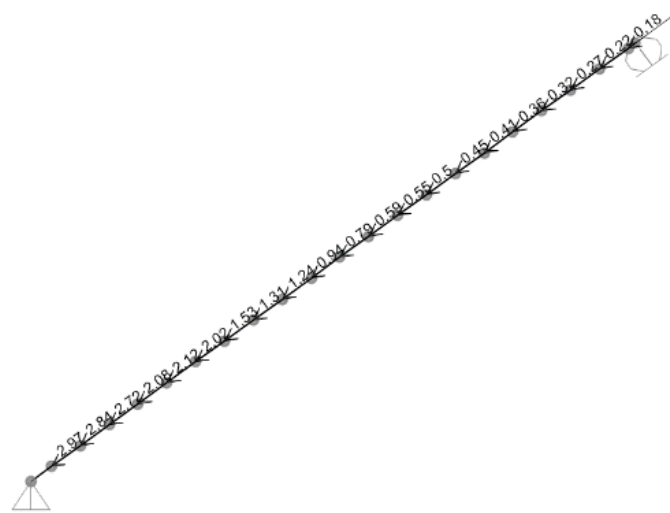


Figura 48 - Carga pontual referente ao ELU (SC) segundo yy

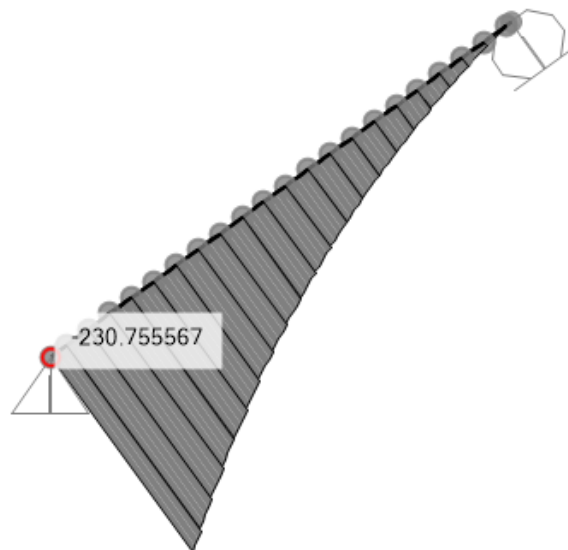


Figura 49 - Diagrama de esforços axiais referente ao ELU (SC)

Na Tabela 45 indicam-se os esforços considerados no modelo unifilar da asna com base nos diagramas das figuras anteriores.

Tabela 45 - Esforços no modelo de cálculo unifilar

Seção	Troço de asna	ELU SC			ELU W+			ELU W-		
		└	//		└	//		└	//	
		$M_{Ed,máx}$ [kN.m]	$V_{Ed,máx}$ [kN]	$N_{Ed,máx}$ [kN]	$M_{Ed,máx}$ [kN.m]	$V_{Ed,máx}$ [kN]	$N_{Ed,máx}$ [kN]	$M_{Ed,máx}$ [kN.m]	$V_{Ed,máx}$ [kN]	$N_{Ed,máx}$ [kN]
1	1 a 3	685,4	-195,9	-231,2	623,9	-189,6	-231,2	-541,1	154,3	-54,3
2	4 a 6	1133,0	-127,2	-181,3	960,2	-106,1	-181,3	-907,4	105,3	-42,2
3	7 a 9	1299,3	-62,5	-134,3	1028,1	-37,8	-134,3	-1051,7	54,6	-31,6
4	10 a 12	1302,8	35,7	-94,8	1024,1	39,6	-94,8	-1056,5	9,5	-22,9
5	13 a 15	1232,1	72,0	-62,4	904,3	58,4	-62,4	-1001,6	-60,4	-16,0
6	16 a 18	975,7	100,4	-36,1	670,2	69,1	-36,1	-789,4	-82,2	-10,1
7	19 a 21	568,4	122,4	-15,7	368,7	75,8	-15,7	-453,9	-95,4	-4,8

A partir dos esforços no modelo unifilar determinaram-se os esforços em todas as barras da asna.

Tabela 46 - Esforços axiais nos cordões superiores

Cordões Superiores	$N_{Ed} = \frac{M_{seção}}{h} + \frac{N_{seção}}{2}$		$N_{Ed} < 0$ - Compressão
	ELU SC	ELU W+	$N_{Ed} > 0$ - Tração
Seção	ELU SC	ELU W+	ELU W-
1	-507,3	-472,2	282,1
2	-738,1	-639,4	497,4
3	-809,6	-654,7	585,2
4	-791,9	-632,6	592,2
5	-735,2	-547,9	564,4
6	-575,6	-401,0	446,0
7	-332,6	-218,5	256,9

Tabela 47 - Esforços axiais nos cordões inferiores

Cordões Inferiores	$N_{Ed} = \frac{M_{seção}}{h} + \frac{N_{seção}}{2}$		$N_{Ed} < 0$ - Compressão
	ELU SC	ELU W+	$N_{Ed} > 0$ - Tração
Seção	ELU SC	ELU W+	ELU W-
1	276,0	240,9	-336,3
2	556,8	458,0	-539,6
3	675,3	520,3	-616,8

Cordões Inferiores	$N_{Ed} = \frac{M_{seção}}{h} + \frac{N_{seção}}{2}$		$N_{Ed} < 0$ - Compressão
			$N_{Ed} > 0$ - Tração
Secção	ELU SC	ELU W+	ELU W-
4	697,1	537,8	-615,1
5	672,9	485,6	-580,4
6	539,5	364,9	-456,1
7	317,0	202,8	-261,8

Tabela 48 - Esforços axiais nos prumos

Prumos	$N_{Ed} = V_{seção}$		$N_{Ed} < 0$ - Compressão
			$N_{Ed} > 0$ - Tração
Secção	ELU SC	ELU W+	ELU W-
1	195,9	189,6	-154,3
2	127,2	106,1	-105,3
3	62,5	37,8	-54,6
4	-35,7	-39,6	-9,5
5	-72,0	-58,4	60,4
6	-100,4	-69,1	82,2
7	-122,4	-75,8	95,4

Tabela 49 - Esforços axiais nas diagonais

Diagonais	$N_{Ed} = \frac{V_{seção}}{\sin \alpha}$, com $\alpha=48^\circ$		$N_{Ed} < 0$ - Compressão
			$N_{Ed} > 0$ - Tração
Zona	ELU SC	ELU W+	ELU W-
1	-262,4	-253,9	206,7
2	-170,4	-142,1	141,0
3	-83,7	-50,6	73,1
4	47,8	53,0	12,7
5	96,5	78,2	-80,8
6	134,5	92,5	-110,1
7	163,9	101,5	-127,8

Ábacos e tabelas

- **ELU**

A partir dos esforços indicados na tabela seguinte procedeu-se com base nos ábacos das figuras 2.17 a 2.20 ao pré-dimensionamento de todas as barras das asnas.

Tabela 50 - Cordões superiores - Compressão

Secção	$N_{c,Ed}$ [kN]	$L_{cr,y}$ [m]	$L_{cr,z}$ [m]	Perfil	Rácio	Eixo	λ_y	λ_z
1	507,3	1,559	1,559	140x80x5	0,97	z	30,64	47,73
2	738,1	1,559	1,559	140x80x8	0,92	z	31,46	49,61
3	809,6	1,559	1,559	140x80x10	0,83	z	32,08	51,01
4	791,9	1,559	1,559	140x80x8	0,99	z	31,46	49,61
5	735,2	1,559	1,559	140x80x8	0,92	z	31,46	49,61
6	575,6	1,559	1,559	140x80x6,3	0,89	z	30,98	48,47
7	332,6	1,949	1,949	140x80x4	0,84	z	37,98	58,91

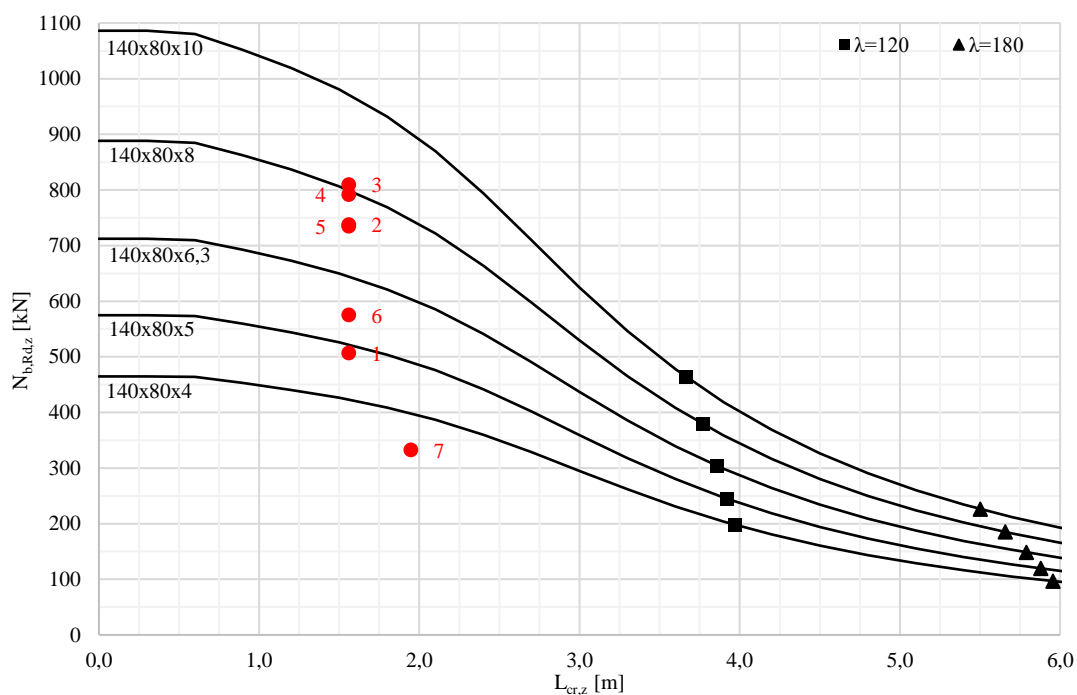


Figura 50 - Resistência à encurvadura segundo o eixo zz dos cordões superiores - Perfis RHS em aço S275

Tabela 51 - Cordões inferiores - Compressão

Secção	$N_{c,Ed}$ [kN]	$L_{cr,y}$ [m]	$L_{cr,z}$ [m]	Perfil	Rácio	Eixo	λ_y	λ_z
1	336,3	4,677	1,559	140x80x5	0,94	y	91,93	47,73
2	539,6	4,677	1,559	140x80x10	0,84	y	96,23	51,01
3	616,8	4,677	1,559	140x80x10	0,96	y	96,23	51,01
4	615,1	4,677	1,559	140x80x10	0,96	y	96,23	51,01
5	580,4	4,677	1,559	140x80x10	0,91	y	96,23	51,01
6	456,1	4,677	1,559	140x80x8	0,85	y	94,39	49,61
7	261,8	3,118	1,559	140x80x4	0,89	y	60,76	47,12

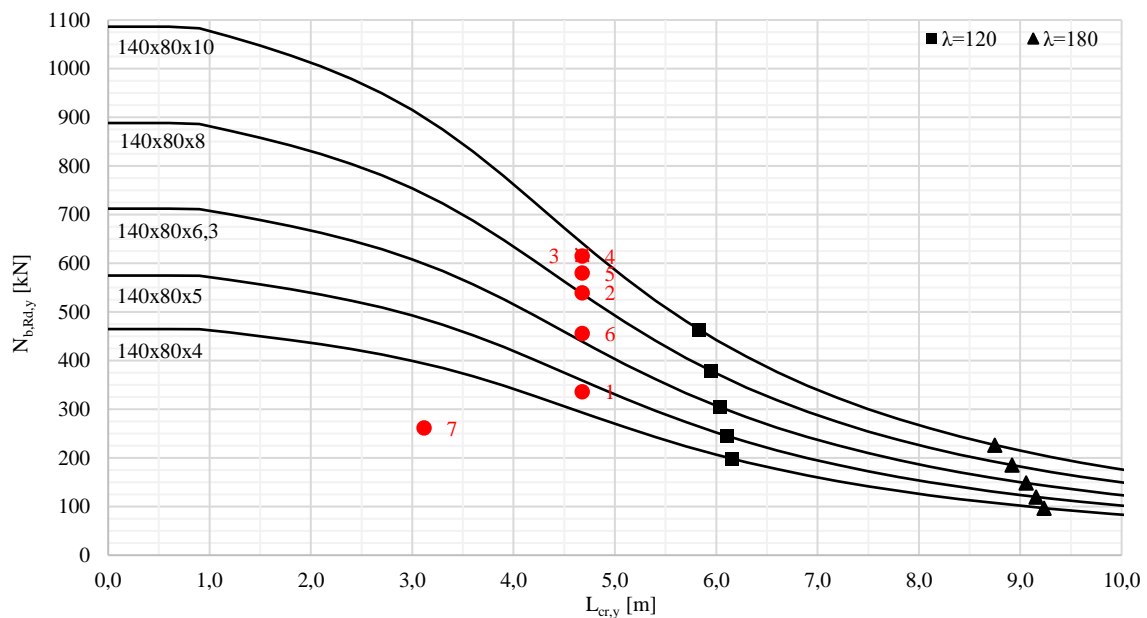


Figura 51 - Resistência à encurvadura segundo o eixo zz dos cordões inferiores - Perfis RHS em aço S275

Tabela 52 - Cordões inferiores - Tração

Zona	$N_{t,Ed}$ [kN]	Perfil	$N_{pl,Rd}$ [kN]	Rácio
1	276,0	140x80x5	574,75	0,48
2	556,8	140x80x10	1086,25	0,51
3	675,3	140x80x10	1086,25	0,62
4	697,1	140x80x10	1086,25	0,64
5	672,9	140x80x10	1086,25	0,62
6	539,5	140x80x8	888,25	0,61
7	317,0	140x80x4	464,75	0,68

Tabela 53 - Prumos - Compressão

Secção	$N_{c,Ed}$ [kN]	$L_{cr,y}$ [m]	$L_{cr,z}$ [m]	Perfil	Rácio	Eixo	λ_y	λ_z
1	154,3	1,750	1,750	2-50x50x4	0,64	y	93,85	18,08
2	105,3	1,750	1,750	2-40x40x4	0,81	y	120,45	19,20
3	54,6	1,750	1,750	2-40x40x4	0,42	y	120,45	19,20
4	39,6	1,750	1,750	2-40x40x4	0,30	y	120,45	19,20
5	72,0	1,750	1,750	2-40x40x4	0,55	y	120,45	19,20
6	100,4	1,750	1,750	2-40x40x4	0,77	y	120,45	19,20
7	122,4	1,750	1,750	2-40x40x4	0,94	y	120,45	19,20

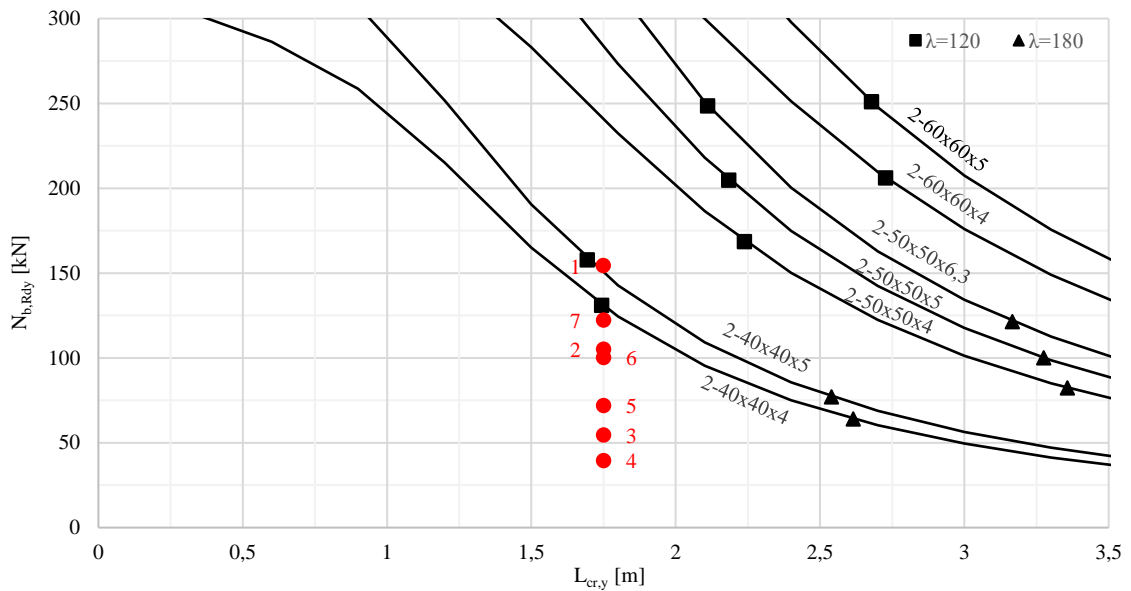


Figura 52 - Resistência à encurvadura segundo o eixo zz dos prumos - 2 Perfis SHS em aço S275

Nota: As secções escolhidas para os prumos verificam os esforços de tração uma vez que

$$N_{t,Ed,máx} = 195,9 \text{ kN} \text{ é inferior a } N_{pl,Rd} = 307,5 \text{ kN}.$$

Tabela 54 - Diagonais - Compressão

Secção	$N_{c,Ed}$ [kN]	$L_{cr,y}$ [m]	$L_{cr,z}$ [m]	Perfil	Rácio	Eixo	λ_y	λ_z
1	262,4	2,3438	2,3438	2-60x60x5	0,85	y	105,01	22,88
2	170,4	2,3438	2,3438	2-50x50x5	0,94	y	128,82	24,23
3	83,7	2,3438	2,3438	2-40x40x5	0,94	y	166,10	25,73
4	Elementos sujeitos exclusivamente a esforços de tração – 2-40x40x4							
5	80,8	2,3438	2,3438	2-40x40x5	0,90	y	166,10	25,73
6	110,1	2,3438	2,3438	2-50x50x4	0,70	y	125,69	24,21
7	127,8	2,3438	2,3438	2-50x50x4	0,82	y	125,69	24,21

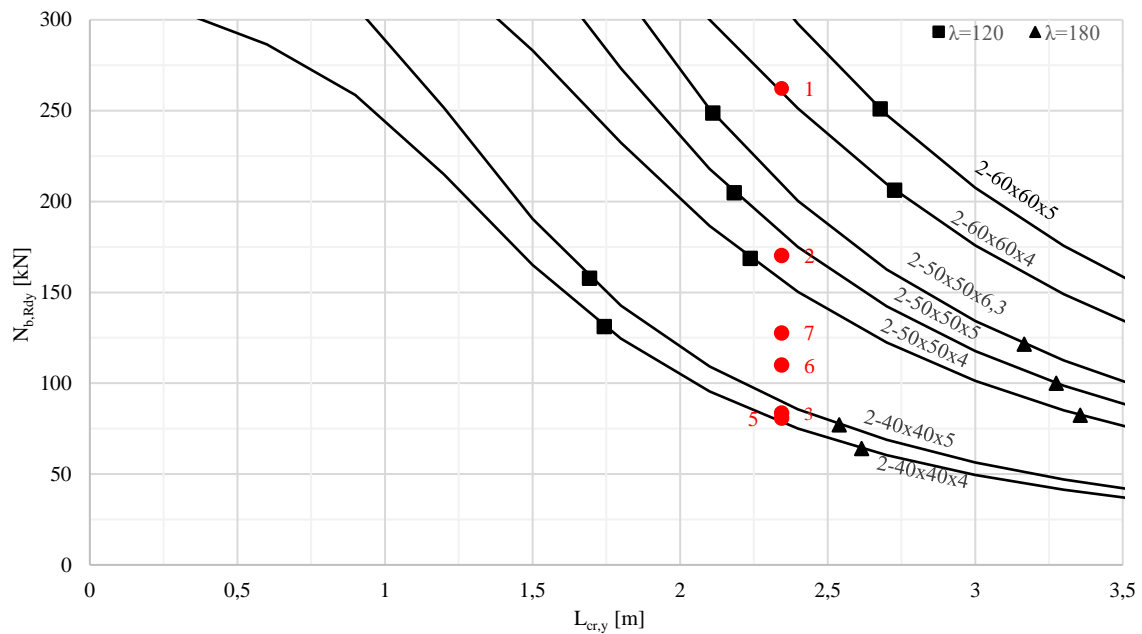


Figura 53 - Resistência à encurvadura segundo o eixo zz das diagonais - 2 Perfis SHS em aço S275

Nota: As secções escolhidas para as diagonais verificam igualmente os esforços de tração uma vez que $N_{t,Ed,max} = 206,7\text{kN}$ é inferior a $N_{pl,Rd} = 307,5\text{kN}$.

- **ELS – Flechas**

A determinação das flechas foi feita a partir de um modelo tridimensional no “SAP2000” com 2 sectores da cobertura.

Verifica-se que as asnas têm uma flecha máxima igual a 113mm inferior ao valor admissível L/250.

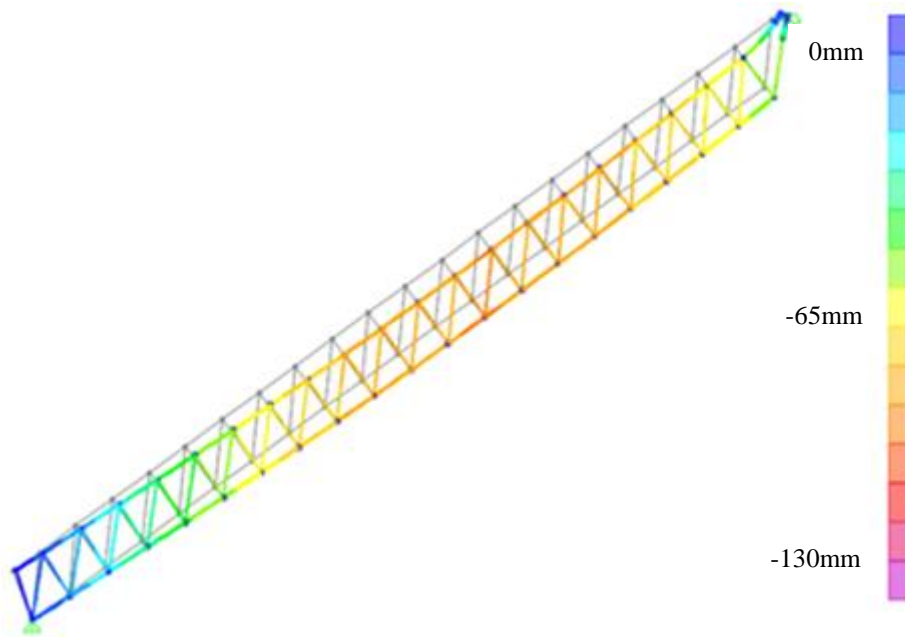


Figura 54 - Flecha da asna para o ELS

Tarugos da cobertura do stock

Tratam-se dos elementos mais simples e o seu pré-dimensionamento foi realizado com base nos seguintes elementos:

Características gerais

Tabela 55 – Comprimento dos tarugos

Tarugos	Vão [m]
1	1,09
2	1,54
3	1,54
4	1,54
5	1,54
6	1,54
7	1,54
8	1,54
9	1,54
10	1,54

Tarugos	Vão [m]
11	1,54
12	1,54
13	1,54
14	1,54
15	1,54
16	1,54
17	1,81
18	1,81

Ações e esforços condicionantes

Tabela 56 - Combinações de ações cálculo para ELU

Madres	ELU	Encastramento R_v - [kN]	Tarugos	ELU
	$q_{y.Ed}$ [kN/m]			N_{Ed} [kN]
1	0,62	4,69	1	4,69
2	1,28	9,39	2	14,08
3	1,46	10,28	3	24,36
4	1,46	9,83	4	34,19
5	1,41	9,06	5	43,24
6	1,42	8,71	6	51,95
7	1,42	8,27	7	60,23
8	1,38	7,60		
9	1,37	7,09		
10	1,37	6,67	8	6,67
11	1,34	6,11	9	12,79
12	1,32	5,65	10	18,43
13	1,30	5,16	11	23,59
14	1,30	4,76	12	28,35
15	1,30	4,35	13	32,70
16	1,30	3,95		
17	1,30	3,55		
18	1,30	3,15	14	3,15
19	1,30	2,75	15	5,91
20	1,30	2,35	16	8,26
21	1,30	1,95	17 e 18	4,87

Ábacos e tabelas de pré-dimensionamento

O esforço de tração máxima nos tarugos é de 60,23kN, tendo-se adotado perfis SHS40x40x4 com uma resistência máxima à tração de 153,7kN.

Travamentos dos Cordões Inferiores

Para os travamentos dos cordões inferiores das asnas optou-se por perfis CHS 42,4x4.

Travamentos dos Anéis Rigidizadores

Escolheram-se perfis CHS 73,1x4 para as barras do nível 1 e CHS 42,4x4 para as barras do nível 2.

Vigas da plataforma metálica

O pré-dimensionamento das vigas da plataforma foi realizado recorrendo aos ábacos das Figura 55 a Figura 58 com base nos esforços máximos referentes aos estados limites últimos e de serviço.

Características gerais

Tabela 57 - Vãos e áreas de influência das vigas da plataforma

Madre	Vão [m]	Área de Influência [m ²]	Madre	Vão [m]	Área de Influência [m ²]
1	12,00	44,12	22	1,36	1,67
2	8,49	22,28	23	4,60	4,24
3	8,49	23,59	24	3,03	2,41
4	1,76	1,65	25	1,22	2,49
5	1,76	0,83	26	0,98	2,49
6	0,51	0,63	27	2,61	2,41
7	0,93	0,93	28	6,04	4,24
8	1,34	1,34	29	2,74	4,36
9	1,34	1,34	30	3,11	4,36
10	0,93	0,93	31	2,57	4,36
11	0,51	0,63	32	2,92	4,36
12	0,51	0,63	33	3,65	4,36
13	0,93	0,93	34	2,97	4,36
14	1,34	1,34	35	3,22	4,24
15	1,82	1,91	36	4,24	4,24
16	1,82	1,91	37	4,24	4,24
17	4,24	3,94	38	4,24	4,24
18	4,24	3,94	39	4,24	4,24
19	4,24	3,46	40	4,76	3,63
20	4,24	3,18	41	3,61	3,70
21	4,24	2,02	42	1,29	1,29

Ações e esforços condicionantes

Tabela 58 - Combinações de ações de cálculo referentes aos ELU e ELS

Madre	ELU	ELS	Madre	ELU	ELS
	$q_{z,Ed}$ [kN/m]	$q_{z,Ed}$ [kN/m]		$q_{z,Ed}$ [kN/m]	$q_{z,Ed}$ [kN/m]
1	88,19	26,11	22	19,50	5,77
2	62,93	18,63	23	26,04	7,71
3	66,65	19,73	24	30,17	8,93
4	22,54	6,67	25	11,76	3,48
5	11,27	3,34	26	9,44	2,79
6	29,58	8,76	27	26,02	7,70
7	23,96	7,09	28	34,19	10,12
8	24,04	7,12	29	15,08	4,47
9	24,04	7,12	30	17,13	5,07
10	23,96	7,09	31	14,14	4,19
11	29,58	8,76	32	16,05	4,75
12	29,58	8,76	33	20,07	5,94
13	23,96	7,09	34	16,33	4,83
14	24,04	7,12	35	18,20	5,39
15	25,15	7,44	36	24,00	7,10
16	25,15	7,44	37	24,00	7,10
17	22,29	6,60	38	24,00	7,10
18	22,29	6,60	39	24,00	7,10
19	19,56	5,79	40	31,47	9,32
20	17,99	5,32	41	23,39	6,92
21	11,40	3,37	42	23,93	7,08

Ábacos e tabelas

- **ELU – Flexão Simples**

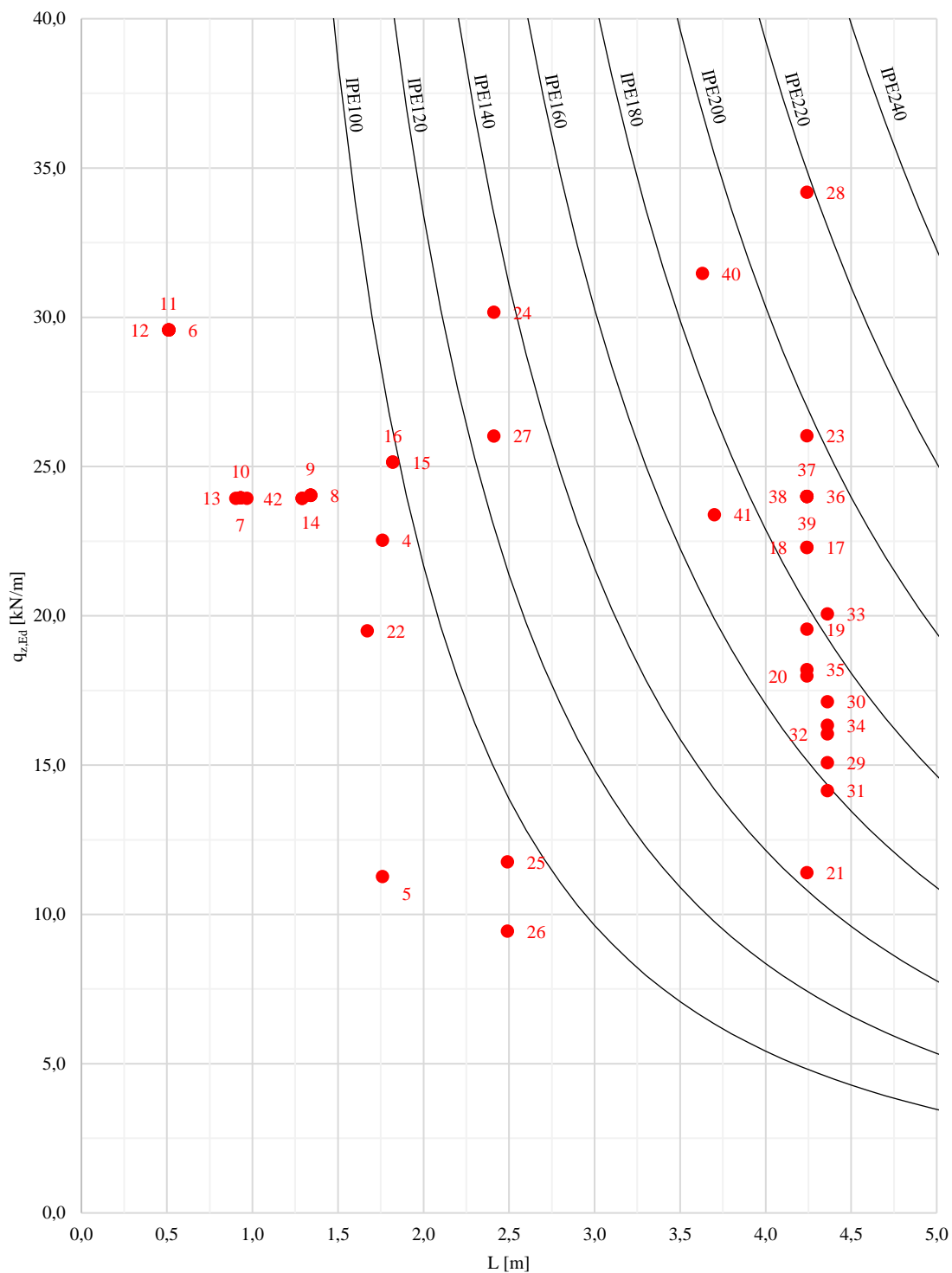


Figura 55 - Vãos máximos em vigas simplesmente apoiadas com carga uniformemente distribuída constante no vão - Perfis IPE - Aço S275

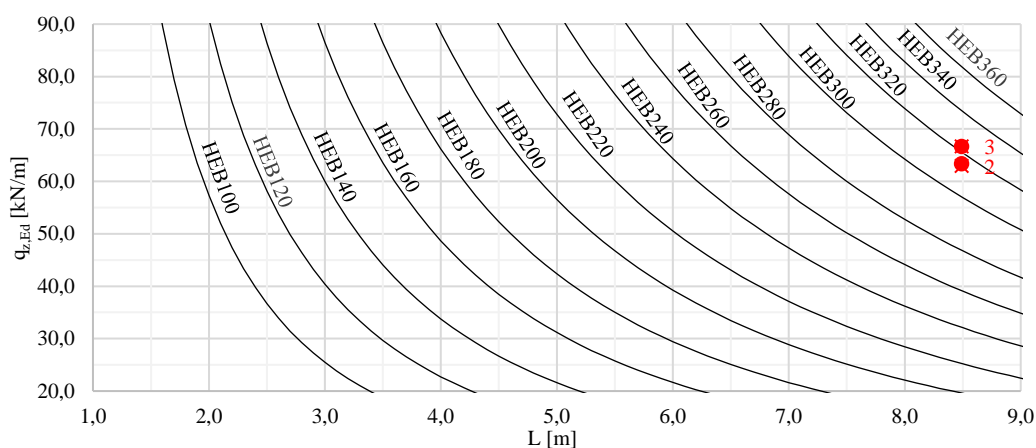


Figura 56 - Vãos máximos em vigas simplesmente apoiadas com carga uniformemente distribuída constante no vão - Perfis HEB - Aço S275

Tabela 59 - Quadro resumo da verificação ao ELU

Viga	Perfil	$q_{z,Rd}$ [kN/m]	Rácio	Viga	Perfil	$q_{z,Rd}$ [kN/m]	Rácio
2	HEB320	65,60	0,96	23	IPE200	27,00	0,96
3	HEB340	73,50	0,91	24	IPE140	33,46	0,90
4	IPE100	27,99	0,81	25	IPE100	13,98	0,84
5	IPE100	27,99	0,40	26	IPE100	13,98	0,68
6	IPE100	333,31	0,09	27	IPE140	33,46	0,78
7	IPE100	100,24	0,24	28	IPE220	34,93	0,98
8	IPE100	48,28	0,50	29	IPE180	19,26	0,78
9	IPE100	48,28	0,50	30	IPE180	19,26	0,89
10	IPE100	100,24	0,24	31	IPE160	14,33	0,99
11	IPE100	333,31	0,09	32	IPE180	19,26	0,83
12	IPE100	333,31	0,09	33	IPE200	25,53	0,79
13	IPE100	100,24	0,24	34	IPE180	19,26	0,85
14	IPE100	48,28	0,50	35	IPE180	20,36	0,89
15	IPE100	26,17	0,96	36	IPE200	27,00	0,89
16	IPE100	26,17	0,96	37	IPE200	27,00	0,89
17	IPE200	27,00	0,83	38	IPE200	27,00	0,89
18	IPE200	27,00	0,83	39	IPE200	27,00	0,89
19	IPE180	20,36	0,96	40	IPE200	36,84	0,85
20	IPE180	20,36	0,88	41	IPE180	26,74	0,87
21	IPE160	15,16	0,75	42	IPE100	52,10	0,46
22	IPE100	31,09	0,63				

- **ELS – Flechas máximas**

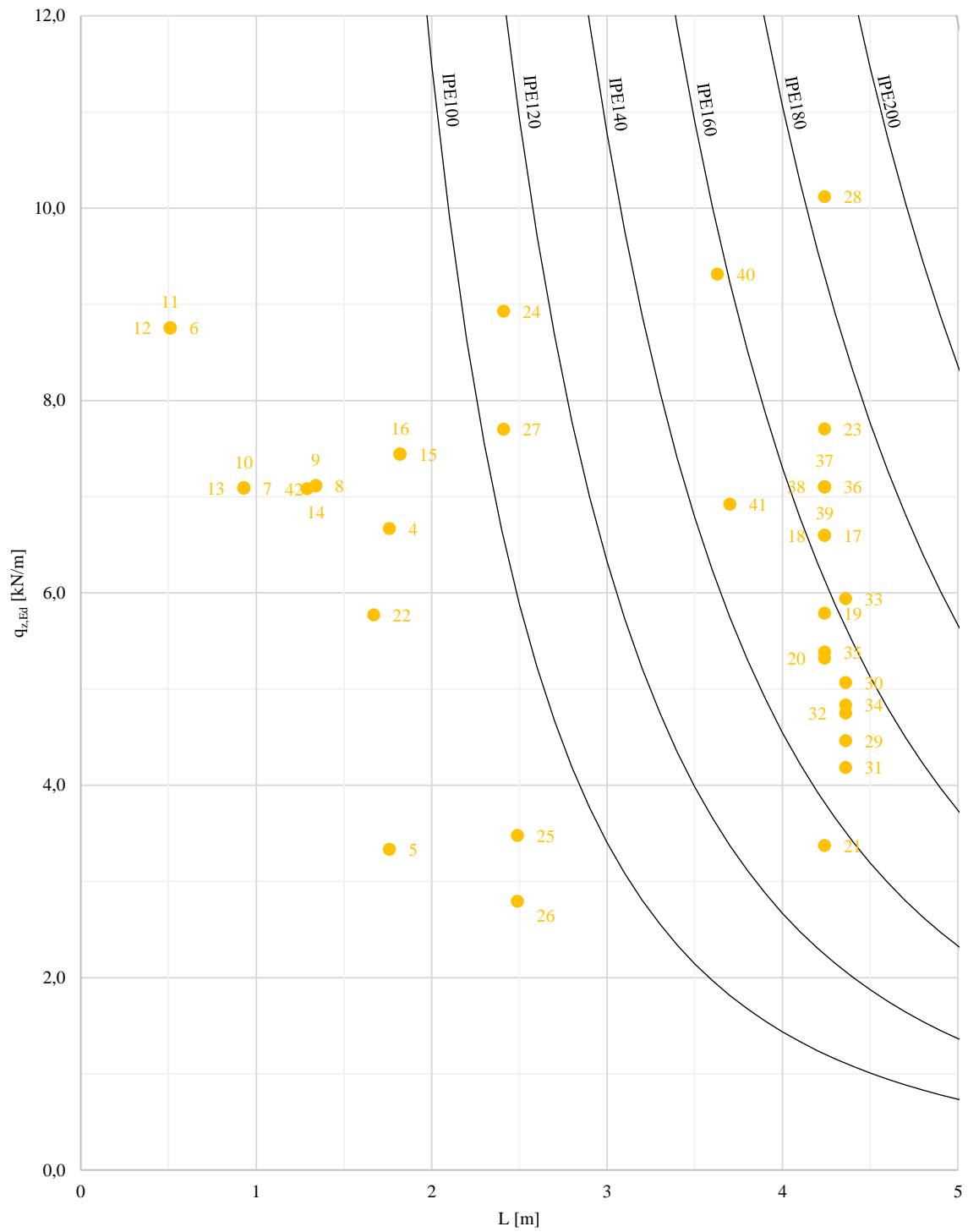


Figura 57 - Flechas máximas em vigas simplesmente apoiadas com carga uniformemente distribuída constante no vão - Perfis IPE's

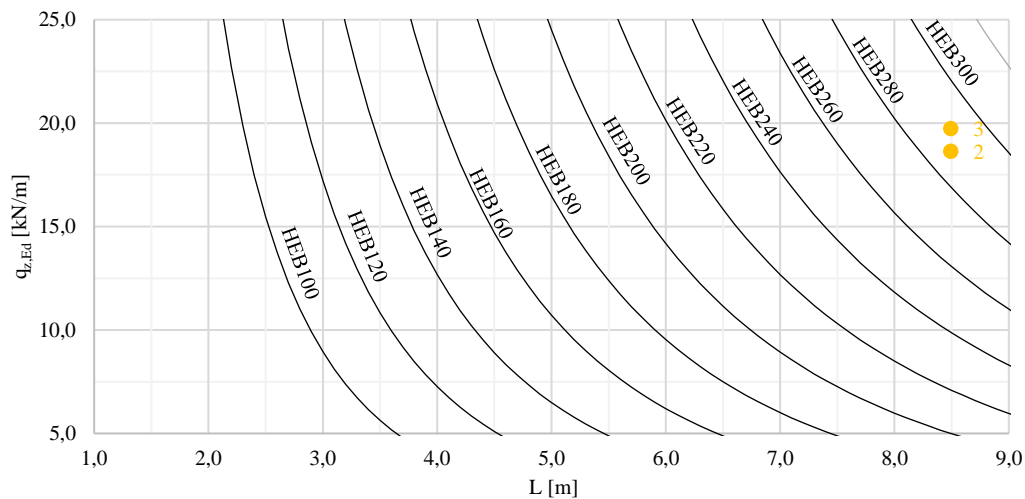


Figura 58 - Flechas máximas em vigas simplesmente apoiadas com carga uniformemente distribuída constante no vão - Perfis HEB's

Tabela 60 - Quadro resumo de verificação ao ELS

Viga	Perfil	$q_{z,Rd}$ [kN/m]	Rácio	Viga	Perfil	$q_{z,Rd}$ [kN/m]	Rácio
2	HEB300	16,86	0,40	23	IPE180	9,29	0,83
3	HEB 300	16,86	0,20	24	IPE120	12,20	0,73
4	IPE100	693,07	0,01	25	IPE100	5,96	0,58
5	IPE100	114,30	0,06	26	IPE100	5,96	0,47
6	IPE100	38,21	0,19	27	IPE120	12,20	0,63
7	IPE100	38,21	0,19	28	IPE200	13,70	0,74
8	IPE100	114,30	0,06	29	IPE160	5,64	0,79
9	IPE100	693,07	0,01	30	IPE160	5,64	0,90
10	IPE100	693,07	0,01	31	IPE160	5,64	0,74
11	IPE100	114,30	0,06	32	IPE160	5,64	0,84
12	IPE100	38,21	0,19	33	IPE180	8,54	0,70
13	IPE100	15,25	0,49	34	IPE160	5,64	0,86
14	IPE100	15,25	0,49	35	IPE160	6,13	0,88
15	IPE180	9,29	0,71	36	IPE180	9,29	0,76
16	IPE180	9,29	0,71	37	IPE180	9,29	0,76
17	IPE160	6,13	0,94	38	IPE180	9,29	0,76
18	IPE160	6,13	0,87	39	IPE180	9,29	0,76
19	IPE140	3,82	0,88	40	IPE160	9,77	0,95
20	IPE100	19,74	0,29	41	IPE160	9,23	0,75
21	IPE100	16,86	0,40	42	IPE100	42,83	0,17
22	IPE100	16,86	0,20				

Nesta fase deu-se especial atenção à viga principal nº1 que funciona como contínua tendo-se recorrido ao *software* “SAP2000” para o seu estudo.

Escolheu-se um perfil HEB220 de modo a satisfazer a condição $\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$.

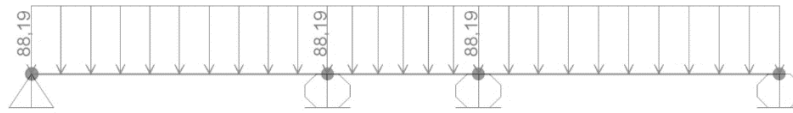


Figura 59 - Carregamento ELU - Viga Principal nº1

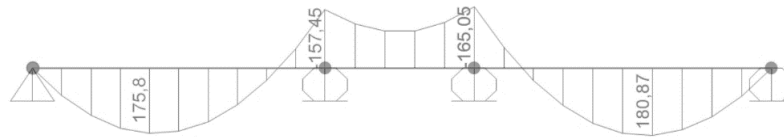


Figura 60 - DMF para ELU - Viga Principal nº1

Calculou-se também a flecha a partir do carregamento indicado na figura seguinte.

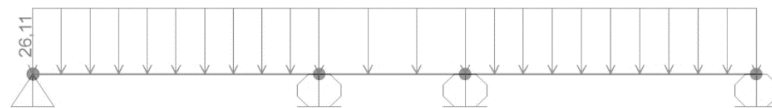


Figura 61 - Carregamento ELS - Viga Principal nº1

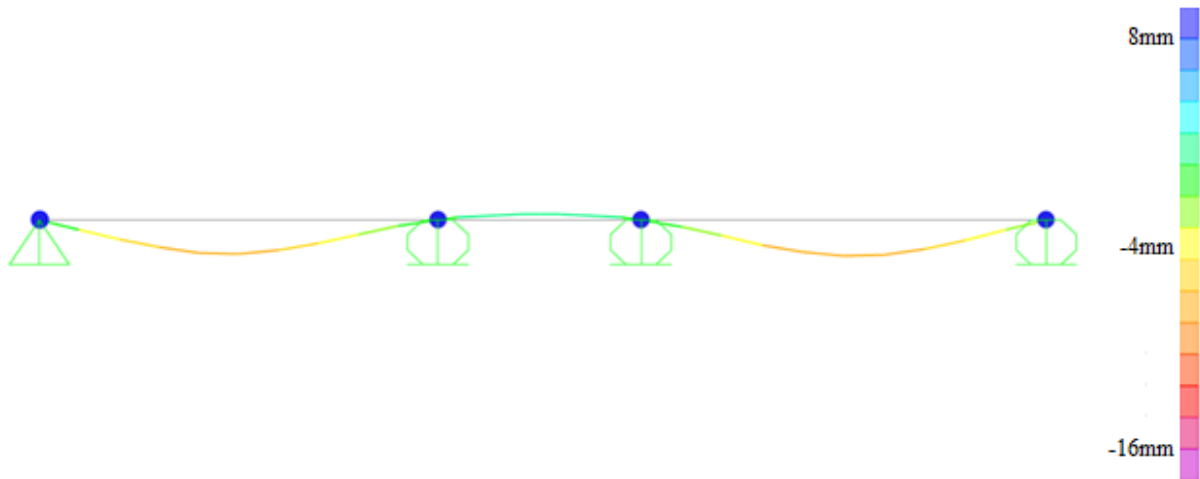


Figura 62 - Deformada para ELS - Viga Principal nº1

A flecha máxima é igual a 6,61mm e é inferior a $L/300$.

Na Tabela 21 resumem-se os resultados das verificações.

Tabela 61 - Pré-dimensionamento da viga principal nº1

Viga Principal Nº1	1.1	1.2	1.3
Troço	1	2	3
L [m]	4,75m	2,42m	4,83m
M_{Ed} [kN.m]	175,80	165,05	180,87
Perfil	HEB220	HEB220	HEB220
M_{Rd} [kN.m]	227,44	227,44	227,44
Rácio - Flexão	0,77	0,73	0,80
$\delta_{v,Ed}$ [mm]	6,22	1,35	6,61
$\delta_{v,adm}$ [mm] L/300	15,83	8,06	16,10
Rácio - Flechas	0,39	0,17	0,41

Notas:

- 1- O perfil HEB220 é da classe 1;
- 2- De referir que o esforço transversal e os esforços combinados não são condicionantes para o dimensionamento desta viga.

Madres da cobertura da torre metálica

Os elementos seguintes permitem verificar como é que foi feito o pré-dimensionamento destas barras.

Características gerais

Tabela 62 - Vãos e áreas de influências

Madre	L_z [m]	L_y [m]	Área de Influência [m ²]
1	4,59	4,59	2,93
2	3,57	3,57	4,81
3	2,54	2,54	3,43
4	1,52	1,52	2,05
5	0,50	0,50	0,67

Ações e esforços condicionantes

Tabela 63 - Combinações de ações - ELU e ELS

Madres	ELU - $q_{z,Ed}$ [kN/m]		ELS	ELU	ELS
	Gravítico	Anti-Gravítico	$q_{z,Ed}$ [kN/m]	$q_{y,Ed}$ [kN/m]	$q_{y,Ed}$ [kN/m]
1	0,79	-1,54	0,44	0,32	0,18
2	1,67	-3,14	0,92	0,67	0,37
3	1,67	-2,98	0,92	0,67	0,37
4	1,67	-2,82	0,93	0,67	0,37
5	1,67	-2,67	0,93	0,67	0,37

▪ Eixo zz

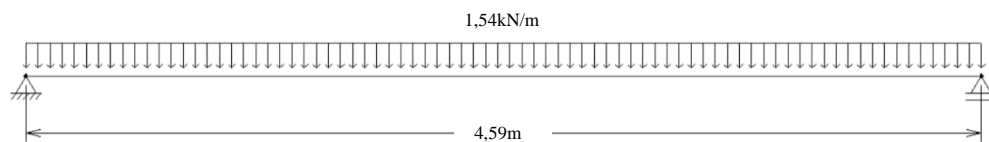


Figura 63 - Madre nº1 - Carregamento zz

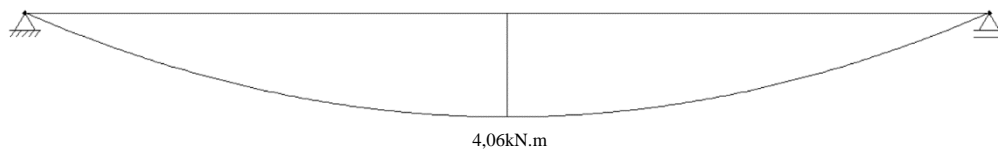


Figura 64 - Madre nº1 - Diagrama de momentos fletores yy

▪ Eixo yy

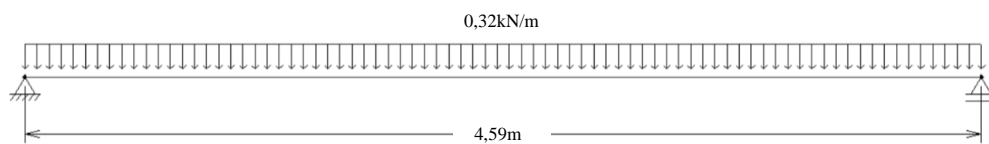


Figura 65 - Madre nº1 - Carregamento yy

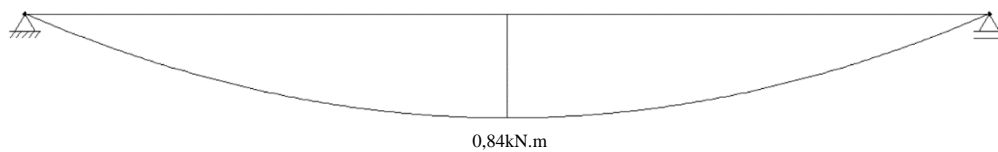


Figura 66 - Madre nº1 - Diagrama de momentos fletores zz

Tabela 64 - Momentos fletores de cálculo em todas as madres

Madre	$M_{y,Ed}$ [kN.m]	$M_{z,Ed}$ [kN.m]
1	4,06	0,84
2	4,99	1,07
3	2,41	0,55
4	0,81	0,19

Madre	$M_{y,Ed}$ [kN.m]	$M_{z,Ed}$ [kN.m]
5	0,08	0,02

Ábacos e tabelas

- **ELU – Flexão Simples Desviada**

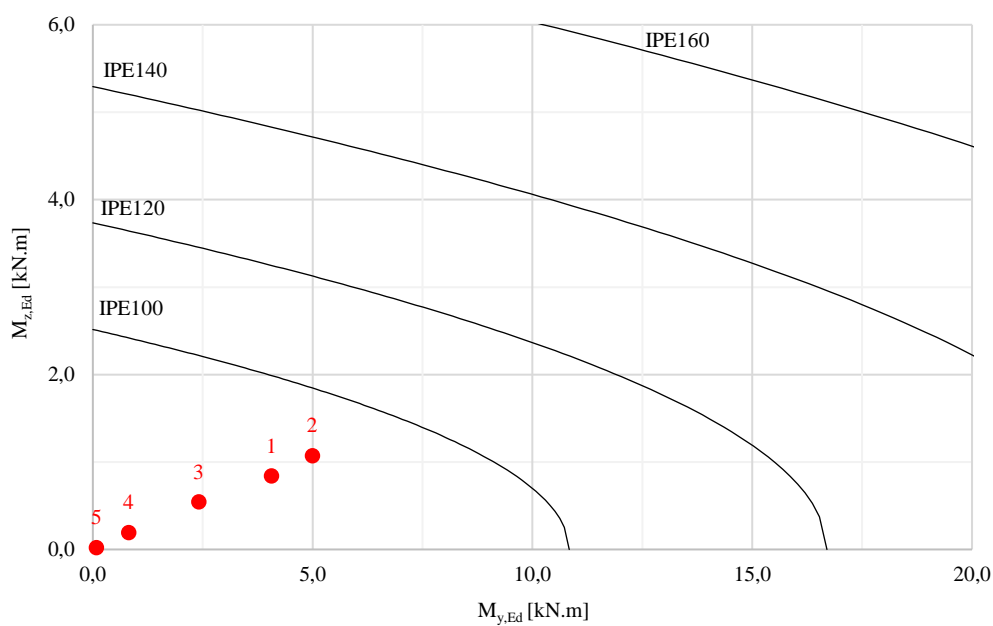


Figura 67 - Resistência das secções transversais à flexão desviada - IPE's - Aço S275

Tabela 65 - Quadro resumo de verificação à flexão desviada

Madre	Perfil	$M_{y,Rd}$ [kN.m]	$M_{z,Rd}$ [kN.m]	Rácio - Flexão Desviada	Segurança
1	IPE100	10,84	2,52	0,475	OK
2	IPE100	10,84	2,52	0,639	OK
3	IPE100	10,84	2,52	0,266	OK
4	IPE100	10,84	2,52	0,083	OK
5	IPE100	10,84	2,52	0,008	OK

- **ELS - Flechas máximas**

- Eixo zz

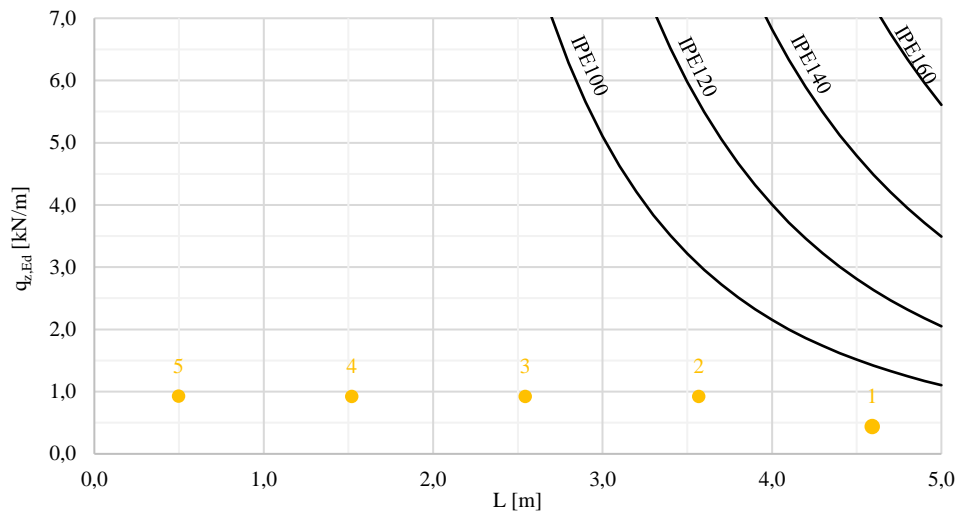


Figura 68 - Flechas máximas zz em vigas simplesmente apoiadas com carga uniformemente distribuída em todo o vão - Perfis IPE's

- Eixo yy

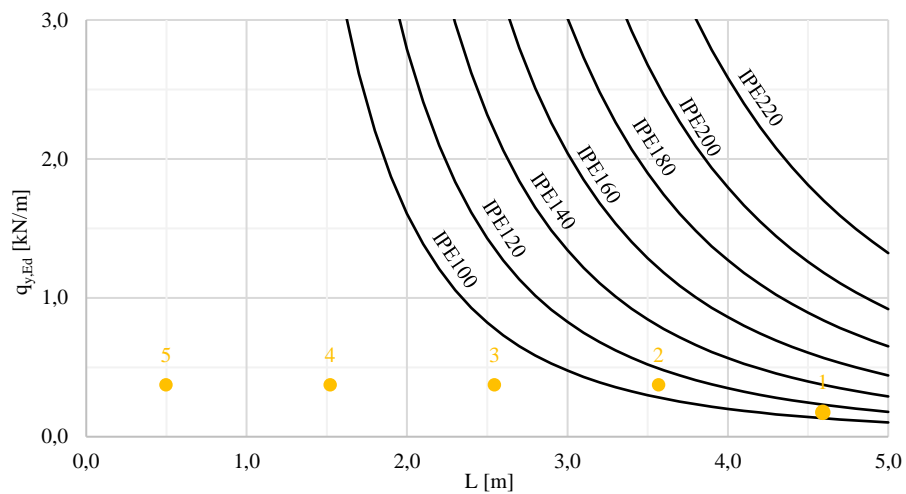


Figura 69 - Flechas máximas yy em vigas simplesmente apoiadas com carga uniformemente distribuída em todo o vão - Perfis IPE's

Tabela 66 - Quadro resumo das flechas

Madre	Perfil	$\delta_{z,Ed}$ [mm]	$\delta_{y,Ed}$ [mm]	$\delta_{v,Ed}$ [mm]	$\delta_{v,adm}$ [mm]	Segurança
1	IPE120	3,8	17,6	18,03	23,0	OK
2	IPE120	2,9	13,6	13,88	17,8	OK
3	IPE100	1,4	6,1	6,26	12,7	OK
4	IPE100	0,2	0,8	0,80	7,6	OK
5	IPE100	0,0	0,0	0,01	2,5	OK

Madres dos alçados laterais da torre metálica

Características gerais

Tabela 67 - Vãos e áreas de influências das madres

Madre	L_z [m]	L_y [m]	Área de Influência [m ²]
1	4,59	2,30	5,16
2	4,59	2,30	8,61
3	4,59	2,30	8,03
4	4,59	2,30	6,89
5	4,59	2,30	6,89
6	4,59	2,30	6,89
7	4,59	2,30	5,05

Ações e esforços condicionantes de cálculo

Tabela 68 - Combinações de ações para ELU e ELS

Madres	ELU - Cargas horizontais		ELU - Cargas Verticais	ELS - Cargas Verticais
	$W^+ q_{z,Ed}$ [kN/m]	$W^- q_{z,Ed}$ [kN/m]	$q_{y,Ed}$ [kN/m]	$q_{y,Ed}$ [kN/m]
1	1,54	-2,59	0,15	0,11
2	2,56	-4,31	0,25	0,19
3	2,39	-4,03	0,24	0,18
4	2,05	-3,45	0,20	0,15
5	2,05	-3,45	0,20	0,15
6	2,05	-3,45	0,20	0,15
7	1,50	-2,53	0,15	0,11

▪ Eixo zz

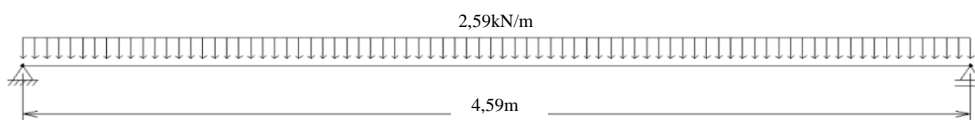


Figura 70 – Madre nº1 - Carregamento zz

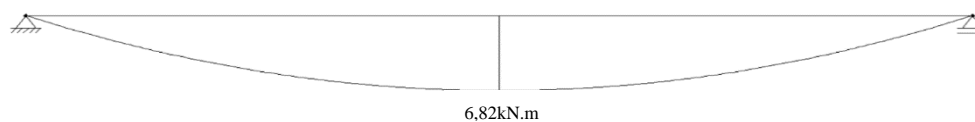


Figura 71 - Madre nº1 - Diagrama de momentos fletores yy

▪ Eixo yy

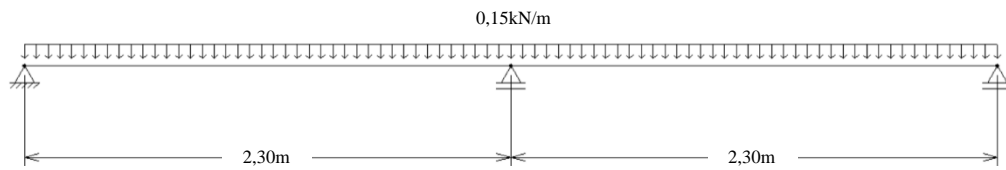


Figura 72 - Madre nº1 - Carregamento yy

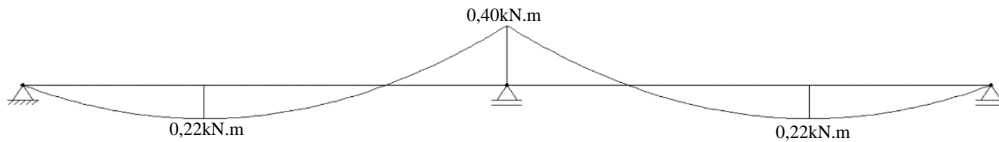


Figura 73 - Madre nº1 - Diagrama de momentos fletores zz

Tabela 69 - Resumo dos momentos fletores de cálculo

Madre	$M_{y,Ed}$ [kN.m]	$M_{z,Ed}$ [kN.m]
1	6,82	0,40
2	11,36	0,67
3	10,60	0,62
4	9,09	0,53
5	9,09	0,53
6	9,09	0,53
7	6,66	0,39

Ábacos e tabelas

• **ELU – Flexão Simples Desviada**

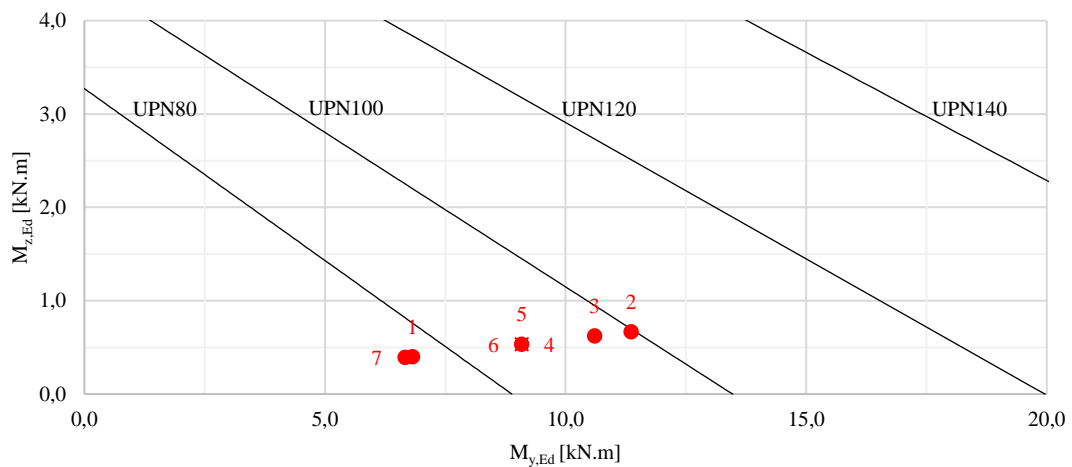


Figura 74 - Resistência das secções transversais à flexão desviada - UPN's - Aço S275

Tabela 70 - Quadro resumo à flexão desviada

Madres	Perfil	$M_{y,Rd}$ [kN.m]	$M_{z,Rd}$ [kN.m]	Rácio - Flexão Desviada	Segurança
1	UPN100	13,48	4,46	0,596	OK
2	UPN100	13,48	4,46	0,993	OK
3	UPN100	13,48	4,46	0,927	OK
4	UPN100	13,48	4,46	0,794	OK
5	UPN100	13,48	4,46	0,794	OK
6	UPN100	13,48	4,46	0,794	OK
7	UPN100	13,48	4,46	0,582	OK

- **ELS – Flechas máximas**

- Eixo yy

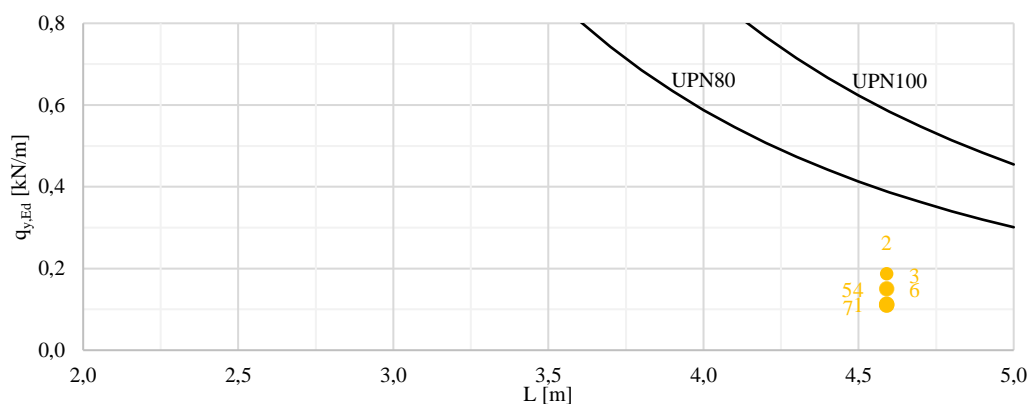


Figura 75 - Flechas máximas yy em vigas simplesmente apoiadas com carga uniformemente distribuída constante no vão - Perfis UPN's

Tabela 71 - Quadro resumo das flechas

Madre	Perfil	$\delta_{z,Ed}$ [mm]	$\delta_{y,Ed}$ [mm]	$\delta_{v,Ed}$ [mm]	$\delta_{v,adm}$ [mm]	Segurança
1	UPN100	0,0	0,7	0,7	23,0	OK
2	UPN100	0,0	1,1	1,1	23,0	OK
3	UPN100	0,0	1,0	1,0	23,0	OK
4	UPN100	0,0	0,9	0,9	23,0	OK
5	UPN100	0,0	0,9	0,9	23,0	OK
6	UPN100	0,0	0,9	0,9	23,0	OK
7	UPN100	0,0	0,6	0,6	23,0	OK

Tarugos dos alçados laterais da torre metálica

Características gerais

Tabela 72 – Comprimento dos tarugos

Tarugos	Vão [m]
1	1,75

Tarugos	Vão [m]
2	2,00
3	1,50
4	1,50
5	1,50
6	2,74
7	2,74

Ações e esforços condicionantes

Tabela 73 - Combinações de ações para ELU

Madres	ELU	Encastramento R_v - [kN]	Tarugos	ELU
	$q_{v,Ed}$ [kN/m]			N_{Ed} [kN]
1	0,29	0,84	1	0,84
2	0,39	1,13	2	1,97
3	0,38	1,08	3	3,05
4	0,34	0,98	4	4,03
5	0,34	0,98	5	5,01
6	0,34	0,98	6 e 7	2,52

Ábacos e tabelas

O esforço de tração máxima nos tarugos é de 5,01kN. Escolheram-se perfis SHS40x40x4 cuja resistência máxima à tração é de 153,7kN.

Travamentos dos Pórticos

Características gerais

Tabela 74 - Comprimentos de encurvadura

Barra	L_{cr} [m]		Condições de ligação ao exterior
	Plano da estrutura	Plano \perp à estrutura	
1	3,78	3,78	
2	3,78	3,78	
3	2,30	4,59	
4	3,78	3,78	
5	3,78	3,78	
6	2,30	4,59	
7	3,78	3,78	
8	3,78	3,78	
9	2,30	4,59	

Ações e esforços condicionantes

A ação do vento na torre foi estudada segundo os esquemas indicados na Figura 76.

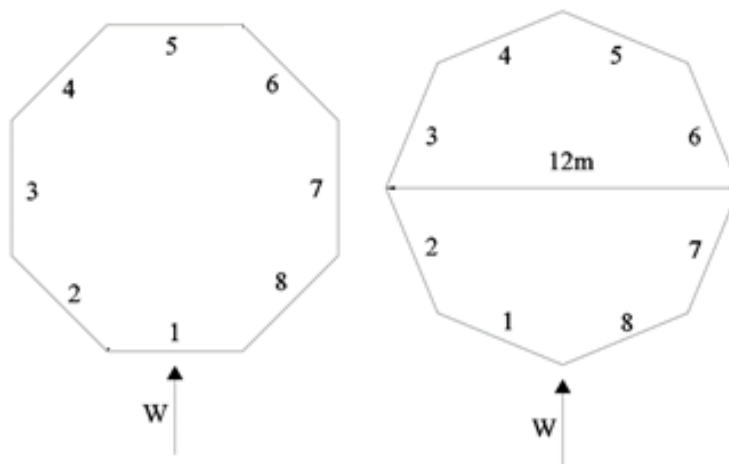


Figura 76 - Direções do W na torre

Tabela 75 - Parâmetros considerados no estudo do W

Face	Dir. Face		Dir. Canto		$c_s c_d$	q_p [kN/m ²]	h [m]	γ_q	Dir. Face		Dir. Canto	
	α°	c_{pe}	α°	c_{pe}					q_i [kN/m]	R_i [kN]	q_i [kN/m]	R_i [kN]
1	337,5	0,73	0	0,28	1	1,247	10,35	1,5	14,13	0,00	5,42	67,21
	22,5		45						-11,62		84,86	
2	22,5	-0,60	45	-1,20					-20,13	4,47	-11,81	27,33
	67,5		90						-9,29	25,84	-9,29	9,30
3	67,5	-1,04	90	-0,61					-9,29	0	-9,29	9,30
	112,5		135						-9,29	25,84	-11,81	27,33
4	112,5	-0,48	135	-0,48					-20,13	4,47	-23,23	49,17
	157,5		180						-11,62	84,86	5,42	67,21
5	157,5	-0,48	180	-0,48	-9,29	25,84	-11,81	27,33				
	202,5		225		-20,13	4,47	-23,23	49,17				
6	202,5	-0,48	225	-0,61	-9,29	25,84	-11,81	27,33				
	247,5		270		-11,62	84,86	5,42	67,21				
7	247,5	-1,04	270	-1,20	-20,13	4,47	-23,23	49,17				
	292,5		315		-9,29	25,84	-11,81	27,33				
8	292,5	-0,60	315	0,28	-11,62	84,86	5,42	67,21				
	337,5		360		14,13	0,00	5,42	67,21				

Os carregamentos q_i foram aplicadas ao modelo do “polígono octogonal” com apoios a restringir o deslocamento na direção de cada uma das faces, tendo-se obtido as reações R_i .

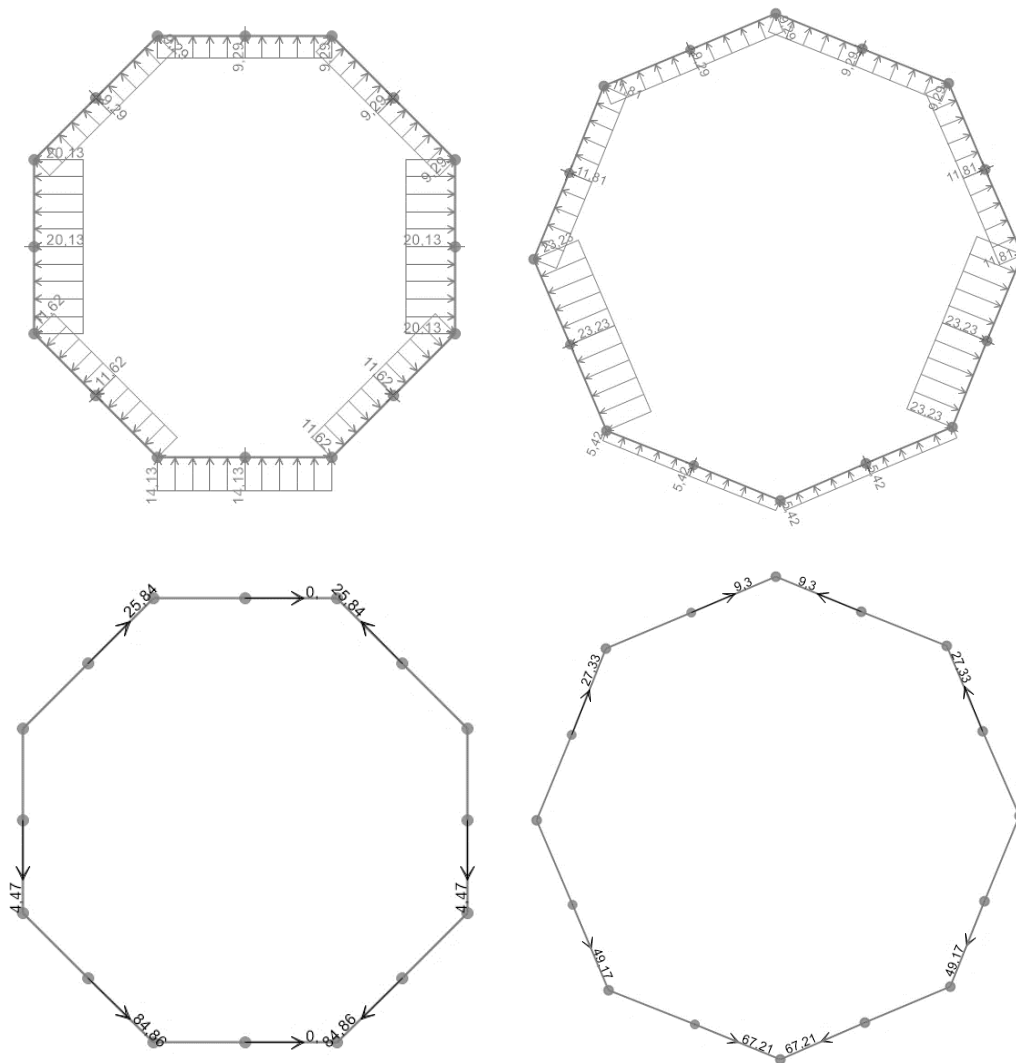


Figura 77 – Componentes da ação do W nos pórticos dos alçados da torre

Ábacos e tabelas

Nos elementos seguintes indicam-se os esforços máximos nas barras dos pórticos.

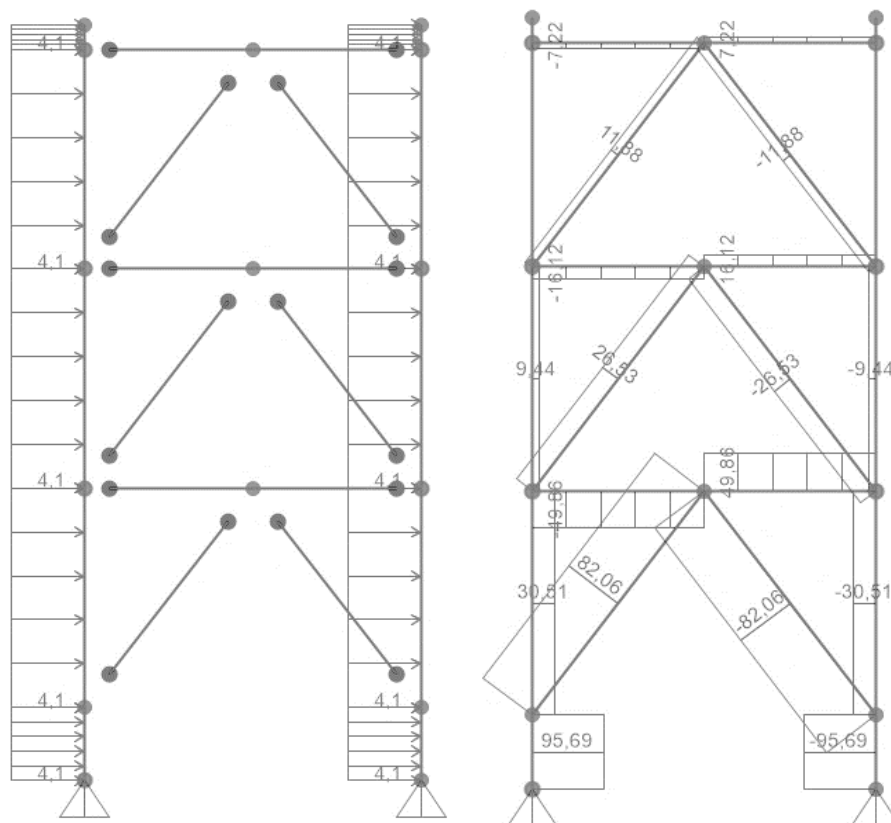


Figura 78 – Ações e diagramas de esforços

Tabela 76 - Quadro resumo da verificação aos ELU

Barra	$N_{c,Ed}$ [kN]	L_{cr} [m]	Perfil	$N_{b,Rd}$ [kN]	Rácio	λ
1			Elemento sujeito a esforços de tração			
2	82,06	3,78	CHS73x5,6	86,28	0,95	158,08
3	19,66	4,59	CHS60,3x4	25,55	0,77	230,01
4			Elemento sujeito a esforços de tração			
5	26,53	3,78	CHS60,3x4	36,88	0,72	189,42
6	16,12	4,59	CHS60,3x4	25,55	0,63	230,01
7			Elemento sujeito a esforços de tração			
8	11,88	3,78	CHS48,3x4	18,49	0,64	240,36
9	7,22	4,59	CHS60,3x4	25,55	0,28	230,01

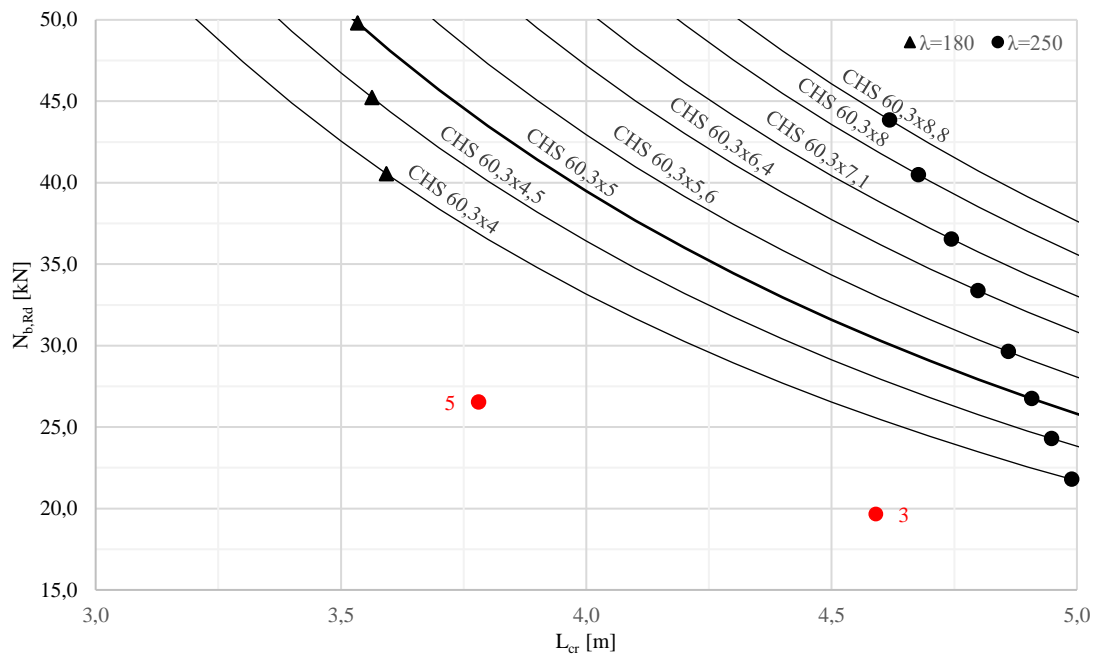


Figura 79 - Resistência de elementos uniformes comprimidos - Aço S275 - CHS's

Nota: Nas barras 6, 7, 8 e 9 a escolha dos perfis foi condicionada pela limitação da esbelteza a 250.

Pilares e travessas da torre metálica

Características gerais

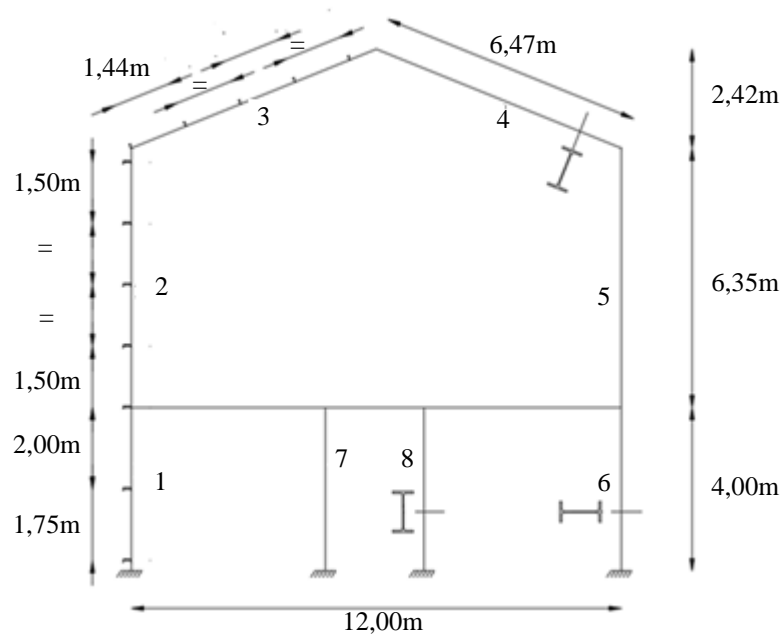


Figura 80 - Geometria do pórtico principal

Tabela 77 - Comprimentos de encurvadura

Número	L_{cr} [m]		Condições de ligação ao exterior	
	Plano da estrutura	Plano \perp à estrutura	Plano da estrutura	Plano \perp à estrutura
1	2,80	2,00		
2	4,45	1,50		
3	4,53	1,44		
4	4,53	1,44		
5	4,45	1,50		
6	2,80	2,00		
7	2,80	2,80		
8	2,80	2,80		

Ações e esforços condicionantes

- Pilares**

Tabela 78 - Combinações de ações ELU

Elemento	Ação	Valor [kN/m ²]	Área de Influência [m ²]	Vão [m]	q [kN/m]
1, 2, 5 e 6	PP	0,11	47,5	10,35	0,51
1, 2, 5 e 6	RCP	0,10	47,5	10,35	0,46
1 e 2	W+	1,247	47,5	10,35	4,18
5 e 6	W+	1,247	47,5	10,35	-2,75
1 e 2	W-	1,247	47,5	10,35	-5,95
5 e 6	W-	1,247	47,5	10,35	-5,95

- Travessas**

Tabela 79 - Combinações de ações ELU

Elemento	Ação	Valor [kN/m ²]	Área de Influência [m ²]	Vão [m]	q [kN/m]
3 e 4	PP	0,09	13,9	6,47	0,37
3 e 4	RCP	0,10	13,9	6,47	0,43
3 e 4	SC	0,80	13,9	6,47	3,44
3	W+	1,267	13,9	6,47	0
4	W+	1,267	13,9	6,47	0
3	W-	1,267	13,9	6,47	-6,53
4	W-	1,267	13,9	6,47	-4,30

- **Viga Principal - Plataforma Metálica**

Tabela 80 - Combinações de ações ELU

Elemento	Ação	Valor [kN/m ²]	Área de Influência [m ²]	Vão [m]	q [kN/m]
Viga nº1	PP	0,5	44,12	12,00	1,84
	RCP	0,6	44,12	12,00	2,21
	SC _{Equ}	10	44,12	12,00	36,77
	SC _{Uti}	5	44,12	12,00	18,38

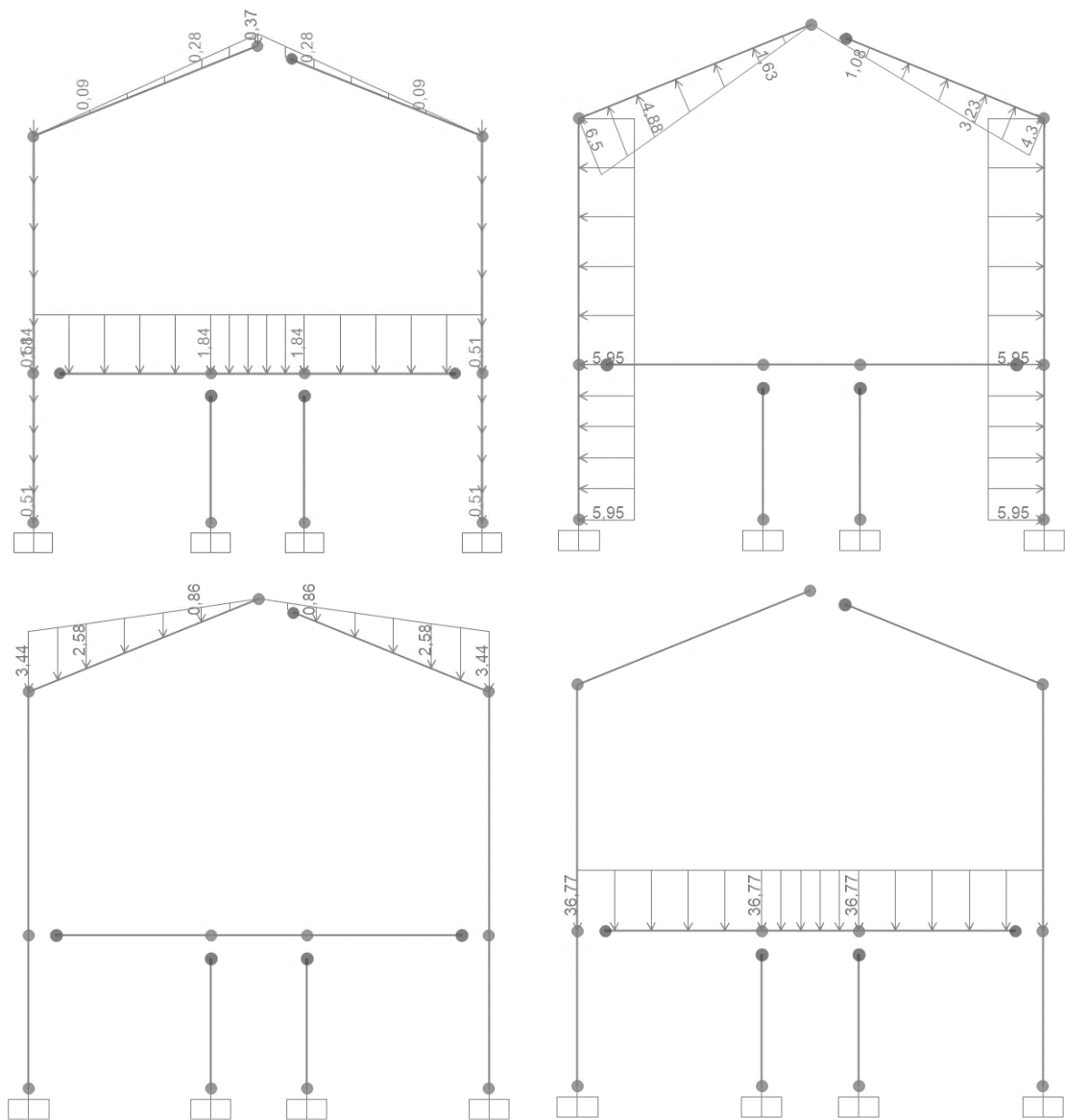


Figura 81 - Ações e diagramas de esforços

Ábacos e tabelas

- **ELU – Elementos uniformes em flexão composta com compressão (N+M_y)**

Tabela 81 - Resumo dos esforços de cálculo

Barra	Combinação condicionante	N _{Ed} [kN]	M _{y,Ed} [kN.m]
1	ELU_W+_SC	-200,68	210,61
2	ELU_W-_SC	-1,95	-83,19
3	ELU_W-_SC	11,49	-42,25
4	ELU_W+_SC	-18,98	-79,23
5	ELU_W+_SC	-29,57	-79,22
6	ELU_W+_SC	-219,42	198,00

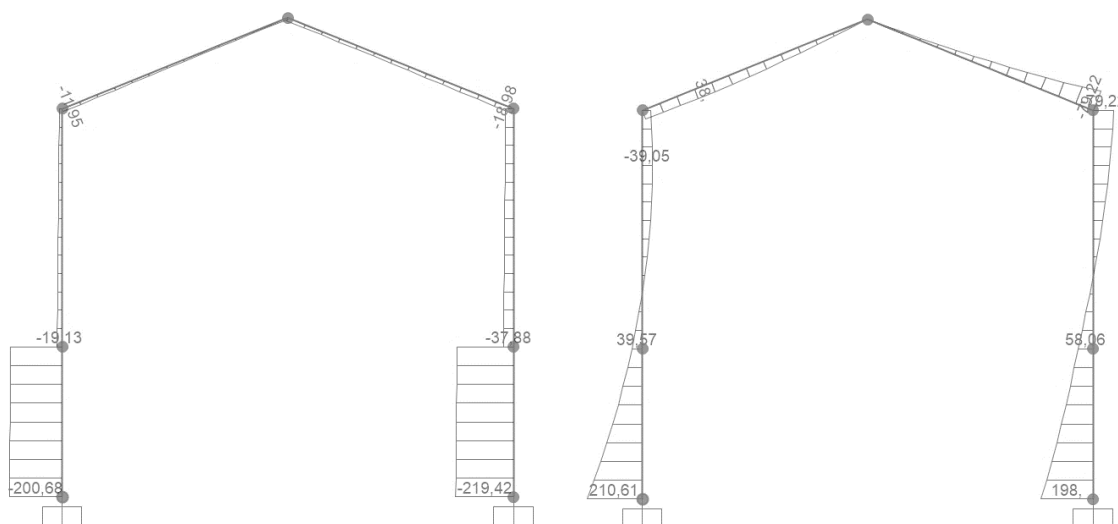


Figura 82 - Diagrama de esforços axiais N_{Ed} e de momentos fletores M_{y,Ed} para a combinação ELU_W+_SC

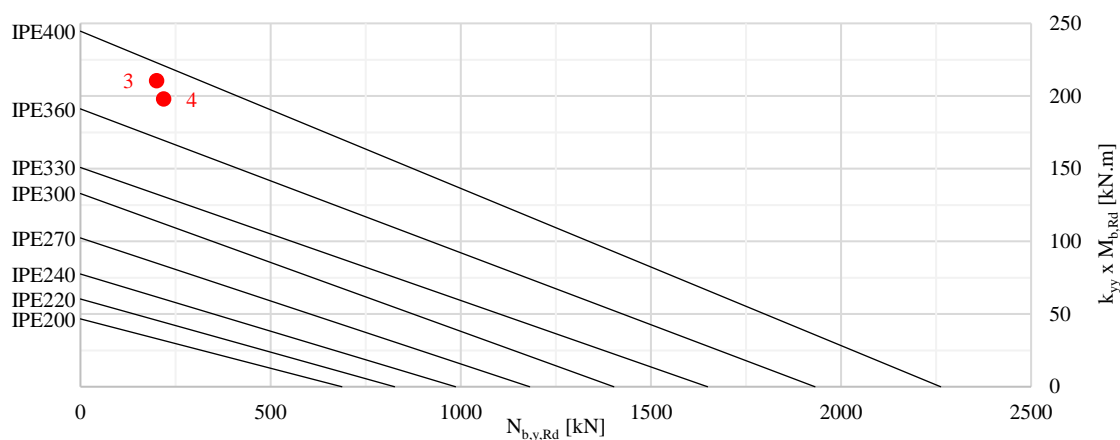


Figura 83 - Resistência à flexão composta com compressão

Eq. 6.61 - $k_{yy}=1,3$ - $L_{cr,y}=2,80\text{m}$ - $\chi_{LT}=1,0$ - Aço S275 - IPE's

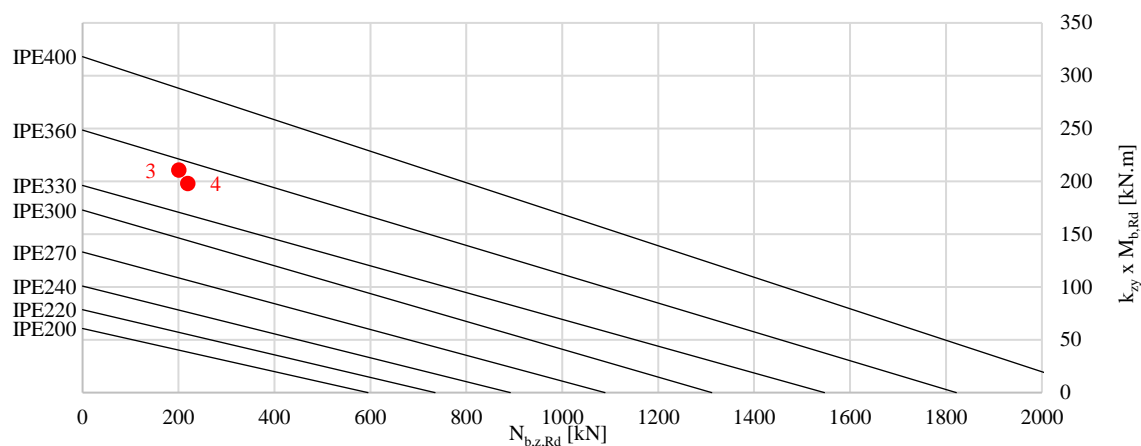


Figura 84 - Resistência à flexão composta com compressão

Eq. 6.62 - $k_{yy}=1,3$ - $L_{cr,y}=2,80m$ - $\chi_{LT}=1,0$ - Aço S275 - IPE's

Tabela 82 - Quadro resumo da verificação aos ELU

Barra	Perfil	$N_{b,y,Rd}$ [kN]	$N_{b,z,Rd}$ [kN]	$M_{b,Rd}$ [kN.m]	k_{yy}	k_{zy}	Eq. 6.61	Eq. 6.62
1	IPE400	2322,7	1963,5	318,0	1,3	1	0,947	0,764
2	IPE300	1405,5	1298,0	172,8	1,8	1	0,868	0,483
3	IPE220	826,0	734,7	78,5	1,8	1	0,969	0,538
4	IPE300	1402,5	1311,6	172,8	1,8	1	0,839	0,473
5	IPE300	1405,5	1298,0	172,8	1,8	1	0,846	0,481
6	IPE400	2322,7	1963,5	3188,0	1,3	1	0,904	0,734

- **ELS - Flechas máximas**

Tabela 83 - Verificação do pórtico ao ELS - Deformações verticais e horizontais

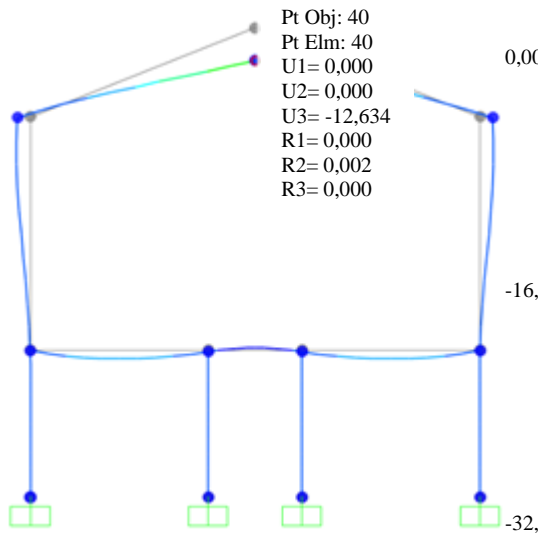


Figura 85 - Deformação vertical máxima ao ELS - U_z [mm]

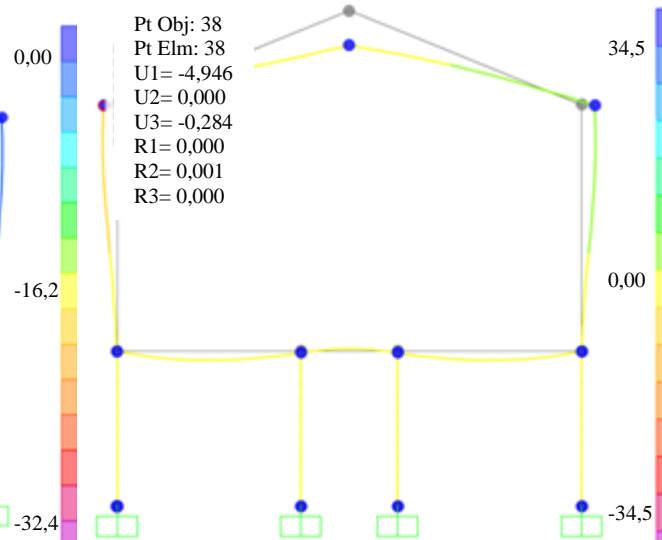


Figura 86 - Deformação horizontal máxima ao ELS - U_x [mm]

Vão [m]	6,47	Vão [m]	10,35
$\delta_{V,Ed}$ [mm]	12,63	$\delta_{H,Ed}$ [mm]	4,95
$\delta_{V,adm}$ [mm] - L/200	32,35	$\delta_{H,adm}$ [mm] - L/300	34,5
Rácio	0,39	Rácio	0,14

XVIII. ANEXO XVIII - DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS METÁLICOS

Madres da cobertura do stock

Estados Limites Últimos

Nos elementos seguintes mostram-se como exemplo o cálculo pormenorizado da madre 2 do sector 16 da cobertura do stock recorrendo a três procedimentos:

- Rotina de cálculo em “Excel”;
- “SAP2000”;
- “SemiComp”.

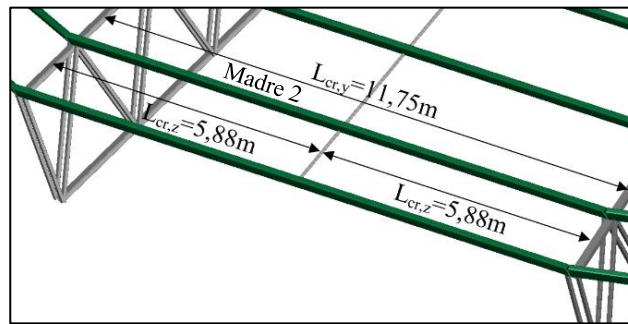


Figura 87 - Madres 2 e 9 do sector 16 da cobertura do stock

• Esforços de cálculo

Nas figuras representam-se os diagramas de esforços para a combinação condicionante ELU(W)_SC obtidos no “SAP2000” nos dois planos principais de inércia.

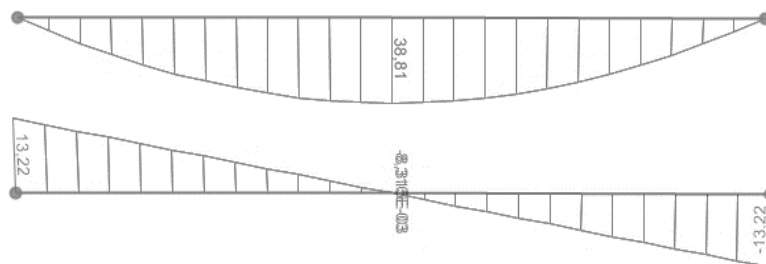


Figura 88 - Diagramas de esforços $M_{y,Ed}$ e $V_{z,Ed}$.

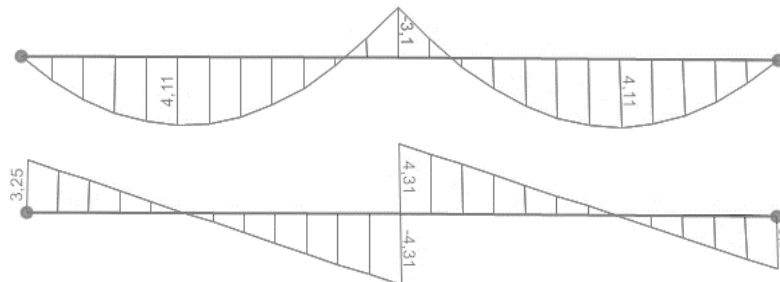


Figura 89 - Diagramas de esforços $M_{z,Ed}$ e $V_{y,Ed}$.

a) 1º Processo de Dimensionamento - Rotina de cálculo em “Excel”

Relatório de Dimensionamento de Elementos Metálicos							
1- Características do Elemento							
Função Estrutural do Elemento: Madres Cobertura do Stock							
Tipo de Elemento: Viga							
Comprimento do Elemento= 11,75 m							
Número do Elemento no modelo SAP: 24							
Combinação Condicionante: ELU(W)_SC							
Coeficientes Parciais de Segurança γ_{Mi} : $\gamma_{M0}=1,00$ $\gamma_{M1}=1,00$ $\gamma_{M2}=1,25$							
2- Esforços de Cálculo Atuantes							
Secção Apoio Esquerdo		Secção do Meio Vão		Secção Apoio Direito			
N_{Ed} =	0 kN	N_{Ed} =	0 kN	N_{Ed} =	0 kN		
$V_{y,Ed}$ =	3,25 kN	$V_{y,Ed}$ =	4,31 kN	$V_{y,Ed}$ =	-3,25 kN		
$V_{z,Ed}$ =	13,22 kN	$V_{z,Ed}$ =	0 kN	$V_{z,Ed}$ =	-13,22 kN		
$M_{y,Ed}$ =	0 kN.m	$M_{y,Ed}$ =	38,81 kN.m	$M_{y,Ed}$ =	0 kN.m		
$M_{z,Ed}$ =	4,11 kN.m	$M_{z,Ed}$ =	-3,1 kN.m	$M_{z,Ed}$ =	4,11 kN.m		
3- Propriedades do Material							
Classe do Aço: S275 H		f_y =	275 N/mm ²	G =	81000 N/mm ²		
		f_u =	430 N/mm ²	E =	210000 N/mm ²		
4- Propriedades Geométricas da Secção Transversal							
Perfil: RHS 180x100x8		h =	180 mm	b =	100 mm		
t =	8 mm	r_{ext} =	12 mm	r_{int} =	4 mm		
A =	41,60 cm ²	A_{vz} =	26,74 cm ²	A_{vy} =	14,86 cm ²		
I_{yy} =	1713,00 cm ⁴	i_y =	6,42 cm	I_{zz} =	671,00 cm ⁴		
i_z =	4,02 cm	$W_{pl,y}$ =	239,00 cm ³	$W_{pl,z}$ =	157,00 cm ³		
$W_{el,y}$ =	190,33 cm ³	$W_{el,z}$ =	134,20 cm ³	I_t =	1560,00 cm ⁴		
I_w =	0,00 x10 ⁻³ cm ⁶	y_0 =	0,00 mm	z_0 =	0,00 mm		
5- Classificação da Secção Transversal							
ε :	0,92	Componente à Flexão			Componente à Compressão		
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3
c/t_w :	19,50 ≤	66,56	76,73	114,63	30,51	35,13	38,83
c/t_f :	9,50 ≤	-	-	-	30,51	35,13	38,83
		Alma à Flexão e à Compressão			Classificação - Resumo		
	$\Psi_{web,left}$ $\Psi_{web,right}$	Classe 1	Classe 2	Classe 3	F	C	F+C
se	- -	-	-	38,83	1	1	1
smv	- -	-	-	95,36	1	1	1
sd	- -	-	-	38,83	1	1	1
SemiComp:	-	Classe Semi-Comp:			-	Classe Adotada:	
							1
6- Esforços Resistentes de Cálculo							
$N_{pl,Rd}$ =	1144,0 kN	$N_{u,Rd}$ =	- kN	$N_{net,Rd}$ =	- kN		
$N_{t,Rd}$ =	1144,0 kN	$N_{c,Rd}$ =	1144,0 kN	$V_{c,y,Rd}$ =	235,9 kN		
$V_{c,z,Rd}$ =	424,6 kN	$M_{c,y,Rd}$ =	65,7 kN.m	$M_{c,z,Rd}$ =	43,2 kN.m		
$M_{y,V,Rd}$ =	65,7 kN.m	$M_{z,V,Rd}$ =	43,2 kN.m	$M_{N,y,Rd}$ =	65,7 kN.m		
$M_{N,z,Rd}$ =	43,2 kN.m	$M_{NV,y,Rd}$ =	65,7 kN.m	$M_{NV,z,Rd}$ =	43,2 kN.m		
$N_{b,y,Rd}$ =	231,1 kN	$N_{b,z,Rd}$ =	347,5 kN	$N_{b,T,Rd}$ =	1144,0 kN		
$M_{b,Rd}$ =	65,7 kN.m						

Figura 90 - Folha 1 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em “Excel” - Madre 2.16

7- Resistência da Secção Transversal		Secção do Meio Vão	
NP EN 1993-1-1, 6.2.3 - Tração			
$N_{Ed}/N_{t,Rd} =$	$\leq 1,0$	-	(1)
NP EN 1993-1-1, 6.2.4 - Compressão			
$N_{Ed}/N_{c,Rd} =$	$\leq 1,0$	-	(2)
NP EN 1993-1-1, 6.2.5 - Momento Fletor			
$M_{y,Ed}/M_{c,y,Rd} =$	0,59 $\leq 1,0$	OK	(3)
$M_{z,Ed}/M_{c,z,Rd} =$	0,07 $\leq 1,0$	OK	(4)
NP EN 1993-1-1, 6.2.6 - Esforço Transverso			
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} =$	0,02 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (5)
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (6)
$\tau_{y,Ed}/(f_y/(3^{0,5}\gamma_{M0})) =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y (7)
$\tau_{z,Ed}/(f_y/(3^{0,5}\gamma_{M0})) =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z (8)
Encurvadura por Esforço Transverso ($h_w/t_w \leq 72\varepsilon/\eta$): Desprezar Em que $\eta = 1,0$			
NP EN 1993-1-1, 6.2.8 - Flexão com Esforço Transverso			
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} =$	0,00 $\leq 0,5$	Esforço Transverso sem significado	
$M_{y,Ed}/M_{y,V,Rd} =$	0,59 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (9)
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} =$	0,02 $\leq 0,5$	Esforço Transverso sem significado	
$M_{z,Ed}/M_{z,V,Rd} =$	0,07 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (10)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y (11)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z (12)
NP EN 1993-1-1, 6.2.9 - Flexão Composta			
$N_{Ed}/N_{pl,Rd} =$	$\leq 0,25$	-	
$N_{Ed}/h_w t_w f_y =$	0,00 $\leq 0,50$	-	
$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} =$	0,59 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (13)
$N_{Ed}/h_w t_w f_y =$	0,00 $\leq 1,0$	Esforço Axial sem significado	
$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} =$	0,07 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (14)
$\sigma_{Ed}/f_y =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y (15)
$\sigma_{Ed}/f_y =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z (16)
NP EN 1993-1-1, 6.2.10 - Flexão Composta Desviada com Esforço Transverso			
$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^\alpha + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^\beta =$	0,43 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (17)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 (18)

Figura 91 - Folha 2 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em "Excel" - Madre 2.16

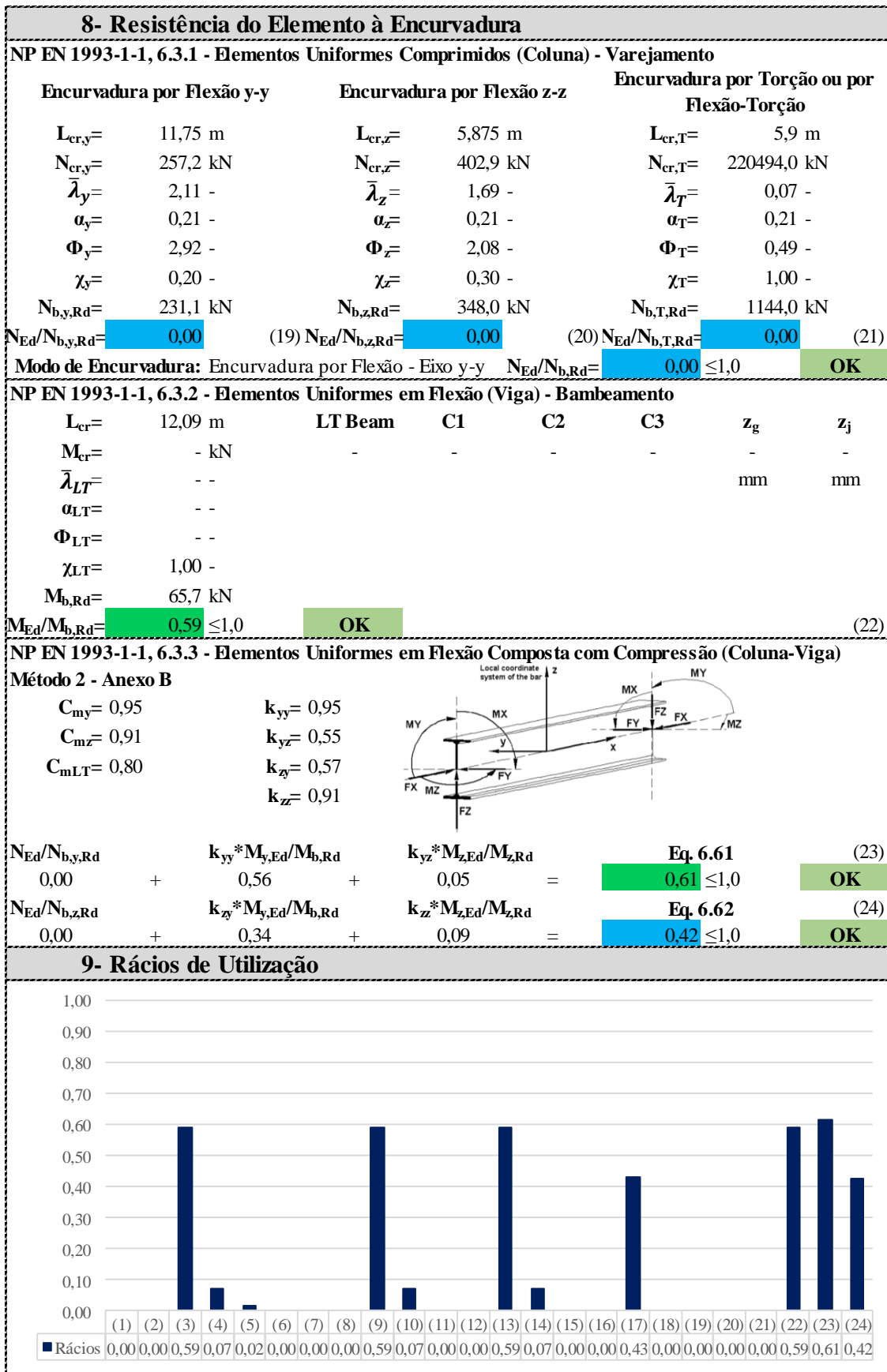


Figura 92 - Folha 3 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em "Excel" - Madre 2.16

b) 2º Processo de Dimensionamento - Software "SAP2000"

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : 24 X Mid: -24,561 Combo: ELU(W)_SC_T+ Design Type: Beam
Length: 11,751 Y Mid: 16,411 Shape: RHS 180X100X8 Frame Type: DCL-MRF
Loc : 5,876 Z Mid: 10,682 Class: Class 1 Rolled : No

Country=CEN Default Combination=Eq. 6.10 Reliability=Class 2
Interaction=Method 2 (Annex B) MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No
Consider Torsion? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes
Ignore Seismic Code? No

GammaM0=1,00 GammaM1=1,00 GammaM2=1,25
q=1,50 Omega=1,00 GammaOV=1,10
An/Ag=1,00 RLLF=1,000 PLLF=0,750 D/C Lim=0,950

Aeff=0,004 eNy=0,000 eNz=0,000
A=0,004 Iyy=1,772E-05 iyy=0,065 Wel,yy=1,969E-04 Weff,yy=1,969E-04
It=1,518E-05 Izz=6,900E-06 izz=0,040 Wel,zz=1,380E-04 Weff,zz=1,380E-04
Iw=0,000 Iyz=0,000 h=0,180 Wpl,yy=2,452E-04 Av,y=0,002
E=210000000,0 fy=275000,000 fu=430000,000 Wpl,zz=1,607E-04 Av,z=0,003

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
5,876	0,000	38,811	-3,118	-0,008	-4,311	-0,114

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.3.3(4)-6.61)

D/C Ratio: $0,620 = \frac{0,000 + 0,594 + 0,026}{0,950} < 0,950$ OK
= NEd/(Chi_y NRk/GammaM1) + kyy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi_LT My,Rk/GammaM1) + kyz (Mz,Ed+NEd eNz)/(Mz,Rk/GammaM1) (EC3 6.3.3(4)-6.61)

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
Axial	0,000	1161,600	1161,600	1161,600	1307,750	210269,199	266,012	1,000
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd	
Major (y-y)	c	0,490	266,012	2,090	3,146	0,182	211,258	
MajorB (y-y)	c	0,490	266,012	2,090	3,146	0,182	211,258	
Minor (z-z)	c	0,490	414,233	1,675	2,263	0,264	306,806	
MinorB (z-z)	c	0,490	414,233	1,675	2,263	0,264	306,806	
Torsional TF	c	0,490	266,012	2,090	3,146	0,182	211,258	

MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med, span Capacity	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd	
Major (y-y)	38,811	38,811	67,426	67,426	67,426	62,115	
Minor (z-z)	-3,118	-3,118	44,194	44,194	44,194		
	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	C1	Mcr
LTB	d	0,760	0,303	0,585	0,921	1,031	734,509
	kyy	kyz	kzy	kzz			
Factors	0,950	0,375	0,570	0,624			

SHEAR DESIGN

	Ved Force	Ted Torsion	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check
Major (z)	0,008	0,114	499,939	1,668E-05	OK
Minor (y)	4,311	0,114	254,034	0,017	OK
	Vpl,Rd	Eta	LambdabarW		
Reduction	499,939	1,200	0,257		

CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS

	VMajor Left	Right
Major (V2)	13,219	13,219

Figura 93 - Dimensionamento no "SAP2000" - Madre 2.16

c) 3º Processo de Dimensionamento - Software "SemiComp"

SEMICOMP Member Design

Cross-section type Rectangular hollow section ▾

Finishing Hot finished (EN 10210-2) ▾

Select from library (optional) RHS 180 x 100 x 8 ▾

Partial factors γ_M

$\gamma_{M0} = 1,00$

$\gamma_{M1} = 1,00$

Cross-section data

H = 180,0 [mm]

B = 100,0 [mm]

T = 8,0 [mm]

Material

Steel grade S275 ▾

$f_y = 275,0$ N/mm²

$E = 210000,0$ N/mm²

A [cm ²]	I_{yy} [cm ⁴]	I_{zz} [cm ⁴]	$W_{el,y}$ [cm ³]	$W_{el,z}$ [cm ³]	$W_{pl,y}$ [cm ³]	$W_{pl,z}$ [cm ³]
41,55	1713,39	671,13	190,38	134,23	238,80	157,06

Boundary conditions

$L_{Beam} = 11,750$ m

$n_{fork} = 0$ [-]

Torsion restrained

strong Axis buckling restrained

weak Axis Buckling restrained

I_t [cm⁴]

I_w [cm⁶]

0,00 0,00

Loading in z-x-plane

$N_{Ed} = 0,00$ kN

$q_{z,Ed}^{(*)} = 2,25$ kN/m

$M_{y,left,Ed} = 0,00$ kNm

$M_{y,right,Ed} = 0,00$ kNm

$P_{z,Ed}^{(*)} = 0,00$ kN

Distance of Loading to shear center

$z_{Si} = -90,00$ mm

Loading in y-x-plane

$q_{y,Ed}^{(*)} = 1,29$ kN/m

$M_{z,left,Ed} = 0,00$ kNm

$M_{z,right,Ed} = 0,00$ kNm

$P_{y,Ed}^{(*)} = -8,62$ kN

Calculate Forces!

$M_{cr} = 0,00$ kNm Enter M_{cr} manually

$M_{cr,0} = 0,00$ kNm Use LTBeam

Note: LTBeam is a tool developed by CTICM to calculate the lateral torsional buckling moment of beams. You can download it for free at www.cticm.com.

Specify path of LTBeam.exe file:
C:\Program Files (x86)\LTBeam_v1010\LTBeam.exe

Definition of axes

$M_{y,Ed}$ [kNm]

$M_{y,Ed,max} = 38,81$ kNm

$V_{z,Ed}$ [kN]

$V_{z,Ed,max} = 13,21$ kN

$M_{z,Ed}$ [kNm]

$M_{z,Ed,max} = 4,11$ kNm

$V_{y,Ed}$ [kN]

$V_{y,Ed,max} = 4,31$ kN

Figura 94 - Folha 1 de 3 - Dimensionamento no "SemiComp" - Madre 2.16

SEMICOMP Cross-Section Check

Choose method EN 1993-1-1 (elastic Resistance) ▾

$N_{Ed} =$ 0,000 kN	$V_{z,Ed} =$ 0,000 kN	Perform cross-section checks
$M_{y,Ed} =$ 38,810 kNm	$V_{y,Ed} =$ 4,310 kN	
$M_{z,Ed} =$ -3,100 kNm		

Reference values for classification

$c/t_w =$ 19,500	$\alpha_{web} =$ 0,584	$\psi_{web} =$ -0,769	$\varepsilon =$ 0,924
$c/t_f =$ 9,500	$\alpha_{flange} =$ 1,000	$\psi_{flange} =$ 0,841	$\varepsilon_{mod,cl3/4} =$ NaN

Boundaries

	Class 1	Class 2	Class 3
$c/t_w \leq c/t_{w, max} =$	55,520	63,932	93,263
$c/t_f \leq c/t_{f, max} =$	30,506	35,128	40,969

Cross section class = 1

Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations.

$M_{pl,y,Rd} =$ 65,67 kNm	$M_{pl,z,Rd} =$ 43,19 kNm	$V_{pl,z,Rd} =$ 424,12 kN
$M_{el,y,Rd} =$ 52,35 kNm	$M_{el,z,Rd} =$ 36,91 kNm	$V_{pl,y,Rd} =$ 235,62 kN
$N_{Rd} =$ 1142,72 kN		

EN 1993-1-1, 6.2.3 / 6.2.4

Tension or compression

$U_{(6.5)/(6.9)} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.5

Bending moment

$U_{strong A.} =$ 0,591 $\leq 1,0$ ok

$U_{weak A.} =$ 0,072 $\leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.6

Shear

$U_{z-plastic} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

$U_{y-plastic} =$ 0,018 $\leq 1,0$ ok

$U_{z-elastic} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

$U_{y-elastic} =$ 0,020 $\leq 1,0$ ok

$h_w/t_w =$ 20,500 $\leq 72\varepsilon/\eta =$ 55,465 ok

EN 1993-1-1, 6.2.9

Bending and axial force

$U_{(6.41)/(6.42)} =$ 0,430 $\leq 1,0$ ok

$UF =$ 0,602

Comment: Shear Interaction is not considered within this software tool. If the utilization for shear is higher than 0.5, an additional check for shear interaction is necessary.

Figura 95 - Folha 2 de 3 - Dimensionamento no "SemiComp" - Madre 2.16

SEMCOMP Member Check

Choose method for member check Method 2 (EN 1993-1-1 Annex B)	Choose method for cross-section resistance EN 1993-1-1:2010-12	Perform member design check									
Section classification for member design check (based on 1. order cross-section forces)											
Reference values for classification in the worst section along the member											
$c/t_w = 19,500$ $c/t_f = 9,500$	$\alpha_{web} = 0,584$ $\alpha_{flange} = 1,000$	$\psi_{web} = -0,768$ $\psi_{flange} = 0,841$									
		$\varepsilon = 0,924$									
Boundaries											
	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Class 1</th> <th>Class 2</th> <th>Class 3</th> </tr> <tr> <td>$c/t_w \leq c/t_{w, max} = 55,490$</td> <td>$63,898$</td> <td>$93,213$</td> </tr> <tr> <td>$c/t_f \leq c/t_{f, max} = 30,506$</td> <td>$35,128$</td> <td>$40,976$</td> </tr> </table>	Class 1	Class 2	Class 3	$c/t_w \leq c/t_{w, max} = 55,490$	$63,898$	$93,213$	$c/t_f \leq c/t_{f, max} = 30,506$	$35,128$	$40,976$	
Class 1	Class 2	Class 3									
$c/t_w \leq c/t_{w, max} = 55,490$	$63,898$	$93,213$									
$c/t_f \leq c/t_{f, max} = 30,506$	$35,128$	$40,976$									
Member class = 1											
Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations. The user should check if parts of member are Class 4 in the "Additional info"-sheet.											
Member Check											
$N_{Rd} = 1142,715$ kN $M_{y,Rd} = 65,669$ kNm $M_{z,Rd} = 43,193$ kNm	$M_{pl,y,Rd} = 65,669$ kNm $M_{pl,z,Rd} = 43,193$ kNm $M_{el,y,Rd} = 52,354$ kNm $M_{el,z,Rd} = 36,912$ kNm	$N_{Ed} = 0,000$ kN $M_{y,Ed,max} = 38,813$ kNm $M_{z,Ed,max} = 4,106$ kNm									
Strong axis buckling $L_{cr,y} = 11,750$ m $N_{cr,y} = 257,217$ kN $\alpha_y = 0,21$ [-] $\lambda_y = 2,108$ [-] $\chi_y = 0,202$ [-]	Weak axis buckling $L_{cr,z} = 11,750$ m $N_{cr,z} = 100,751$ kN $\alpha_z = 0,21$ [-] $\lambda_z = 3,368$ [-] $\chi_z = 0,083$ [-]	Lateral torsional buckling $M_{or} = inf.$ kNm $\alpha_{LT} = 0,00$ [-] $\lambda_{LT} = 0,000$ [-] $\chi_{LT,mod} = 1,000$ [-] $f_{mod} = 0,000$ [-]									
EN 1993-1-1, 6.3.3											
Uniform member in bending and axial compression		Global interaction factors									
Eq. (6.61): $U = 0,616 \leq 1,0$ ok	$C_{my} = 0,950$ [-]	$k_{yy} = 0,950$									
Eq. (6.62): $U = 0,427 \leq 1,0$ ok	$C_{mz} = 0,950$ [-]	$k_{yz} = 0,570$									
	$C_{mLT} = 0,950$ [-]	$k_{zy} = 0,570$									
		$k_{zz} = 0,950$									
Cross-section check at each end of the member											
Left end: $U = 0,000 \leq 1,0$ ok		$UF = 0,000$									
Right end: $U = 0,000 \leq 1,0$ ok		$UF = 0,000$									
Additional member checks											
EN 1993-1-1, 6.3.1											
Strong axis flexural buckling check											
Eq. (6.46): $N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0,000 \leq 1,0$ ok											
Weak axis flexural buckling check											
Eq. (6.46): $N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0,000 \leq 1,0$ ok											
EN 1993-1-1, 6.3.2											
Lateral torsional buckling											
Eq. (6.54): $M_{Ed}/M_{b,Rd} = 0,000 \leq 1,0$ ok											

Figura 96 - Folha 3 de 3 - Dimensionamento no "SemiComp" - Madre 2.16

d) Comparação dos resultados dos três procedimentos

Na Tabela 84 resume-se a comparação dos resultados.

Tabela 84 - Quadro comparativo - Madre 2.16

Rádios de ELU ou Parâmetro		Rotina de				
		Cálculo "Excel"	"SAP2000"	Δ (%)	"SemiComp"	Δ (%)
Flexão Composta (N+M)	Eixo y-y	0,59	0,58	1,7	0,59	0,0
	Eixo z-z	0,07	0,07	0,0	0,07	0,0
Flexão Composta Desviada com Esforço Transverso		0,43	-	-	0,43	0,0
Coeficientes de Momento Uniforme	C_{my}	0,95	-	-	0,95	0,0
	C_{mz}	0,91	-	-	0,95	4,4
	C_{mLT}	0,80	-	-	0,95	18,8
Fatores de Interação k_{ij}	k_{yy}	0,95	0,95	0,0	0,95	0,0
	k_{yz}	0,55	0,38	30,9	0,57	3,6
	k_{zy}	0,57	0,57	0,0	0,57	0,0
	k_{zz}	0,91	0,62	31,9	0,95	4,4
Encurvadura em colunas-vigas	Eq. 6.61	0,61	0,62	1,6	0,62	1,6
	Eq. 6.62	0,42	-	-	0,43	2,4

Estados Limites de Utilização

Verificou-se igualmente a segurança ao estado limite de serviço. A flecha máxima é inferior à admissível $L/200$.

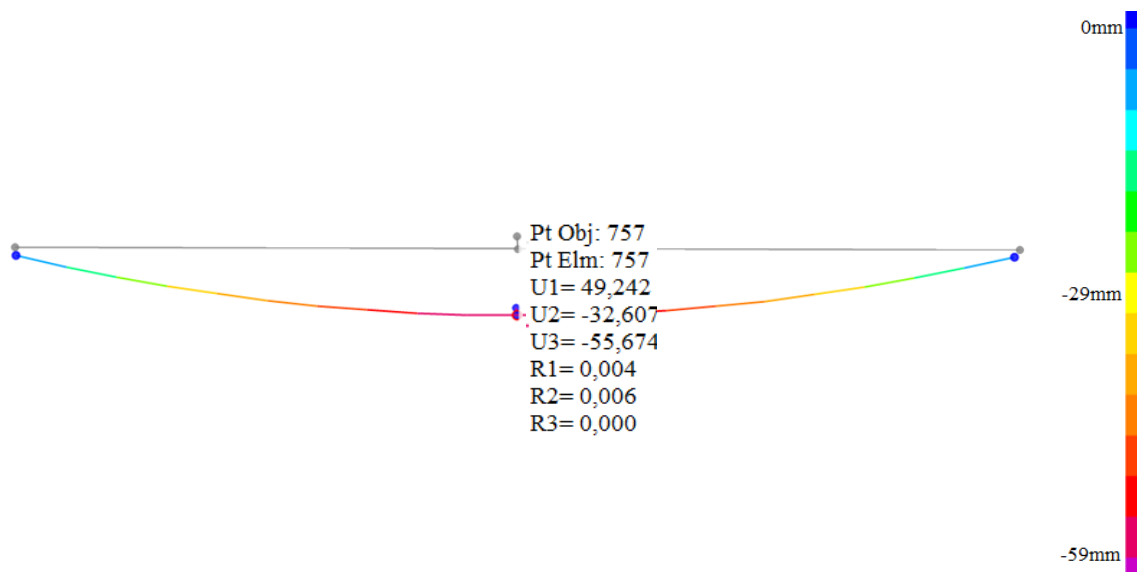


Figura 97 - Flecha a $\frac{1}{2}$ vão da madre 2.16 para a combinação quase-permanente de ações

Tabela 85 - Dimensionamento aos ELS

Madre (Nº.Sector)	Nº da Barra no "SAP2000"	L [m]	δ_v [mm]	δ_{adm} [mm]	Rácio
2.16	24	11,75	53,4	58,8	0,91

Conclusão

Em seguida apresentam-se os rácios de dimensionamento das madres do sector 16 da cobertura do *stock*, obtidos pela folha de cálculo em "Excel" e pelo "SAP2000" bem como as diferenças registadas.

Tabela 86 - Dimensionamento das madres - Sector 16

Madres Sector 16	Nº "SAP2000"	Combinação Condicionante	Perfil	Rácio "Excel"	Rácio "SAP2000"	Δ (%)
1	23	ELU(W)_SC_T+	RHS 180x100x8	0,342	0,337	1,4%
2	24	ELU(W)_SC	RHS 180x100x8	0,613	0,626	2,1%
3	25	ELU(W)_SC_I_T-	RHS 180x100x8	0,617	0,626	1,5%
4	26	ELU(W)_SC_T+	RHS 180x100x8	0,165	0,203	22,9%
5	27	ELU(T-)_SC_I	RHS 180x100x6,3	0,552	0,559	1,3%
6	28	ELU(T-)_SC_I	RHS 160x80x8	0,505	0,582	15,2%
7	29	ELU(T-)_SC_I	RHS 160x80x8	0,297	0,237	20,1%
8	30	ELU(T-)_SC_I	RHS 160x80x6,3	0,546	0,629	15,3%
9	31	ELU(T-)_SC_I	RHS 160x80x10	0,829	0,881	5,9%
10	32	ELU(T-)_SC_I	RHS 140x80x6,3	0,256	0,177	30,9%
11	33	ELU(T-)_SC_I	RHS 140x80x5	0,517	0,529	2,3%
12	34	ELU(T-)_SC_I	RHS 120x80x5	0,530	0,569	7,3%
13	35	ELU(T-)_SC_I	RHS 120x80x4	0,311	0,223	28,4%
14	36	ELU(T-)_SC_I	RHS 120x80x4	0,471	0,518	10,0%
15	37	ELU(T-)_SC_I	RHS 120x80x4	0,401	0,450	12,2%
16	38	ELU(T-)_SC_I	RHS 120x80x4	0,329	0,311	5,5%
17	39	ELU(T-)_SC_I	RHS 120x80x4	0,554	0,554	0,1%
18	40	ELU(T+)_SC	RHS 120x80x4	0,205	0,207	1,0%
19	41	ELU(W)_T+	RHS 120x80x4	0,340	0,358	5,2%
20	42	ELU(W)_T+	RHS 120x80x4	0,116	0,133	15,2%
21	43	ELU(W)_T+	RHS 120x80x4	0,109	0,155	42,3%
22.	44	ELU(T-)_SC	RHS 120x80x4	0,057	0,056	2,2%

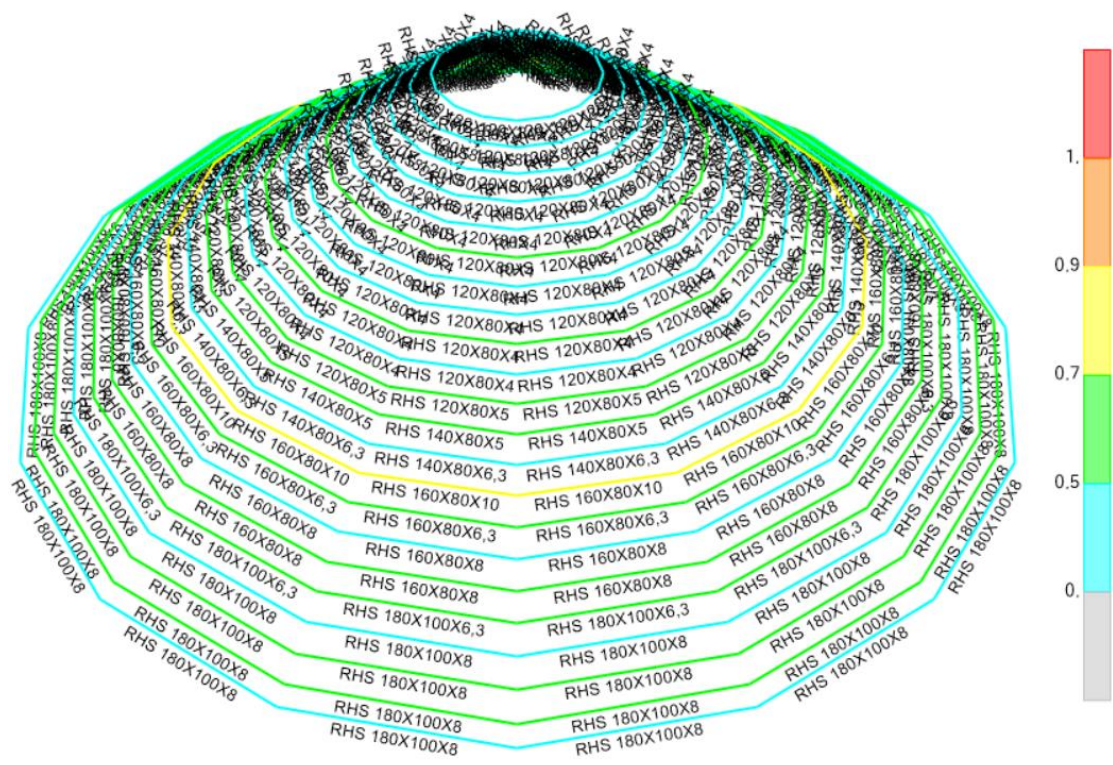


Figura 98 - Rácios de dimensionamento

Asnas da cobertura do stock

Estados Limites Últimos

Tal como nos exemplos anteriores mostra-se o cálculo pormenorizado das barras:

- n°21 de cordão superior;
- n°3 do cordão inferior;
- n°21 das diagonais;
- n°21 dos prumos.

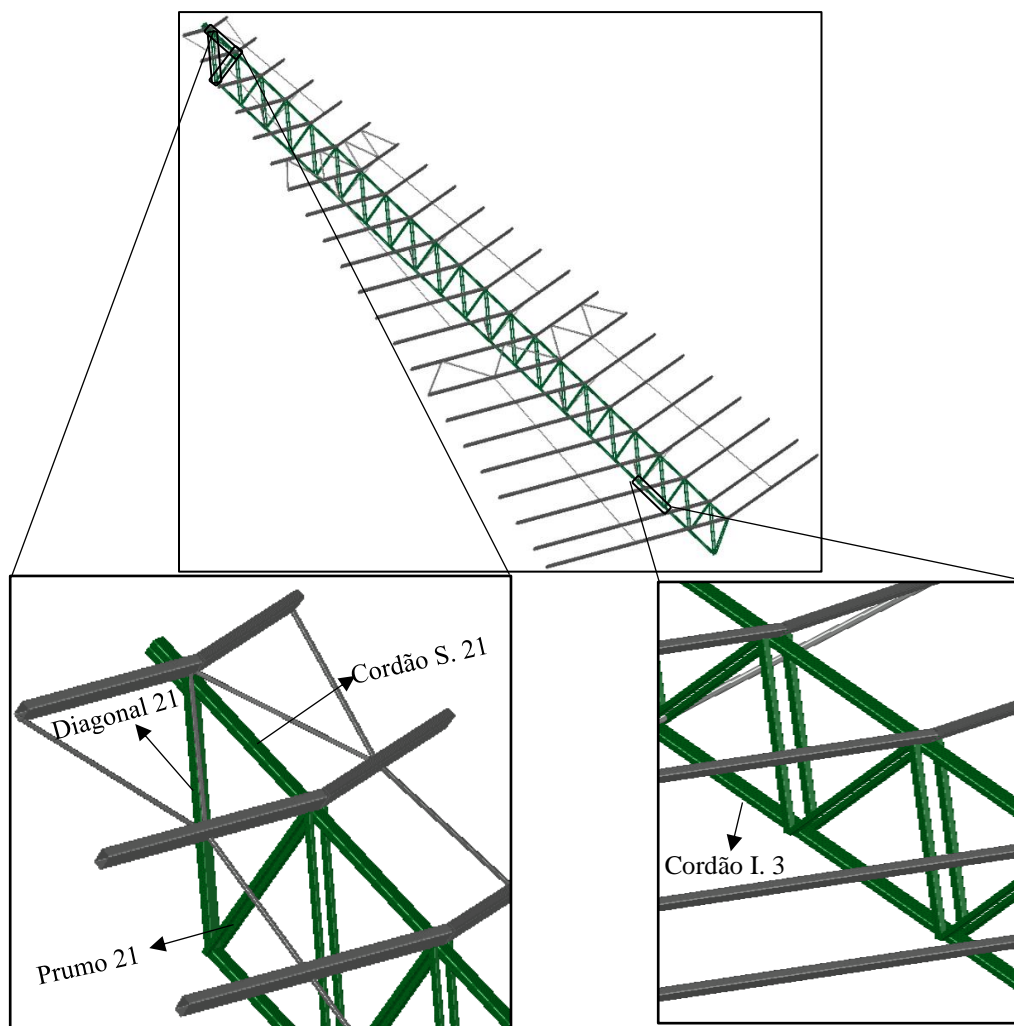


Figura 99 - Barras da asna

- **Esforços de cálculo**

Nas figuras seguintes estão indicados os diagramas de esforços para a combinação condicionante ELU(W)_T+ na barra nº3 do cordão inferior.

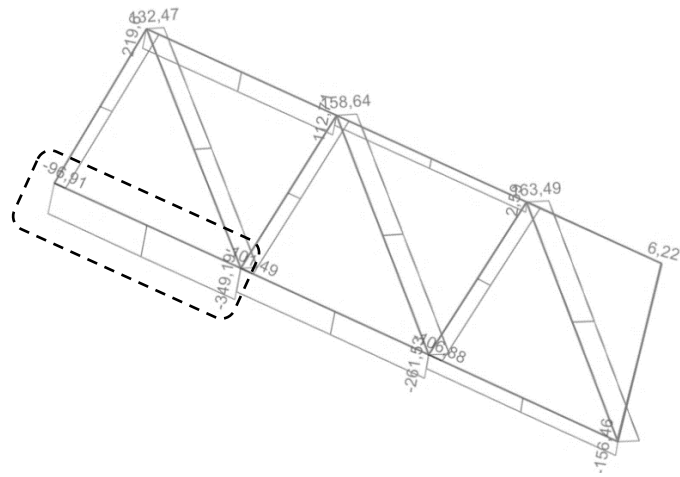


Figura 100 - Diagrama de esforço axial

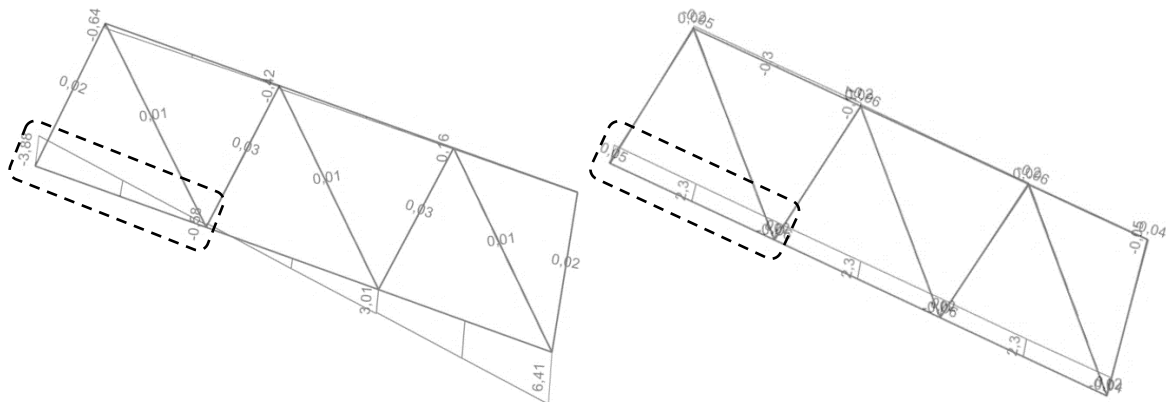


Figura 101 - Diagramas de esforços $M_{y,Ed}$ e $V_{z,Ed}$

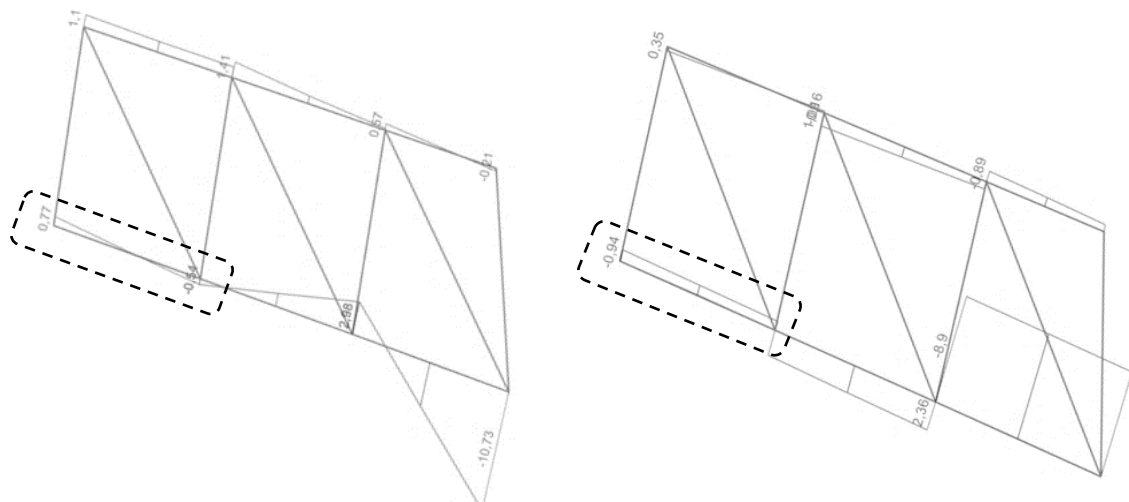


Figura 102 - Diagramas de esforços $M_{z,Ed}$ e $V_{y,Ed}$

a) 1º Processo de Dimensionamento - Rotina de cálculo em “Excel”

Relatório de Dimensionamento de Elementos Metálicos													
1- Características do Elemento													
Função Estrutural do Elemento: Asnas da Cobertura do Stock													
Tipo de Elemento: Coluna-Viga													
Comprimento do Elemento= 1,559 m													
Número do Elemento no modelo SAP: 1002													
Combinação Condicionante: ELU(W)_T-													
Coeficientes Parciais de Segurança γ_{M1} : $\gamma_{M0}=1,00$ $\gamma_{M1}=1,00$ $\gamma_{M2}=1,25$													
2- Esforços de Cálculo Atuantes													
Secção Apoio Esquerdo			Secção do Meio Vão			Secção Apoio Direito							
$N_{Ed} = -351,795$ kN			$N_{Ed} = -351,795$ kN			$N_{Ed} = -351,795$ kN							
$V_{y,Ed} = 2,67$ kN			$V_{y,Ed} = 2,67$ kN			$V_{y,Ed} = 2,67$ kN							
$V_{z,Ed} = -0,81$ kN			$V_{z,Ed} = -0,95$ kN			$V_{z,Ed} = -1,09$ kN							
$M_{y,Ed} = 0,11$ kN.m			$M_{y,Ed} = -1,97$ kN.m			$M_{y,Ed} = -4,05$ kN.m							
$M_{z,Ed} = -0,67$ kN.m			$M_{z,Ed} = 0$ kN.m			$M_{z,Ed} = 0,81$ kN.m							
3- Propriedades do Material													
Classe do Aço: S275 H			$f_y = 275$ N/mm ²			$G = 81000$ N/mm ²							
			$f_u = 430$ N/mm ²			$E = 210000$ N/mm ²							
4- Propriedades Geométricas da Secção Transversal													
Perfil: RHS 160x80x6,3			$h = 160$ mm			$b = 80$ mm							
$t = 6,3$ mm			$r_{ext} = 9,45$ mm			$r_{int} = 3,15$ mm							
$A = 28,20$ cm ²			$A_{yz} = 18,80$ cm ²			$A_{vy} = 9,40$ cm ²							
$I_{yy} = 903,00$ cm ⁴			$i_y = 5,66$ cm			$I_{zz} = 299,00$ cm ⁴							
$i_z = 3,26$ cm			$W_{pl,y} = 142,00$ cm ³			$W_{pl,z} = 86,80$ cm ³							
$W_{el,y} = 112,88$ cm ³			$W_{el,z} = 74,75$ cm ³			$I_t = 730,00$ cm ⁴							
$I_w = 0,00 \times 10^{-3}$ cm ⁶			$y_0 = 0,00$ mm			$z_0 = 0,00$ mm							
5- Classificação da Secção Transversal													
ϵ : 0,92		Componente à Flexão				Componente à Compressão							
		Classe 1		Classe 2		Classe 3		Classe 1		Classe 2		Classe 3	
c/t_w : 22,40		≤ 66,56		76,73		114,63		30,51		35,13		38,83	
c/t_f : 9,70		≤ -		-		-		30,51		35,13		38,83	
		Alma à Flexão e à Compressão						Classificação - Resumo					
		$\Psi_{web,left}$		$\Psi_{web,right}$		Classe 1		Classe 2		Classe 3		F C F+C	
se		0,98		0,99		31,07		35,77		39,01		1 1 1	
smv		0,75		0,75		41,56		47,85		42,25		1 1 1	
sd		0,52		0,58		63,42		73,03		45,05		1 1 1	
SemiComp:		-		Classe Semi-Comp:				-		Classe Adotada: 1			
6- Esforços Resistentes de Cálculo													
$N_{pl,Rd} = 775,5$ kN			$N_{u,Rd} = -$ kN			$N_{net,Rd} = -$ kN							
$N_{t,Rd} = 775,5$ kN			$N_{c,Rd} = 775,5$ kN			$V_{c,y,Rd} = 149,2$ kN							
$V_{c,z,Rd} = 298,5$ kN			$M_{c,y,Rd} = 39,1$ kN.m			$M_{c,z,Rd} = 23,9$ kN.m							
$M_{y,v,Rd} = 39,1$ kN.m			$M_{z,v,Rd} = 23,9$ kN.m			$M_{N,y,Rd} = 28,4$ kN.m							
$M_{N,z,Rd} = 22,5$ kN.m			$M_{NV,y,Rd} = 28,4$ kN.m			$M_{NV,z,Rd} = 22,5$ kN.m							
$N_{b,y,Rd} = 440,7$ kN			$N_{b,z,Rd} = 631,1$ kN			$N_{b,T,Rd} = 775,5$ kN							
$M_{b,Rd} = 39,1$ kN.m													

Figura 103 - Folha 1 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em “Excel” - Cordão Inferior nº3

7- Resistência da Secção Transversal		Secção Apoio Direito	
NP EN 1993-1-1, 6.2.3 - Tração			
$N_{Ed}/N_{t,Rd} =$	$\leq 1,0$	-	(1)
NP EN 1993-1-1, 6.2.4 - Compressão			
$N_{Ed}/N_{c,Rd} =$	0,45 $\leq 1,0$	OK	(2)
NP EN 1993-1-1, 6.2.5 - Momento Fletor			
$M_{y,Ed}/M_{c,y,Rd} =$	0,10 $\leq 1,0$	OK	(3)
$M_{z,Ed}/M_{c,z,Rd} =$	0,03 $\leq 1,0$	OK	(4)
NP EN 1993-1-1, 6.2.6 - Esforço Transverso			
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} =$	0,02 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (5)
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (6)
$\tau_{y,Ed}/(f_y/(3^{0,5}\gamma_{M0})) =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y (7)
$\tau_{z,Ed}/(f_y/(3^{0,5}\gamma_{M0})) =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z (8)
Encurvadura por Esforço Transverso ($h_w/t_w \leq 72\varepsilon/\eta$): Desprezar Em que $\eta = 1,0$			
NP EN 1993-1-1, 6.2.8 - Flexão com Esforço Transverso			
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} =$	0,00 $\leq 0,5$	Esforço Transverso sem significado	
$M_{y,Ed}/M_{y,v,Rd} =$	0,10 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (9)
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} =$	0,02 $\leq 0,5$	Esforço Transverso sem significado	
$M_{z,Ed}/M_{z,v,Rd} =$	0,03 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (10)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y (11)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z (12)
NP EN 1993-1-1, 6.2.9 - Flexão Composta			
$N_{Ed}/N_{pl,Rd} =$	0,45 $\leq 0,25$	Considerar efeito do Esforço Axial	
$N_{Ed}/h_w t_w f_y =$	1,44 $\leq 0,50$	Considerar efeito do Esforço Axial	
$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} =$	0,14 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (13)
$N_{Ed}/h_w t_w f_y =$	1,44 $\leq 1,0$	Considerar efeito do Esforço Axial	
$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} =$	0,04 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (14)
$\sigma_{Ed}/f_y =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y (15)
$\sigma_{Ed}/f_y =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z (16)
NP EN 1993-1-1, 6.2.10 - Flexão Composta Desviada com Esforço Transverso			
$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^a + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^b =$	0,02 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (17)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 (18)

Figura 104 - Folha 2 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em "Excel" - Cordão Inferior nº3

8- Resistência do Elemento à Encurvadura

NP EN 1993-1-1, 6.3.1 - Elementos Uniformes Comprimidos (Coluna) - Varejamento

Encurvadura por Flexão y-y	Encurvadura por Flexão z-z	Encurvadura por Torção ou por Flexão-Torção
$L_{cr,y} = 4,677$ m	$L_{cr,z} = 1,559$ m	$L_{cr,T} = 1,6$ m
$N_{cr,y} = 855,6$ kN	$N_{cr,z} = 2549,8$ kN	$N_{cr,T} = 138724,3$ kN
$\bar{\lambda}_y = 0,95$ -	$\bar{\lambda}_z = 0,55$ -	$\bar{\lambda}_T = 0,07$ -
$\alpha_y = 0,21$ -	$\alpha_z = 0,21$ -	$\alpha_T = 0,21$ -
$\Phi_y = 1,03$ -	$\Phi_z = 0,69$ -	$\Phi_T = 0,49$ -
$\chi_y = 0,70$ -	$\chi_z = 0,91$ -	$\chi_T = 1,00$ -
$N_{b,y,Rd} = 542,0$ kN	$N_{b,z,Rd} = 703,7$ kN	$N_{b,T,Rd} = 775,5$ kN
$N_{Ed}/N_{b,y,Rd} = 0,64$	(19) $N_{Ed}/N_{b,z,Rd} = 0,49$	(20) $N_{Ed}/N_{b,T,Rd} = 0,45$ (21)
Estado de Encurvadura: Encurvadura por Flexão - Eixo y-y $N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0,64 \leq 1,0$ OK		

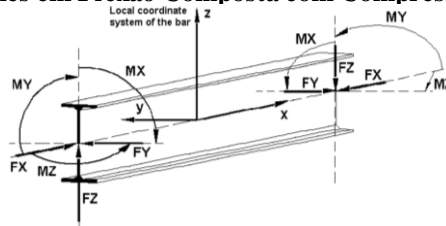
NP EN 1993-1-1, 6.3.2 - Elementos Uniformes em Flexão (Viga) - Bambeamento

	LT Beam	C1	C2	C3	z _k	z _j
$L_{cr} = 1,559$ m	-	-	-	-	-	-
$M_{cr} = -$ kN	-	-	-	-	-	-
$\bar{\lambda}_{LT} = -$	-	-	-	-	mm	mm
$\alpha_{LT} = -$	-	-	-	-	-	-
$\Phi_{LT} = -$	-	-	-	-	-	-
$\chi_{LT} = 1,00$ -	-	-	-	-	-	-
$M_{b,Rd} = 39,1$ kN	-	-	-	-	-	-
$M_{Ed}/M_{b,Rd} = 0,10 \leq 1,0$	OK					

NP EN 1993-1-1, 6.3.3 - Elementos Uniformes em Flexão Composta com Compressão (Coluna-Viga)

Método 2 - Anexo B

$C_{my} = 0,40$	$k_{yy} = 0,59$
$C_{mz} = 0,40$	$k_{yz} = 0,28$
$C_{mLT} = 0,63$	$k_{zy} = 0,36$
	$k_{zz} = 0,47$



$$N_{Ed}/N_{b,y,Rd} + k_{yy} * M_{y,Ed}/M_{b,Rd} + k_{yz} * M_{z,Ed}/M_{z,Rd} = 0,64 + 0,10 + 0,01 = 0,75 \leq 1,0 \quad \text{Eq. 6.61} \quad \text{OK} \quad (23)$$

$$N_{Ed}/N_{b,z,Rd} + k_{zy} * M_{y,Ed}/M_{b,Rd} + k_{zz} * M_{z,Ed}/M_{z,Rd} = 0,49 + 0,06 + 0,02 = 0,57 \leq 1,0 \quad \text{Eq. 6.62} \quad \text{OK} \quad (24)$$

9- Rácios de Utilização

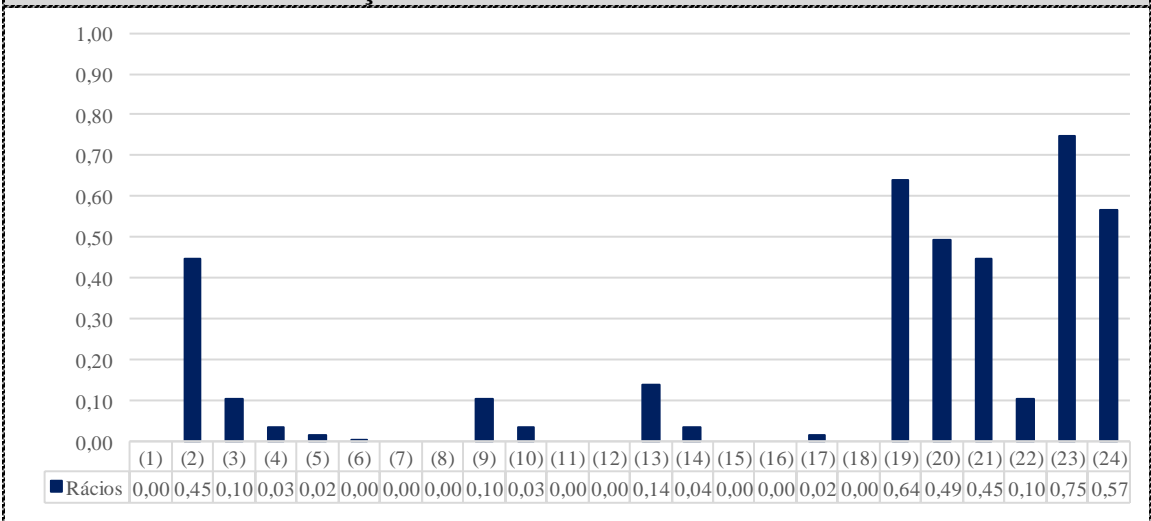


Figura 105 - Folha 3 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em "Excel" - Cordão Inferior nº3

b) 2º Processo de Dimensionamento - Software "SAP2000"

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)

Units : KN, m, C

Frame : 1002 X Mid: -10,408 Combo: ELU(W) T- Design Type: Brace
 Length: 1,559 Y Mid: -25,127 Shape: RHS 160X80X6,3 Frame Type: DCH-MRF
 Loc : 0,78 Z Mid: 10,641 Class: Class 1 Rolled : No

Country=CEN Default Combination=Eq. 6.10 Reliability=Class 2
 Interaction=Method 2 (Annex B) MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No
 Consider Torsion? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes
 Ignore Seismic Code? No

GammaM0=1, GammaM1=1, GammaM2=1,25
 q=1,5 Omega=1, GammaOV=1,1
 An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75 D/C Lim=0,95

Aeff=0,003 eNy=0, eNz=0,
 A=0,003 Iyy=9,319E-06 iyy=0,057 Wel,yy=1,165E-04 Weff,yy=1,165E-04
 It=7,110E-06 Izz=3,066E-06 izz=0,033 Wel,zz=7,664E-05 Weff,zz=7,664E-05
 Iw=0, Iyz=0, h=0,16 Wpl,yy=1,459E-04 Av,y=0,001
 E=210000000, fy=275000, fu=430000, Wpl,zz=8,860E-05 Av,z=0,002

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0,78	-351,795	-1,508	0,08	2,529	-0,87	5,685E-04

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.3.3(4)-6.61)

D/C Ratio: $0,864 = 0,78 + 0,075 + 0,01 < 0,95$ OK

$$= \frac{Ned}{\chi_y N_{Rk}/\gamma_{M1}} + k_{yy} (M_y, Ed + NEd eNy) / (\chi_{LT} M_y, Rk / \gamma_{M1}) + k_{yz} (M_z, Ed + NEd eNz) / (M_z, Rk / \gamma_{M1})$$
 (EC3 6.3.3(4)-6.61)

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd				
	Force	Capacity	Capacity				
Axial	-351,795	787,941	787,941				
	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag		
	787,941	887,078	132854,956	883,	1,		
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	c	0,49	883,	0,945	1,129	0,573	451,233
MajorB(y-y)	c	0,49	883,	0,945	1,129	0,573	451,233
Minor (z-z)	c	0,49	2614,333	0,549	0,736	0,815	642,322
MinorB(z-z)	c	0,49	2614,333	0,549	0,736	0,815	642,322
Torsional TF	c	0,49	883,	0,945	1,129	0,573	451,233

MOMENT DESIGN

	Med	Med,span	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd
	Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity
Major (y-y)	-1,508	-3,48	40,124	40,124	29,613	40,124
Minor (z-z)	0,08	0,813	24,365	24,365	15,833	

	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
LTB	d	0,76	0,126	0,48	1,	0,	2546,627

Factors	kw	C1	C2	C3		
	1,	2,078	0,	0,968		
	za	zs	zg	zz	zj	
	0,08	0,	0,08	0,	0,	

Factors	kyy	kyz	kzy	kzz
	0,864	0,286	0,519	0,476

	Ved	Vpl.Rd	Ved/Vpl.Rd	rho
	Force	Capacity	Ratio	Factor
Major (z)	2,529	353,852	0,007	1,
Minor (y)	0,87	160,041	0,005	1,

SHEAR DESIGN

	Ved	Ted	Vc,Rd	Stress	Status
	Force	Torsion	Capacity	Ratio	Check
Major (z)	2,529	0,	353,852	0,007	OK
Minor (y)	0,87	0,	160,041	0,005	OK

	Vpl,Rd	Eta	LambdaBar	Chi
	Capacity	Factor	Ratio	Factor
Minor (y)	353,852	1,2	0,293	1,2
Major (y)	160,041	1,2	0,	1,

Figura 106 - Dimensionamento no "SAP2000" - Cordão Inferior nº3

c) Comparação de resultados dos dois procedimentos

Na Tabela 87 apresenta-se o resumo comparativo.

Tabela 87 - Quadro comparativo - Barra nº3 do cordão inferior

Rácios de ELU ou Parâmetro	Rotina de		Δ (%)	“SemiComp”	Δ (%)
	Cálculo	“SAP2000”			
Esforço Axial de Compressão	0,45	0,44	1,6	0,45	0,0
Flexão Composta (N+M)	Eixo y-y	0,14	0,14	-	-
	Eixo z-z	0,04	0,04	0,0	-
Flexão Composta Desviada com Esforço Transverso	0,02	-	-	0,02	0,0
Encurvadura em colunas	Eixo y-y	0,64	0,77	20,3	-
	Eixo z-z	0,49	0,54	10,2	-
Coeficientes de Momento Uniforme	C_{my}	0,40	-	-	-
	C_{mz}	0,40	-	-	-
	C_{mLT}	0,63	-	-	-
Fatores de Interação k_{ij}	k_{yy}	0,59	0,93	57,6	-
	k_{yz}	0,28	0,29	3,6	-
	k_{zy}	0,36	0,56	55,6	-
	k_{zz}	0,47	0,48	2,1	-
Encurvadura em colunas-vigas	Eq. 6.61	0,75	0,86	12,7	-
	Eq. 6.62	0,57	-	-	-

Nota: O “SAP2000” considera para a secção tubular RHS 160x80x6,3 a curva de encurvadura “c” e o EC3-1-1 recomenda a curva “a”.

- **Esforços de cálculo**

Nas figuras estão representados os diagramas de esforços para a combinação condicionante ELU(T+)_SC_I na barra n°21 do cordão superior.

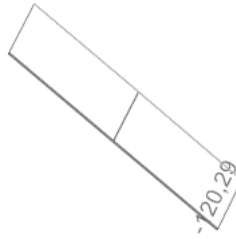


Figura 107 - Diagrama de esforço axial

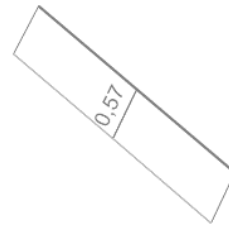
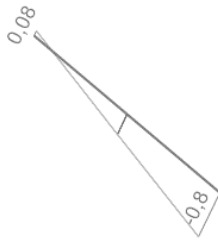


Figura 108 - Diagramas de esforços $M_{y,Ed}$ e $V_{z,Ed}$

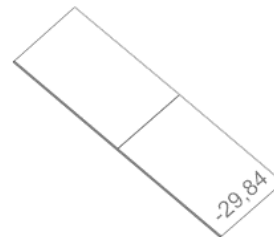
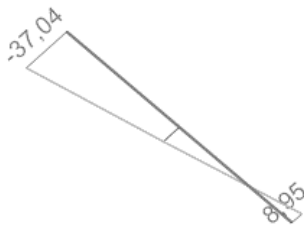


Figura 109 - Diagramas de esforços $M_{z,Ed}$ e $V_{y,Ed}$

a) 1º Processo de Dimensionamento - Rotina de cálculo em “Excel”

Relatório de Dimensionamento de Elementos Metálicos								
1- Características do Elemento								
Função Estrutural do Elemento: Asnas da Cobertura do Stock								
Tipo de Elemento: Coluna-Viga								
Comprimento do Elemento= 1,559 m								
Número do Elemento no modelo SAP: 661								
Combinação Condicionante: ELU(T+)_SC_I								
Coeficientes Parciais de Segurança γ_{M1} : $\gamma_{M0}=1,00$ $\gamma_{M1}=1,00$ $\gamma_{M2}=1,25$								
2- Esforços de Cálculo Atuantes								
Secção Apoio Esquerdo			Secção do Meio Vão			Secção Apoio Direito		
N_{Ed} =	-120,29 kN		N_{Ed} =	-120,29 kN		N_{Ed} =	-120,29 kN	
$V_{y,Ed}$ =	-29,84 kN		$V_{y,Ed}$ =	-29,84 kN		$V_{y,Ed}$ =	-29,84 kN	
$V_{z,Ed}$ =	0,57 kN		$V_{z,Ed}$ =	0,57 kN		$V_{z,Ed}$ =	0,57 kN	
$M_{y,Ed}$ =	0,08 kN.m		$M_{y,Ed}$ =	-0,36 kN.m		$M_{y,Ed}$ =	-0,8 kN.m	
$M_{z,Ed}$ =	-37,04 kN.m		$M_{z,Ed}$ =	-14,045 kN.m		$M_{z,Ed}$ =	8,95 kN.m	
3- Propriedades do Material								
Classe do Aço: S275 H			f_y =	275 N/mm ²	G =	81000 N/mm ²		
			f_{tk} =	430 N/mm ²	E =	210000 N/mm ²		
4- Propriedades Geométricas da Secção Transversal								
Perfil: RHS 160x80x12,5			h =	160 mm	b =	80 mm		
t =	12,5 mm		r_{ext} =	18,75 mm	r_{int} =	6,25 mm		
A =	52,07 cm ²		A_{vz} =	34,71 cm ²	A_{vy} =	17,36 cm ²		
I_{yy} =	1485,00 cm ⁴		i_y =	5,34 cm	I_{zz} =	464,70 cm ⁴		
i_z =	2,99 cm		$W_{pl,y}$ =	247,20 cm ³	$W_{pl,z}$ =	146,40 cm ³		
$W_{el,y}$ =	185,63 cm ³		$W_{el,z}$ =	116,18 cm ³	I_t =	1204,00 cm ⁴		
I_w =	0,00 x10 ⁻³ cm ⁶		y_0 =	0,00 mm	z_0 =	0,00 mm		
5- Classificação da Secção Transversal								
ϵ :	0,92		Componente à Flexão			Componente à Compressão		
			Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3
c/t_w :	9,80	≤	66,56	76,73	114,63	30,51	35,13	38,83
c/t_f :	3,40	≤	-	-	-	30,51	35,13	38,83
			Alma à Flexão e à Compressão			Classificação - Resumo		
	$\Psi_{web,left}$	$\Psi_{web,right}$	Classe 1	Classe 2	Classe 3	F	C	F+C
se	1,00	1,00	30,60	35,24	38,86	1	1	1
smv	0,96	0,97	31,85	36,67	39,17	1	1	1
sd	0,85	0,92	36,33	41,83	39,91	1	1	1
SemiComp:	-		Classe Semi-Comp:			-		
						Classe Adotada:		
						1		
6- Esforços Resistentes de Cálculo								
$N_{pl,Rd}$ =	1431,9 kN		$N_{u,Rd}$ =	- kN		$N_{net,Rd}$ =	- kN	
$N_{t,Rd}$ =	1431,9 kN		$N_{c,Rd}$ =	1431,9 kN		$V_{c,y,Rd}$ =	275,6 kN	
$V_{c,z,Rd}$ =	551,1 kN		$M_{c,y,Rd}$ =	68,0 kN.m		$M_{c,z,Rd}$ =	40,3 kN.m	
$M_{y,V,Rd}$ =	68,0 kN.m		$M_{z,V,Rd}$ =	40,3 kN.m		$M_{N,y,Rd}$ =	68,0 kN.m	
$M_{N,z,Rd}$ =	40,3 kN.m		$M_{NV,y,Rd}$ =	68,0 kN.m		$M_{NV,z,Rd}$ =	40,3 kN.m	
$N_{b,y,Rd}$ =	1387,3 kN		$N_{b,z,Rd}$ =	1273,8 kN		$N_{b,T,Rd}$ =	1431,9 kN	
$M_{b,Rd}$ =	68,0 kN.m							

Figura 110 - Folha 1 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em “Excel” - Cordão Superior nº21

7- Resistência da Secção Transversal		Secção Apoio Esquerdo	
NP EN 1993-1-1, 6.2.3 - Tração			
$N_{Ed}/N_{t,Rd} =$	$\leq 1,0$	-	(1)
NP EN 1993-1-1, 6.2.4 - Compressão			
$N_{Ed}/N_{c,Rd} =$	0,08 $\leq 1,0$	OK	(2)
NP EN 1993-1-1, 6.2.5 - Momento Fletor			
$M_{y,Ed}/M_{c,y,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	(3)
$M_{z,Ed}/M_{c,z,Rd} =$	0,92 $\leq 1,0$	OK	(4)
NP EN 1993-1-1, 6.2.6 - Esforço Transverso			
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} =$	0,11 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (5)
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (6)
$\tau_{y,Ed}/(f_y/(3^{0,5}\gamma_{M0})) =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y (7)
$\tau_{z,Ed}/(f_y/(3^{0,5}\gamma_{M0})) =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z (8)
Encurvadura por Esforço Transverso ($h_w/t_w \leq 72\varepsilon/\eta$): Desprezar Em que $\eta = 1,0$			
NP EN 1993-1-1, 6.2.8 - Flexão com Esforço Transverso			
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} =$	0,00 $\leq 0,5$	Esforço Transverso sem significado	
$M_{y,Ed}/M_{y,V,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (9)
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} =$	0,11 $\leq 0,5$	Esforço Transverso sem significado	
$M_{z,Ed}/M_{z,V,Rd} =$	0,92 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (10)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y (11)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z (12)
NP EN 1993-1-1, 6.2.9 - Flexão Composta			
$N_{Ed}/N_{pl,Rd} =$	0,08 $\leq 0,25$	Esforço Axial sem significado	
$N_{Ed}/h_w t_w f_y =$	0,29 $\leq 0,50$	Esforço Axial sem significado	
$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (13)
$N_{Ed}/h_w t_w f_y =$	0,29 $\leq 1,0$	Esforço Axial sem significado	
$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} =$	0,92 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (14)
$\sigma_{Ed}/f_y =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y (15)
$\sigma_{Ed}/f_y =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z (16)
NP EN 1993-1-1, 6.2.10 - Flexão Composta Desviada com Esforço Transverso			
$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^a + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^b =$	0,87 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (17)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 (18)

Figura 111 - Folha 2 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em "Excel" - Cordão Superior nº21

8- Resistência do Elemento à Encurvadura

NP EN 1993-1-1, 6.3.1 - Elementos Uniformes Comprimidos (Coluna) - Varejamento

Encurvadura por Flexão y-y	Encurvadura por Flexão z-z	Encurvadura por Torção ou por Flexão-Torção
$L_{cr,y} = 1,559 \text{ m}$	$L_{cr,z} = 1,559 \text{ m}$	$L_{cr,T} = 1,559 \text{ m}$
$N_{cr,y} = 12663,5 \text{ kN}$	$N_{cr,z} = 3962,8 \text{ kN}$	$N_{cr,T} = 260454,2 \text{ kN}$
$\bar{\lambda}_y = 0,34$	$\bar{\lambda}_z = 0,60$	$\bar{\lambda}_T = 0,07$
$\alpha_y = 0,21$	$\alpha_z = 0,21$	$\alpha_T = 0,21$
$\Phi_y = 0,57$	$\Phi_z = 0,72$	$\Phi_T = 0,49$
$\chi_y = 0,97$	$\chi_z = 0,89$	$\chi_T = 1,00$
$N_{b,y,Rd} = 1387,3 \text{ kN}$	$N_{b,z,Rd} = 1273,8 \text{ kN}$	$N_{b,T,Rd} = 1431,9 \text{ kN}$
$N_{Ed}/N_{b,y,Rd} = 0,09$	(19) $N_{Ed}/N_{b,z,Rd} = 0,09$	(20) $N_{Ed}/N_{b,T,Rd} = 0,08$ (21)
Modo de Encurvadura: Encurvadura por Flexão - Eixo z-z $N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0,09 \leq 1,0$ OK		

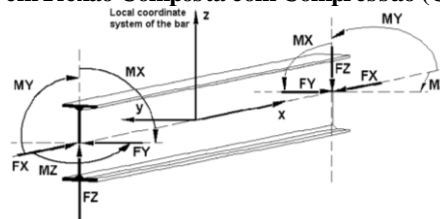
NP EN 1993-1-1, 6.3.2 - Elementos Uniformes em Flexão (Viga) - Bambeamento

	LT Beam	C1	C2	C3	z _g	z _j
$L_{cr} = 1,559 \text{ m}$	-	-	-	-	-	-
$M_{cr} = - \text{ kN}$	-	-	-	-	-	-
$\bar{\lambda}_{LT} = -$	-	-	-	-	mm	mm
$\alpha_{LT} = -$	-	-	-	-	-	-
$\Phi_{LT} = -$	-	-	-	-	-	-
$\chi_{LT} = 1,00$	-	-	-	-	-	-
$M_{b,Rd} = 68,0 \text{ kN}$	-	-	-	-	-	-
$M_{Ed}/M_{b,Rd} = 0,01 \leq 1,0$	OK					(22)

NP EN 1993-1-1, 6.3.3 - Elementos Uniformes em Flexão Composta com Compressão (Coluna-Viga)

Método 2 - Anexo B

$C_{my} = 0,56$	$k_{yy} = 0,57$
$C_{mz} = 0,50$	$k_{yz} = 0,31$
$C_{mLT} = 0,56$	$k_{zy} = 0,34$
	$k_{zz} = 0,52$



$$N_{Ed}/N_{b,y,Rd} + k_{yy} * M_{y,Ed}/M_{b,Rd} + k_{yz} * M_{z,Ed}/M_{z,Rd} = 0,09 + 0,01 + 0,29 = 0,38 \leq 1,0 \quad \text{Eq. 6.61} \quad \text{OK} \quad (23)$$

$$N_{Ed}/N_{b,z,Rd} + k_{zy} * M_{y,Ed}/M_{b,Rd} + k_{zz} * M_{z,Ed}/M_{z,Rd} = 0,09 + 0,00 + 0,48 = 0,58 \leq 1,0 \quad \text{Eq. 6.62} \quad \text{OK} \quad (24)$$

9- Rácios de Utilização

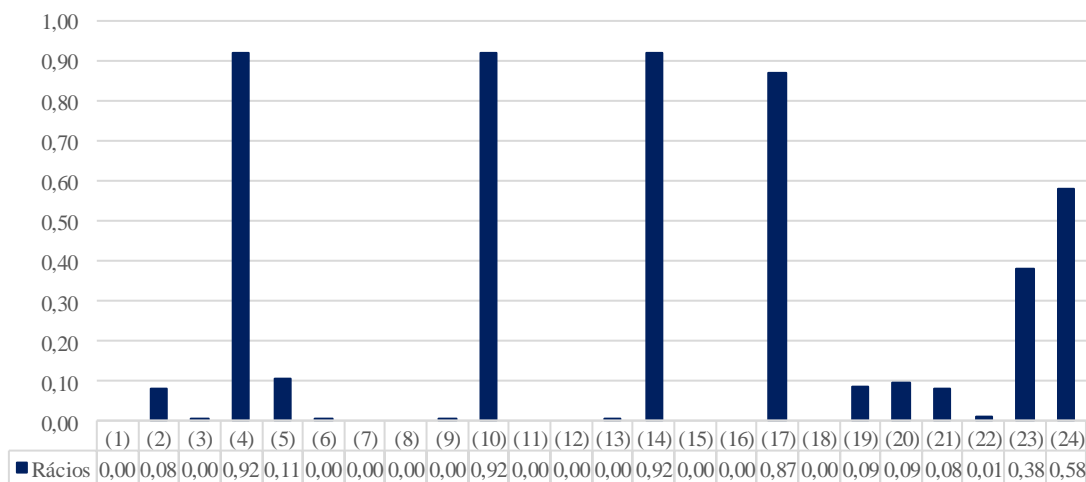


Figura 112 - Folha 3 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em "Excel" - Cordão Superior nº21

b) 2º Processo de Dimensionamento - Software "SAP2000"

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : 661 X Mid: -2,114 Combo: ELU(T+)_SC_I Design Type: Brace
Length: 1,559 Y Mid: -5,102 Shape: RHS 160X80X12,5 Frame Type: DCH-MRF
Loc : 0, Z Mid: 28,551 Class: Class 1 Rolled : No

Country=CEN Default Combination=Eq. 6.10 Reliability=Class 2
Interaction=Method 2 (Annex B) MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No
Consider Torsion? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes
Ignore Seismic Code? No

GammaM0=1, GammaM1=1, GammaM2=1,25
q=1,5 Omega=1, GammaOV=1,1
An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75 D/C Lim=0,95

Aeff=0,005 eNy=0, eNz=0,
A=0,005 Iyy=1,603E-05 iyy=0,055 Wel,yy=2,004E-04 Weff,yy=2,004E-04
It=1,153E-05 Izz=4,955E-06 izz=0,03 Wel,zz=1,239E-04 Weff,zz=1,239E-04
Iw=0, Iyz=0, h=0,16 Wpl,yy=2,614E-04 Av,y=0,002
E=210000000, fy=275000, fu=430000, Wpl,zz=1,539E-04 Av,z=0,004

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0,	-119,797	0,081	-37,055	0,563	-29,09	0,014

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.2.9.1 (6z))

D/C Ratio: $0,876 = 0,876 < 0,95$ OK
= (Mz,Ed/Mn,z,Rd) (EC3 6.2.9.1 (6z))

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag	
Axial	-119,797	1478,125	1478,125	238457,361	4225,381	1,	
	Npl,Rd	Nu,Rd					
	1478,125	1664,1					
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	c	0,49	13669,698	0,329	0,586	0,934	1381,137
MajorB (y-y)	c	0,49	13669,698	0,329	0,586	0,934	1381,137
Minor (z-z)	c	0,49	4225,381	0,591	0,771	0,79	1168,365
MinorB (z-z)	c	0,49	4225,381	0,591	0,771	0,79	1168,365
Torsional TF	c	0,49	4225,381	0,591	0,771	0,79	1168,365

MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	0,081	0,081	71,887	71,887	71,887	71,887
Minor (z-z)	-37,055	-37,055	42,324	42,324	42,324	

	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
LTB	d	0,76	0,134	0,484	1,	0,	4027,871

Factors	kw	C1	C2	C3
	1,	2,031	0,	0,963
	za	zs	zg	zz
	0,08	0,	0,08	0,

Factors	kyy	kyz	kzy	kzz
	0,566	0,315	0,339	0,525

	Ved Force	Vpl.Rd Capacity	Ved/Vpl.Rd Ratio	rho Factor
Major (z)	0,563	643,024	8,757E-04	1,
Minor (y)	29,09	317,543	0,092	1,

SHEAR DESIGN

	Ved Force	Ted Torsion	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check
Major (z)	0,563	0,014	643,024	0,001	OK
Minor (y)	29,09	0,014	317,543	0,092	OK

	Vpl,Rd Capacity	Eta Factor	LambdaBar Ratio	Chi Factor
Minor (y)	643,024	1,2	0,135	1,2
Major (y)	317,543	1,2	0,	1,

Figura 113 - Dimensionamento obtido no "SAP2000" - Cordão Superior nº21

c) 3º Processo de Dimensionamento - Software "SemiComp"

SEMICOMP Member Design

Cross-section type Rectangular hollow section ▾

Finishing Hot finished (EN 10210-2) ▾

Select from library (optional) RHS 160 x 80 x 12,5 ▾

Partial factors γ_M

$\gamma_{M0} = 1,00$

$\gamma_{M1} = 1,00$

Cross-section data

H = 160,0 [mm]

B = 80,0 [mm]

T = 12,5 [mm]

Material

Steel grade S275 ▾

$f_y = 275,0$ N/mm²

$E = 210000,0$ N/mm²

A [cm ²]	I_{yy} [cm ⁴]	I_{zz} [cm ⁴]	$W_{el,y}$ [cm ³]	$W_{el,z}$ [cm ³]	$W_{pl,y}$ [cm ³]	$W_{pl,z}$ [cm ³]
52,07	1485,41	464,68	185,68	116,17	247,21	146,41

Boundary conditions

$L_{Beam} = 1,559$ m Torsion restrained

$n_{fork} = 0$ [-] strong Axis buckling restrained

weak Axis Buckling restrained

I_t [cm⁴]

I_w [cm⁶]

0,00 0,00

Loading in z-x-plane

$N_{Ed} = -120,29$ kN

$q_{z,Ed}^{(*)} = 0,00$ kN/m

$M_{y,left,Ed} = 0,08$ kNm

$M_{y,right,Ed} = -0,80$ kNm

$P_{z,Ed}^{(*)} = 0,00$ kN

Distance of Loading to shear center

$z_{Si} = 0,00$ mm

Loading in y-x-plane

$q_{y,Ed}^{(*)} = 0,00$ kN/m

$M_{z,left,Ed} = -37,04$ kNm

$M_{z,right,Ed} = 8,95$ kNm

$P_{y,Ed}^{(*)} = 0,00$ kN

Calculate Forces!

$M_{cr} = 0,00$ kNm Enter Mcr manually

$M_{cr,0} = 0,00$ kNm Use LTBeam

Specify path of LTBeam.exe file:

C:\Program Files (x86)\LTBeam_v1010\LTBeam.ex

Note: LTBeam is a tool developed by CTICM to calculate the lateral torsional buckling moment of beams. You can download it for free at www.cticm.com.

Definition of axes

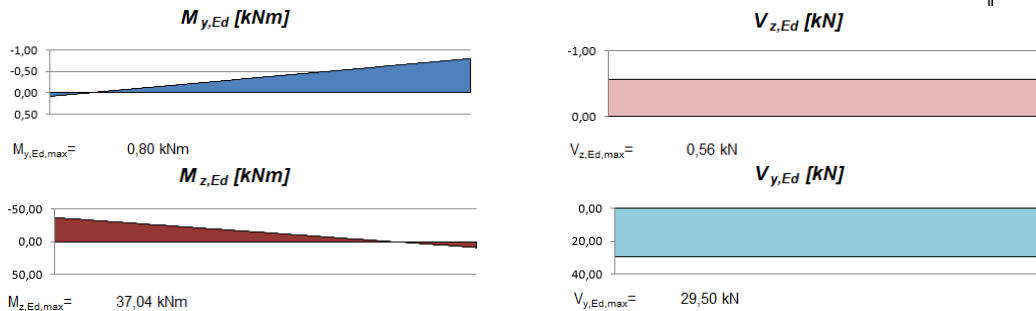


Figura 114 - Folha 1 de 3 - Dimensionamento no "SemiComp" - Cordão superior nº21

SEMICOMP Cross-Section Check

Choose method EN 1993-1-1 (elastic Resistance) ▾

$N_{Ed} =$ -120,290 kN	$V_{z,Ed} =$ 0,570 kN	Perform cross-section checks
$M_{y,Ed} =$ 0,080 kNm	$V_{y,Ed} =$ -29,840 kN	
$M_{z,Ed} =$ -37,040 kNm		

Reference values for classification

$c/t_w =$ 9,800	$\alpha_{web} =$ 1,000	$\psi_{web} =$ 0,998	$\varepsilon =$ 0,924
$c/t_f =$ 3,400	$\alpha_{flange} =$ 0,734	$\psi_{flange} =$ -0,756	$\varepsilon_{mod, c/3/4} =$ NaN

Boundaries

	Class 1	Class 2	Class 3
$c/t_w \leq c/t_{w, max} =$	30,506	35,128	38,850
$c/t_f \leq c/t_{f, max} =$	42,882	49,379	92,331

Cross section class = 1

Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations.

$M_{pl,y,Rd} =$ 67,98 kNm	$M_{pl,z,Rd} =$ 40,26 kNm	$V_{pl,z,Rd} =$ 551,18 kN
$M_{el,y,Rd} =$ 51,06 kNm	$M_{el,z,Rd} =$ 31,95 kNm	$V_{pl,y,Rd} =$ 275,59 kN
$N_{Rd} =$ 1432,02 kN		

EN 1993-1-1, 6.2.3 / 6.2.4

Tension or compression

$U_{(6.5)/(6.9)} =$ 0,084 $\leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.5

Bending moment

$U_{strong A.} =$ 0,001 $\leq 1,0$ ok

$U_{weak A.} =$ 0,920 $\leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.6

Shear

$U_{z-plastic} =$ 0,001 $\leq 1,0$ ok $U_{y-plastic} =$ 0,108 $\leq 1,0$ ok

$U_{z-elastic} =$ 0,001 $\leq 1,0$ ok $U_{y-elastic} =$ 0,118 $\leq 1,0$ ok

$h_w/t_w =$ 10,800 $\leq 72\varepsilon/\eta =$ 55,465 ok

EN 1993-1-1, 6.2.9

Bending and axial force

$U_{(6.41)/(6.42)} =$ 0,870 $\leq 1,0$ ok $UF =$ 0,920

Comment: Shear Interaction is not considered within this software tool. If the utilization for shear is higher than 0.5, an additional check for shear interaction is necessary.

Figura 115 - Folha 2 de 3 - Dimensionamento no "SemiComp" - Cordão superior nº21

SEMICOMP Member Check

Choose method for member check

Method 2 (EN 1993-1-1 Annex B) ▾

Choose method for cross-section resistance

EN 1993-1-1:2010-12 ▾

Perform member design check

Section classification for member design check (based on 1. order cross-section forces)

Reference values for classification in the worst section along the member

$c/t_w = 9,800$	$\alpha_{web} = 1,000$	$\psi_{web} = 0,815$	$\varepsilon = 0,924$
$c/t_f = 3,400$	$\alpha_{flange} = 1,000$	$\psi_{flange} = 0,918$	

Boundaries

	Class 1	Class 2	Class 3
$c/t_w \leq c/t_{w, max} =$	30,506	35,128	41,351
$c/t_f \leq c/t_{f, max} =$	30,506	35,128	39,908

Member class = 1

Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations. The user should check if parts of member are Class 4 in the "Additional info"-sheet.

Member Check

$N_{Rd} = 1432,019$ kN	$M_{pl,y,Rd} = 67,982$ kNm	$N_{Ed} = -120,290$ kN
$M_{y,Rd} = 67,982$ kNm	$M_{pl,z,Rd} = 40,264$ kNm	$M_{y,Ed,max} = 0,800$ kNm
$M_{z,Rd} = 40,264$ kNm	$M_{el,y,Rd} = 51,061$ kNm	$M_{z,Ed,max} = 37,040$ kNm
	$M_{el,z,Rd} = 31,947$ kNm	

Strong axis buckling	Weak axis buckling	Lateral torsional buckling
$L_{cr,y} = 1,559$ m	$L_{cr,z} = 1,559$ m	$M_{cr} = inf.$ kNm
$N_{cr,y} = 12666,958$ kN	$N_{cr,z} = 3962,606$ kN	$\alpha_{LT} = 0,00$ [-]
$\alpha_y = 0,21$ [-]	$\alpha_z = 0,21$ [-]	$\lambda_{LT} = 0,000$ [-]
$\lambda_y = 0,336$ [-]	$\lambda_z = 0,601$ [-]	$\chi_{LT,mod} = 1,000$ [-]
$\chi_y = 0,969$ [-]	$\chi_z = 0,890$ [-]	$f_{mod} = 0,000$ [-]

EN 1993-1-1, 6.3.3

Uniform member in bending and axial compression

Eq. (6.61): $U = 0,382 \leq 1,0$ ok	$C_{my} = 0,560$ [-]	$k_{yy} = 0,567$
Eq. (6.62): $U = 0,579 \leq 1,0$ ok	$C_{mz} = 0,503$ [-]	$k_{yz} = 0,313$
	$C_{mLT} = 0,560$ [-]	$k_{zy} = 0,340$
		$k_{zz} = 0,522$

Cross-section check at each end of the member

Left end: $U = 0,920 \leq 1,0$ ok	UF = 0,920
Right end: $U = 0,222 \leq 1,0$ ok	UF = 0,281

Additional member checks

EN 1993-1-1, 6.3.1

Strong axis flexural buckling check

Eq. (6.46): $N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0,087 \leq 1,0$ **ok**

Weak axis flexural buckling check

Eq. (6.46): $N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0,094 \leq 1,0$ **ok**

EN 1993-1-1, 6.3.2

Lateral torsional buckling

Eq. (6.54): $M_{Ed}/M_{b,Rd} = 0,000 \leq 1,0$ **ok**

Figura 116 - Folha 3 de 3 - Dimensionamento no "SemiComp" - Cordão superior nº21

d) Comparação de resultados dos três procedimentos

Na Tabela 88 apresenta-se os resultados do estudo comparativo.

Tabela 88 - Quadro comparativo - Barra nº21 do cordão superior

Rádios de ELU ou Parâmetro	Rotina de					
	Cálculo	“SAP2000”	Δ (%)	“SemiComp”	Δ (%)	
	“Excel”					
Esforço Axial de Compressão	0,08	0,08	0,0	0,08	0,0	
Flexão Composta (N+M)	Eixo y-y	0,0	0,0	-	-	
	Eixo z-z	0,92	0,88	4,3	-	
Flexão Composta Desviada com Esforço Transverso	0,87	-	-	0,87	0,0	
Encurvadura em colunas	Eixo y-y	0,09	0,09	0,0	0,40	0,0
	Eixo z-z	0,09	0,10	1,1	0,43	0,0
Coeficientes de Momento Uniforme	C_{my}	0,56	-	-	0,56	0,0
	C_{mz}	0,50	-	-	0,50	0,0
	C_{mLT}	0,56	-	-	0,56	0,0
Fatores de Interação k_{ij}	k_{yy}	0,57	0,57	0,0	0,57	0,0
	k_{yz}	0,31	0,32	3,2	0,31	0,0
	k_{zy}	0,34	0,34	0,0	0,34	0,0
	k_{zz}	0,52	0,53	1,9	0,52	0,0
Encurvadura em colunas-vigas	Eq. 6.61	0,38	-	-	0,38	0,0
	Eq. 6.62	0,58	0,58	0,00	0,58	0,0

Nota: Os três processos de dimensionamento conduzem a rácios semelhantes.

- **Esforços de cálculo**

A Figura 117 representa o diagrama de esforço axial mais desfavorável que serviu para o dimensionamento da barra nº21 das diagonais.



Figura 117 - Diagrama de esforço axial

a) 1º Processo de Dimensionamento - Rotina de cálculo em “Excel”

Relatório de Dimensionamento de Elementos Metálicos								
1- Características do Elemento								
Função Estrutural do Elemento: Asnas da Cobertura do Stock								
Tipo de Elemento: Coluna								
Comprimento do Elemento= 2,34 m								
Número do Elemento no modelo SAP: 1687								
Combinação Condicionante: ELU_(W)_T-								
Coeficientes Parciais de Segurança γ_{M1} : $\gamma_{M0}=1,00$ $\gamma_{M1}=1,00$ $\gamma_{M2}=1,25$								
2- Esforços de Cálculo Atuantes								
Secção Apoio Esquerdo			Secção do Meio Vão			Secção Apoio Direito		
$N_{Ed} =$	-164,67 kN		$N_{Ed} =$	-164,67 kN		$N_{Ed} =$	-164,67 kN	
$V_{y,Ed} =$	0 kN		$V_{y,Ed} =$	0 kN		$V_{y,Ed} =$	0 kN	
$V_{z,Ed} =$	0 kN		$V_{z,Ed} =$	0 kN		$V_{z,Ed} =$	0 kN	
$M_{y,Ed} =$	0 kN.m		$M_{y,Ed} =$	0 kN.m		$M_{y,Ed} =$	0 kN.m	
$M_{z,Ed} =$	0 kN.m		$M_{z,Ed} =$	0 kN.m		$M_{z,Ed} =$	0 kN.m	
3- Propriedades do Material								
Classe do Aço: S275 H			$f_y =$	275 N/mm ²	$G =$	81000 N/mm ²		
			$f_u =$	430 N/mm ²	$E =$	210000 N/mm ²		
4- Propriedades Geométricas da Secção Transversal								
Perfil: RHS 160x80x5			$h =$	160 mm	$b =$	80 mm		
$t =$	5 mm		$r_{ext} =$	7,5 mm	$r_{int} =$	2,5 mm		
$A =$	22,70 cm ²		$A_{vz} =$	15,13 cm ²	$A_{vy} =$	7,57 cm ²		
$I_{yy} =$	744,00 cm ⁴		$i_y =$	5,72 cm	$I_{zz} =$	249,00 cm ⁴		
$i_z =$	3,31 cm		$W_{pl,y} =$	116,00 cm ³	$W_{pl,z} =$	71,10 cm ³		
$W_{el,y} =$	93,00 cm ³		$W_{el,z} =$	62,25 cm ³	$I_t =$	600,00 cm ⁴		
$I_w =$	0,00 x10 ⁻³ cm ⁶		$y_0 =$	0,00 mm	$z_0 =$	0,00 mm		
5- Classificação da Secção Transversal								
$\epsilon:$	0,92	Componente à Flexão			Componente à Compressão			
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3	
$c/t_w:$	29,00 ≤	66,56	76,73	114,63	30,51	35,13	38,83	
$c/t_f:$	13,00 ≤	-	-	-	30,51	35,13	38,83	
Alma à Flexão e à Compressão				Classificação - Resumo				
	$\Psi_{web,left}$	$\Psi_{web,right}$	Classe 1	Classe 2	Classe 3	F	C	F+C
se	-	-	-	-	38,83	1	1	1
smv	-	-	-	-	38,83	1	1	1
sd	-	-	-	-	38,83	1	1	1
SemiComp:	-	-	Classe Semi-Comp:			-	Classe Adotada:	
								1
6- Esforços Resistentes de Cálculo								
$N_{pl,Rd} =$	624,3 kN	$N_{u,Rd} =$	- kN	$N_{net,Rd} =$	- kN			
$N_{t,Rd} =$	624,3 kN	$N_{c,Rd} =$	624,3 kN	$V_{c,y,Rd} =$	120,1 kN			
$V_{c,z,Rd} =$	240,3 kN	$M_{c,y,Rd} =$	31,9 kN.m	$M_{c,z,Rd} =$	19,6 kN.m			
$M_{y,V,Rd} =$	31,9 kN.m	$M_{z,V,Rd} =$	19,6 kN.m	$M_{N,y,Rd} =$	31,3 kN.m			
$M_{N,z,Rd} =$	19,6 kN.m	$M_{NV,y,Rd} =$	31,3 kN.m	$M_{NV,z,Rd} =$	19,6 kN.m			
$N_{b,y,Rd} =$	582,5 kN	$N_{b,z,Rd} =$	491,7 kN	$N_{b,T,Rd} =$	624,3 kN			
$M_{b,Rd} =$	31,9 kN.m							

Figura 118 - Folha 1 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em “Excel” - Diagonal nº21

7- Resistência da Secção Transversal		Secção Apoio Esquerdo	
NP EN 1993-1-1, 6.2.3 - Tração			
$N_{Ed}/N_{t,Rd} =$	$\leq 1,0$	-	(1)
NP EN 1993-1-1, 6.2.4 - Compressão			
$N_{Ed}/N_{c,Rd} =$	0,26 $\leq 1,0$	OK	(2)
NP EN 1993-1-1, 6.2.5 - Momento Fletor			
$M_{y,Ed}/M_{c,y,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	(3)
$M_{z,Ed}/M_{c,z,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	(4)
NP EN 1993-1-1, 6.2.6 - Esforço Transverso			
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (5)
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (6)
$\tau_{y,Ed}/(f_y/(3^{0,5}\gamma_{M0})) =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y (7)
$\tau_{z,Ed}/(f_y/(3^{0,5}\gamma_{M0})) =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z (8)
Encurvadura por Esforço Transverso ($h_w/t_w \leq 72\varepsilon/\eta$): Desprezar Em que $\eta = 1,0$			
NP EN 1993-1-1, 6.2.8 - Flexão com Esforço Transverso			
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} =$	0,00 $\leq 0,5$	Esforço Transverso sem significado	
$M_{y,Ed}/M_{y,V,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (9)
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} =$	0,00 $\leq 0,5$	Esforço Transverso sem significado	
$M_{z,Ed}/M_{z,V,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (10)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y (11)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z (12)
NP EN 1993-1-1, 6.2.9 - Flexão Composta			
$N_{Ed}/N_{pl,Rd} =$	0,26 $\leq 0,25$	Considerar efeito do Esforço Axial	
$N_{Ed}/h_w t_w f_y =$	0,83 $\leq 0,50$		
$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (13)
$N_{Ed}/h_w t_w f_y =$	0,83 $\leq 1,0$	Esforço Axial sem significado	
$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (14)
$\sigma_{Ed}/f_y =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y (15)
$\sigma_{Ed}/f_y =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z (16)
NP EN 1993-1-1, 6.2.10 - Flexão Composta Desviada com Esforço Transverso			
$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^a + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^b =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (17)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 (18)

Figura 119 - Folha 2 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em "Excel" - Diagonal nº21

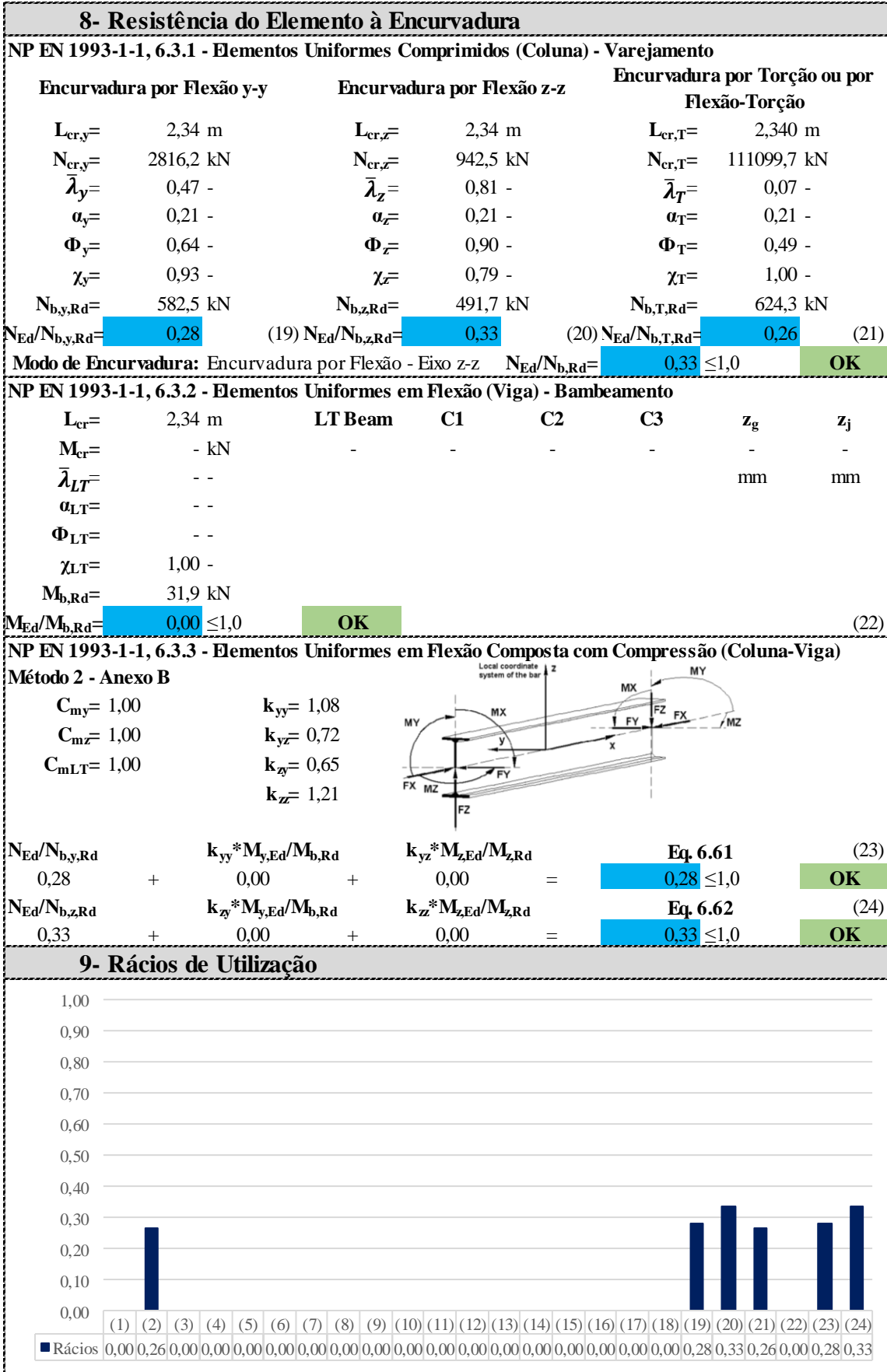


Figura 120 - Folha 3 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em "Excel" - Diagonal nº21.

b) 2º Processo de Dimensionamento - Software "SAP2000"

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : 1687 X Mid: -1,917 Combo: ELU(W)_T- Design Type: Column
Length: 2,344 Y Mid: -4,627 Shape: RHS 160X80X5 Frame Type: DCH-MRF
Loc : 0, Z Mid: 27,843 Class: Class 1 Rolled : No

Country=CEN Default Combination=Eq. 6.10 Reliability=Class 2
Interaction=Method 2 (Annex B) MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No
Consider Torsion? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes
Ignore Seismic Code? No

GammaM0=1, GammaM1=1, GammaM2=1,25
q=1,5 Omega=1, GammaOV=1,1
An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75 D/C Lim=0,95

Aeff=0,002 eNy=0, eNz=0,
A=0,002 Iyy=7,619E-06 iyy=0,058 Wel,yy=9,524E-05 Weff,yy=9,524E-05
It=5,876E-06 Izz=2,539E-06 izz=0,033 Wel,zz=6,348E-05 Weff,zz=6,348E-05
Iw=0, Iyz=0, h=0,16 Wpl,yy=1,183E-04 Av,y=8,000E-04
E=210000000, fy=275000, fu=430000, Wpl,zz=7,225E-05 Av,z=0,002

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0,	-164,88	0,	0,	0,	0,021	0,056

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.3.3(4)-6.62)

D/C Ratio: 0,458 = 0,458 + 0, + 0, < 0,95 OK
= $\frac{Ned}{(Chi_z NRk/GammaM1)} + kzy \frac{(My,Ed+NEd eNy)}{(Chi_LT My,Rk/GammaM1)} + kzz \frac{(Mz,Ed+NEd eNz)}{(Mz,Rk/GammaM1)}$ (EC3 6.3.3(4)-6.62)

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag	
Axial	-207,408	632,5	632,5	107450,74	958,081	1,	
	Npl,Rd	Nu,Rd					
	632,5	712,08					
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	b	0,34	2874,871	0,469	0,656	0,898	567,779
MajorB (y-y)	b	0,34	2874,871	0,469	0,656	0,898	567,779
Minor (z-z)	b	0,34	958,081	0,813	0,934	0,717	453,314
MinorB (z-z)	b	0,34	958,081	0,813	0,934	0,717	453,314
Torsional TF	b	0,34	958,081	0,813	0,934	0,717	453,314

MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity	
Major (y-y)	0,	0,	32,519	32,519	29,14	32,519	
Minor (z-z)	0,	-0,012	19,869	19,869	15,75		
	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
LTB	d	0,76	0,16	0,498	1,	0,	1270,435
	Factors	kw	C1	C2	C3		
		1,	1,884	0,	0,941		
		za	zs	zg	zz	zj	
		0,08	0,	0,08	0,	0,	
		kyy	kyz	kzy	kzz		
Factors		1,098	0,73	0,659	1,216		
	Ved Force	Vpl.Rd Capacity	Ved/Vpl.Rd Ratio	rho Factor			
Major (z)	0,	285,788	0,	1,			
Minor (y)	0,021	127,017	1,622E-04	1,			

SHEAR DESIGN

	Ved Force	Ted Torsion	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check
Major (z)	0,	0,056	285,788	0,	OK
Minor (y)	0,021	0,056	127,017	0,	OK
	Vpl,Rd Capacity	Eta Factor	Lambdabar Ratio	Chi Factor	
Minor (y)	285,788	1,2	0,376	1,2	
Major (y)	127,017	1,2	0,	1,	

Figura 121 - Dimensionamento no "SAP2000" - Cordão Superior nº21

c) 3º Processo de Dimensionamento - Software "SemiComp"

SEMICOMP Member Design

Cross-section type	Rectangular hollow section ▾	Partial factors γ_M
Finishing	Hot finished (EN 10210-2) ▾	$\gamma_{M0} = 1,00$
Select from library (optional)	RHS 160 x 80 x 5 ▾	$\gamma_{M1} = 1,00$

Cross-section data		Material	
H =	160,0 [mm]	Steel grade	S275 ▾
B =	80,0 [mm]	$f_y =$	275,0 [N/mm ²]
T =	5,0 [mm]	E =	210000,0 [N/mm ²]

A [cm ²]	I_{yy} [cm ⁴]	I_{zz} [cm ⁴]	$W_{el,y}$ [cm ³]	$W_{el,z}$ [cm ³]	$W_{pl,y}$ [cm ³]	$W_{pl,z}$ [cm ³]
22,73	744,00	249,28	93,00	62,32	116,05	71,13

Boundary conditions		I_t [cm ⁴]	I_w [cm ⁶]
$L_{Beam} =$	2,340 m	<input checked="" type="checkbox"/> Torsion restrained	0,00
$n_{fork} =$	0 [-]	<input type="checkbox"/> strong Axis buckling restrained	0,00
		<input type="checkbox"/> weak Axis Buckling restrained	

Loading in z-x-plane $N_{Ed} =$ -164,67 kN $q_{z,Ed}^{(*)} =$ 0,00 kN/m $M_{y,left,Ed} =$ 0,00 kNm $M_{y,right,Ed} =$ 0,00 kNm $P_{z,Ed}^{(*)} =$ 0,00 kN Distance of Loading to shear center $z_{Si} =$ 0,00 mm	Loading in y-x-plane $q_{y,Ed}^{(*)} =$ 0,00 kN/m $M_{z,left,Ed} =$ 0,00 kNm $M_{z,right,Ed} =$ 0,00 kNm $P_{v,Ed}^{(*)} =$ 0,00 kN
<input type="button" value="Calculate Forces!"/>	

$M_{cr} =$	0,00 kNm	<input checked="" type="radio"/> Enter M_{cr} manually
$M_{cr,0} =$	0,00 kNm	<input type="radio"/> Use LTBeam

Note: LTBeam is a tool developed by CTICM to calculate the lateral torsional buckling moment of beams. You can download it for free at www.cticm.com.

Specify path of LTBeam.exe file:
C:\Program Files (x86)\LTBeam_v1010\LTBeam.exe

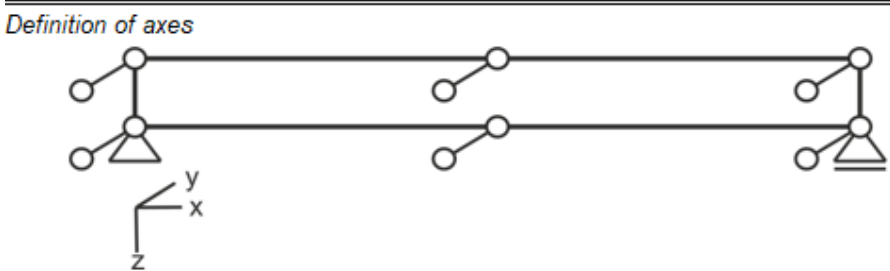


Figura 122 - Folha 1 de 3 - Dimensionamento no "SemiComp" - Diagonal n°21

SEMICOMP Cross-Section Check

Choose method EN 1993-1-1 (elastic Resistance) ▾

$N_{Ed} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="-164,670"/>	$V_{z,Ed} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="0,000"/>	Perform cross-section checks
$M_{y,Ed} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="0,000"/>	$V_{y,Ed} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="0,000"/>	
$M_{z,Ed} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="0,000"/>			

Reference values for classification

$c/t_w =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="29,000"/>	$\alpha_{web} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="1,000"/>	$\psi_{web} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="1,000"/>	$\varepsilon =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="0,924"/>
$c/t_f =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="13,000"/>	$\alpha_{flange} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="1,000"/>	$\psi_{flange} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="1,000"/>	$\varepsilon_{mod, c/3/4} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="NaN"/>

Boundaries

	Class 1	Class 2	Class 3
$c/t_w \leq c/t_{w, max} =$	30,506	35,128	38,825
$c/t_f \leq c/t_{f, max} =$	30,506	35,128	38,825

Cross section class = 1

Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations.

$M_{pl,y,Rd} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="31,91"/>	$M_{pl,z,Rd} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="19,56"/>	$V_{pl,z,Rd} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="240,61"/>
$M_{el,y,Rd} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="25,58"/>	$M_{el,z,Rd} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="17,14"/>	$V_{pl,y,Rd} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="120,30"/>
$N_{Rd} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="625,12"/>				

EN 1993-1-1, 6.2.3 / 6.2.4

Tension or compression

$U_{(6.5)/(6.9)} =$ $\leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.5

Bending moment

$U_{strong A} =$ $\leq 1,0$ ok

$U_{weak A} =$ $\leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.6

Shear

$U_{z-plastic} =$ $\leq 1,0$ ok $U_{y-plastic} =$ $\leq 1,0$ ok

$U_{z-elastic} =$ $\leq 1,0$ ok $U_{y-elastic} =$ $\leq 1,0$ ok

$h_w/t_w =$ $\leq 72\varepsilon/\eta =$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.9

Bending and axial force

$U_{(6.41)/(6.42)} =$ $\leq 1,0$ ok $UF =$

Comment: Shear Interaction is not considered within this software tool. If the utilization for shear is higher than 0.5, an additional check for shear interaction is necessary.

Figura 123 - Folha 2 de 3 - Dimensionamento no "SemiComp" - Diagonal nº21

SEMICOMP Member Check			
Choose method for member check	Choose method for cross-section resistance	Perform member design check	
Method 2 (EN 1993-1-1 Annex B) ▾	EN 1993-1-1:2010-12 ▾		
Section classification for member design check (based on 1. order cross-section forces)			
Reference values for classification in the worst section along the member			
$c/t_w = 29,000$	$\alpha_{web} = 1,000$	$\psi_{web} = 1,000$	
$c/t_f = 13,000$	$\alpha_{flange} = 1,000$	$\psi_{flange} = 1,000$	
$\varepsilon = 0,924$			
Boundaries			
$c/t_w \leq c/t_{w, max} =$	Class 1: 30,506	Class 2: 35,128	
$c/t_f \leq c/t_{f, max} =$	Class 1: 30,506	Class 2: 35,128	
Member class = 1			
Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations. The user should check if parts of member are Class 4 in the "Additional info"-sheet.			
Member Check			
$N_{Rd} = 625,123$ kN	$M_{pl,y,Rd} = 31,915$ kNm	$N_{Ed} = -164,670$ kN	
$M_{y,Rd} = 31,915$ kNm	$M_{pl,z,Rd} = 19,560$ kNm	$M_{y,Ed,max} = 0,000$ kNm	
$M_{z,Rd} = 19,560$ kNm	$M_{el,y,Rd} = 25,575$ kNm	$M_{z,Ed,max} = 0,000$ kNm	
$M_{el,z,Rd} = 17,138$ kNm			
Strong axis buckling			
$L_{cr,y} = 2,340$ m	Weak axis buckling		
$N_{cr,y} = 2816,185$ kN	$L_{cr,z} = 2,340$ m	Lateral torsional buckling	
$\alpha_y = 0,21$ [-]	$N_{cr,z} = 943,574$ kN	$M_{cr} = inf.$ kNm	
$\lambda_y = 0,471$ [-]	$\alpha_z = 0,21$ [-]	$\alpha_{LT} = 0,00$ [-]	
$\chi_y = 0,933$ [-]	$\lambda_z = 0,814$ [-]	$\lambda_{LT} = 0,000$ [-]	
	$\chi_z = 0,788$ [-]	$\chi_{LT,mod} = 1,000$ [-]	
		$f_{mod} = 0,000$ [-]	
EN 1993-1-1, 6.3.3			
Uniform member in bending and axial compression		Global interaction factors	
Eq. (6.61): $U = 0,282 \leq 1,0$ ok	$C_{my} = 0,000$ [-]	$k_{yy} = 0,000$	
Eq. (6.62): $U = 0,334 \leq 1,0$ ok	$C_{mz} = 0,000$ [-]	$k_{yz} = 0,000$	
	$C_{mLT} = 0,000$ [-]	$k_{zy} = 0,000$	
		$k_{zz} = 0,000$	
Cross-section check at each end of the member			
Left end: $U = 0,263 \leq 1,0$ ok	$UF = 0,263$		
Right end: $U = 0,263 \leq 1,0$ ok	$UF = 0,263$		
Additional member checks			
EN 1993-1-1, 6.3.1			
Strong axis flexural buckling check			
Eq. (6.46): $N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0,282 \leq 1,0$ ok			
Weak axis flexural buckling check			
Eq. (6.46): $N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0,334 \leq 1,0$ ok			
EN 1993-1-1, 6.3.2			
Lateral torsional buckling			
Eq. (6.54): $M_{Ed}/M_{b,Rd} = 0,000 \leq 1,0$ ok			

Figura 124 - Folha 3 de 3 - Dimensionamento no "SemiComp" - Diagonal nº21

d) Comparação de resultados dos três procedimentos

Tabela 89 - Quadro comparativo - Barra nº21 das diagonais

Rácios de ELU	Rotina de		Δ (%)	“SemiComp”	Δ (%)
	Cálculo	“SAP2000”			
Esforço Axial de Compressão	0,26	0,26	0,0	0,26	0,0
Encurvadura em colunas	Eixo y-y	0,28	28,6	0,28	0,0
	Eixo z-z	0,33	38,8	0,33	0,0

- **Esforços de cálculo**

A Figura 125 representa o diagrama do esforço axial para a combinação mais desfavorável ELU(T-)_SC_I da barra nº21 dos prumos.

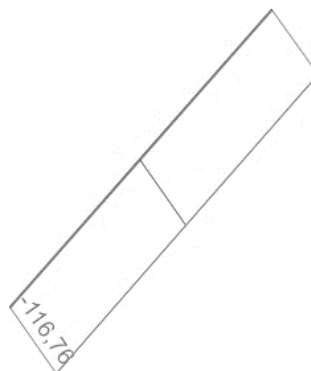


Figura 125 - Diagrama de esforço axial

a) 1º Processo de Dimensionamento - Rotina de cálculo em “Excel”

Relatório de Dimensionamento de Elementos Metálicos								
1- Características do Elemento								
Função Estrutural do Elemento: Prumo da Asna								
Tipo de Elemento: Coluna								
Comprimento do Elemento= 1,75 m								
Número do Elemento no modelo SAP: 1350								
Combinação Condicionante: ELU(T-)_SC_I								
Coeficientes Parciais de Segurança γ_{M1} : $\gamma_{M0}=1,00$ $\gamma_{M1}=1,00$ $\gamma_{M2}=1,25$				s = 160mm				
2- Esforços de Cálculo Atuantes								
Secção Apoio Esquerdo			Secção do Meio Vão			Secção Apoio Direito		
N_{Ed} =	-116,76 kN		N_{Ed} =	-116,76 kN		N_{Ed} =	-116,76 kN	
$V_{y,Ed}$ =	0 kN		$V_{y,Ed}$ =	0 kN		$V_{y,Ed}$ =	0 kN	
$V_{z,Ed}$ =	0 kN		$V_{z,Ed}$ =	0 kN		$V_{z,Ed}$ =	0 kN	
$M_{y,Ed}$ =	0 kN.m		$M_{y,Ed}$ =	0 kN.m		$M_{y,Ed}$ =	0 kN.m	
$M_{z,Ed}$ =	0 kN.m		$M_{z,Ed}$ =	0 kN.m		$M_{z,Ed}$ =	0 kN.m	
3- Propriedades do Material								
Classe do Aço: S275 H			f_y =	275 N/mm ²	G =	81000 N/mm ²		
			f_u =	430 N/mm ²	E =	210000 N/mm ²		
4- Propriedades Geométricas da Secção Transversal								
Perfis: 2 SHS 40x5			h =	40 mm	b =	40 mm		
t =	5 mm		r_{ext} =	7,5 mm	r_{int} =	2,5 mm		
A =	13,46 cm ²		A_{vz} =	6,73 cm ²	A_{vy} =	6,73 cm ²		
I_{yy} =	26,80 cm ⁴		i_y =	1,41 cm	I_z =	1372,80 cm ⁴		
i_z =	10,10 cm		$W_{pl,y}$ =	17,32 cm ³	$W_{pl,z}$ =	134,60 cm ³		
$W_{el,y}$ =	13,40 cm ³		$W_{el,z}$ =	137,28 cm ³	I_t =	45,00 cm ⁴		
I_w =	0,00 x10 ⁻³ cm ⁶		y_0 =	0,00 mm	z_0 =	0,00 mm		
5- Classificação da Secção Transversal								
ϵ :	0,92		Componente à Flexão			Componente à Compressão		
			Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3
c/t_w :	5,00	≤	66,56	76,73	114,63	30,51	35,13	38,83
c/t_f :	5,00	≤	-	-	-	30,51	35,13	38,83
			Alma à Flexão e à Compressão			Classificação - Resumo		
	$\Psi_{web,left}$	$\Psi_{web,right}$	Classe 1	Classe 2	Classe 3	F	C	F+C
se	-	-	-	-	38,83	1	1	1
smv	-	-	-	-	38,83	1	1	1
sd	-	-	-	-	38,83	1	1	1
SemiComp:	-	-	Classe Semi-Comp:			-	Classe Adotada:	
								1
6- Esforços Resistentes de Cálculo								
$N_{pl,Rd}$ =	370,2 kN		$N_{u,Rd}$ =	- kN	$N_{net,Rd}$ =	- kN		
$N_{t,Rd}$ =	370,2 kN		$N_{c,Rd}$ =	370,2 kN	$V_{c,y,Rd}$ =	106,9 kN		
$V_{c,z,Rd}$ =	106,9 kN		$M_{c,y,Rd}$ =	4,8 kN.m	$M_{c,z,Rd}$ =	37,0 kN.m		
$M_{y,V,Rd}$ =	4,8 kN.m		$M_{z,V,Rd}$ =	37,0 kN.m	$M_{N,y,Rd}$ =	4,3 kN.m		
$M_{N,z,Rd}$ =	37,0 kN.m		$M_{NV,y,Rd}$ =	4,3 kN.m	$M_{NV,z,Rd}$ =	37,0 kN.m		
$N_{b,y,Rd}$ =	149,6 kN		$N_{b,z,Rd}$ =	370,2 kN	$N_{b,T,Rd}$ =	359,6 kN		
$M_{b,Rd}$ =	4,8 kN.m							

Figura 126 - Folha 1 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em “Excel” - Prumo nº21

7- Resistência da Seção Transversal	Secção do Meio Vão
NP EN 1993-1-1, 6.2.3 - Tração	
$N_{Ed}/N_{t,Rd} = - \leq 1,0$	- (1)
NP EN 1993-1-1, 6.2.4 - Compressão	
$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0,32 \leq 1,0$	OK (2)
NP EN 1993-1-1, 6.2.5 - Momento Fletor	
$M_{y,Ed}/M_{c,y,Rd} = 0,00 \leq 1,0$	OK (3)
$M_{z,Ed}/M_{c,z,Rd} = 0,00 \leq 1,0$	OK (4)
NP EN 1993-1-1, 6.2.6 - Esforço Transverso	
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} = 0,00 \leq 1,0$	OK Classe 1 e 2 (5)
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} = 0,00 \leq 1,0$	OK Classe 1 e 2 (6)
$\tau_{y,Ed}/(f_y/(3^{0,5}\gamma_{M0})) = - \leq 1,0$	- Classe 3 Eixo y-y (7)
$\tau_{z,Ed}/(f_y/(3^{0,5}\gamma_{M0})) = - \leq 1,0$	- Classe 3 Eixo z-z (8)
Encurvatura por Esforço Transverso ($h_w/t_w \leq 72\varepsilon/\eta$): Desprezar Em que $\eta = 1,0$	
NP EN 1993-1-1, 6.2.8 - Flexão com Esforço Transverso	
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} = 0,00 \leq 0,5$	Esforço Transverso sem significado
$M_{y,Ed}/M_{y,v,Rd} = 0,00 \leq 1,0$	OK Classe 1 e 2 (9)
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} = 0,00 \leq 0,5$	Esforço Transverso sem significado
$M_{z,Ed}/M_{z,v,Rd} = 0,00 \leq 1,0$	OK Classe 1 e 2 (10)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 = - \leq 1,0$	- Classe 3 Eixo y-y (11)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 = - \leq 1,0$	- Classe 3 Eixo z-z (12)
NP EN 1993-1-1, 6.2.9 - Flexão Composta	
$N_{Ed}/N_{pl,Rd} = 0,32 \leq 0,25$	Considerar efeito do Esforço Axial
$N_{Ed}/h_w t_w f_y = 3,40 \leq 0,50$	Considerar efeito do Esforço Axial
$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} = 0,00 \leq 1,0$	OK Classe 1 e 2 (13)
$N_{Ed}/h_w t_w f_y = 3,40 \leq 1,0$	Considerar efeito do Esforço Axial
$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} = 0,00 \leq 1,0$	OK Classe 1 e 2 (14)
$\sigma_{Ed}/f_y = - \leq 1,0$	- Classe 3 Eixo y-y (15)
$\sigma_{Ed}/f_y = - \leq 1,0$	- Classe 3 Eixo z-z (16)
NP EN 1993-1-1, 6.2.10 - Flexão Composta Desviada com Esforço Transverso	
$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^a + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^b = 0,00 \leq 1,0$	OK Classe 1 e 2 (17)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 = - \leq 1,0$	- Classe 3 (18)

Figura 127 - Folha 2 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em "Excel" - Prumo nº21

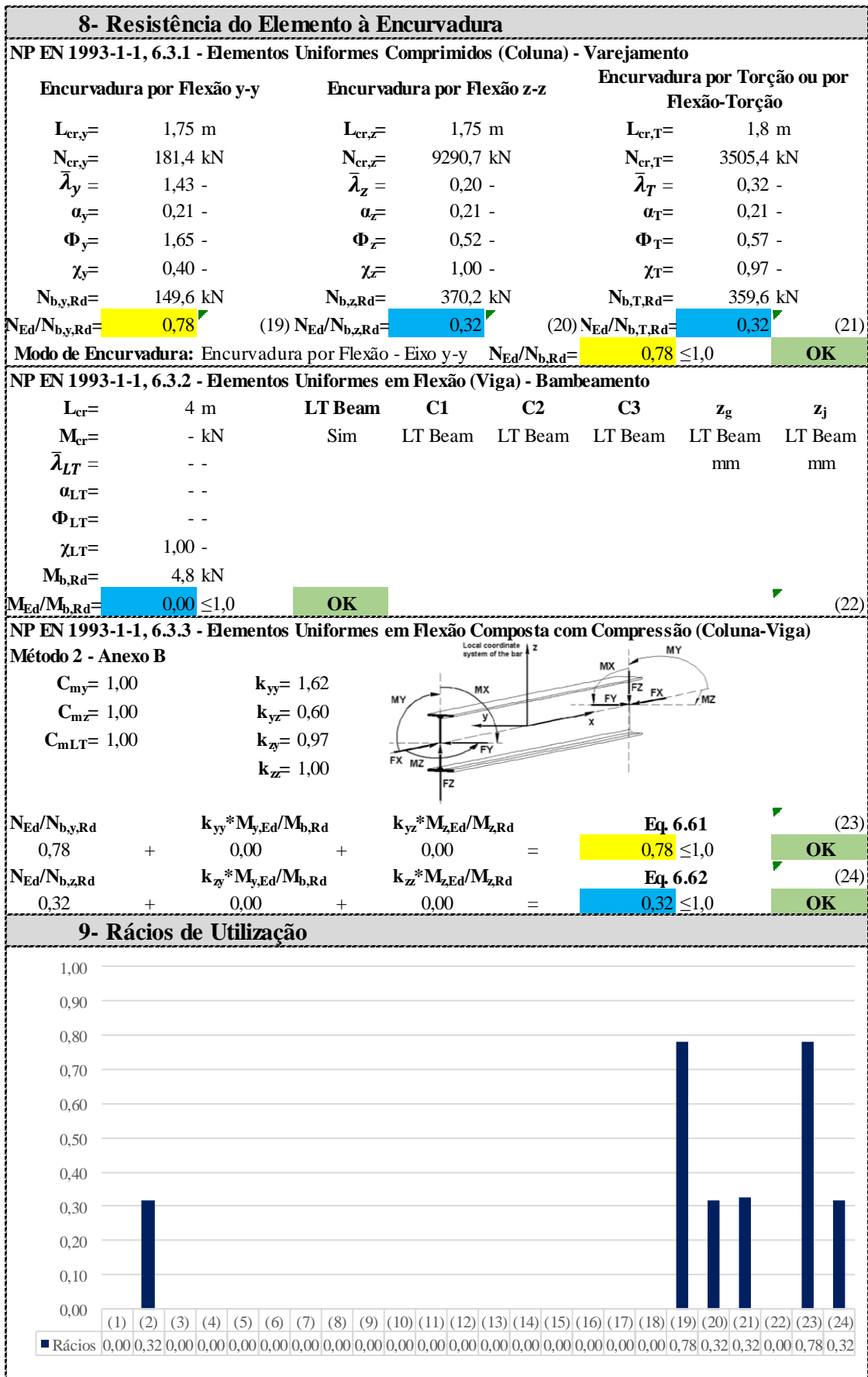


Figura 128 - Folha 3 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em "Excel" - Prumo nº21

b) 2º Método de Dimensionamento - Software "SAP2000"

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
 Units : KN, m, C

Frame : 1350 X Mid: -2,158 Combo: ELU(T+)_SC_I Design Type: Brace
 Length: 1,75 Y Mid: -5,21 Shape: 2SHS 40X40X5 //1Frame Type: DCH-MRF
 Loc : 1,75 Z Mid: 27,385 Class: Class 1 Rolled : No

Country=CEN Default Combination=Eq. 6.10 Reliability=Class 2
 Interaction=Method 2 (Annex B) MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No
 Consider Torsion? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes
 Ignore Seismic Code? No

GammaM0=1, GammaM1=1, GammaM2=1,25
 q=1,5 Omega=1, GammaOV=1,1
 An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75 D/C Lim=0,95

Aeff=0,001 eNy=0, eNz=0,
 A=0,001 Iyy=0, iyy=0,014 Wel,yy=1,458E-05 Weff,yy=1,458E-05
 It=0, Izz=1,429E-05 izz=0,101 Wel,zz=1,191E-04 Weff,zz=1,191E-04
 Iw=0, Iyz=0, h=0,04 Wpl,yy=1,850E-05 Av,y=0,001
 E=210000000, fy=275000, fu=430000, Wpl,zz=1,400E-04 Av,z=7,686E-04
 Iyz=0, Imax=1,429E-05 imax=0,101 Wel,zz,maj=1,191E-04
 Rot= 90, deg Imin=0, imin=0,014 Wel,zz,min=1,458E-05

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
1,75	-120,472	0,	0,	0,075	0,	-0,046

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.3.3(4)-6.61)

D/C Ratio: 0,903 = 0,893 + 0,01 + 0, < 0,95 OK

$$= \frac{N_{Ed}}{\chi_{Ty} N_{Rk} / \gamma_{M1}} + \frac{k_{yy} (M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny})}{\chi_{LT} M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + \frac{k_{yz} (M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz})}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}}$$
 (EC3 6.3.3(4) - 6.61)

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag	
Axial	-120,472	385,	385,	3598,296	197,392	1,	
	Npl,Rd	Nu,Rd					
	385,	433,44					
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	c	0,49	197,392	1,397	1,768	0,35	134,939
MajorB (y-y)	c	0,49	197,392	1,397	1,768	0,35	134,939
Minor (z-z)	c	0,49	9672,212	0,2	0,52	1,	385,
MinorB (z-z)	c	0,49	9672,212	0,2	0,52	1,	385,
Torsional TF	c	0,49	197,392	1,397	1,768	0,35	134,939

MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity	
Major (y-y)	0,	0,033	5,088	5,088	5,088	4,01	
Minor (z-z)	0,	0,	38,5	38,5	38,5		
	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
LTB	d	0,76	0,093	0,464	1,	0,	588,448
	Factors	kw	C1	C2	C3		
		1,	1,132	0,459	0,525		
		za	zs	zg	zz	zj	
		0,02	0,	0,02	0,	0,	
		kyy	kyz	kzy	kzz		
Factors		1,629	0,6	0,977	1,		
	Ved Force	Vpl.Rd Capacity	Ved/Vpl.Rd Ratio		rho Factor		
Major (z)	0,075	122,029	6,134E-04		1,		
Minor (y)	0,	222,28	0,		1,		

SHEAR DESIGN

	Ved Force	Ted Torsion	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check
Major (z)	0,075	0,046	122,029	0,001	OK
Minor (y)	0,	0,046	222,28	0,	OK
	Vpl,Rd Capacity	Eta Factor	LambdaBar Ratio	Chi Factor	
Minor (y)	122,029	1,2	0,	1,	
Major (y)	222,28	1,2	0,	1,	

Figura 129 - Dimensionamento no "SAP2000" - Prumo nº21

c) Comparação dos resultados dos dois procedimentos

Tabela 90 - Quadro comparativo - Barra nº21 dos prumos

Rácios de ELU	Rotina de		Δ (%)	“SemiComp”	Δ (%)
	Cálculo	“Excel”			
Esforço Axial de Compressão	0,32	0,30	6,3	-	-
Encurvadura em colunas	Eixo y-y	0,78	0,90	15,7	-
	Eixo z-z	0,32	0,31	2,2	-

Estados Limites de Utilização

As flechas verticais máximas para a combinação quase-permanente de ações estão indicadas na figura seguinte.

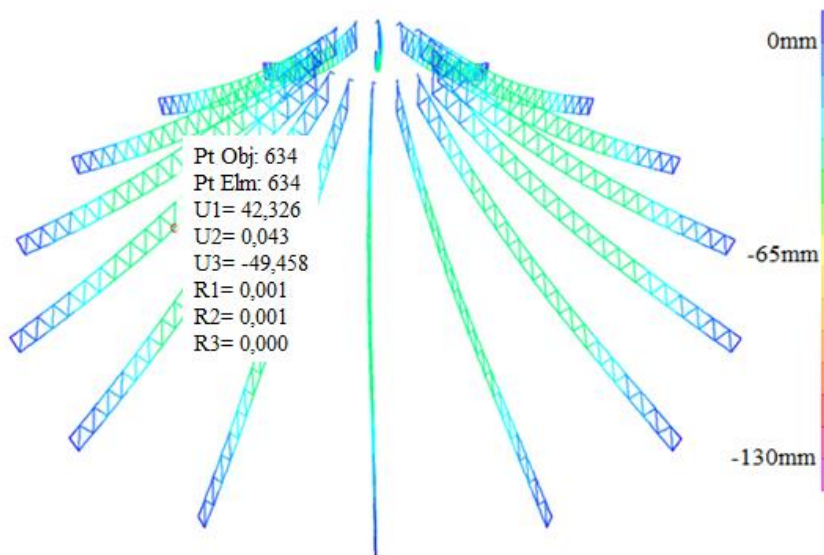


Figura 130 - Flechas verticais máximas nas asnas

Tabela 91 - Resultados da flecha vertical nas asnas - Combinação quase-permanente

Vão da Asna - L [m]	δ_v [mm]	δ_{adm} [mm]	Rácio
32,67	49,46	L/250=130,68	0,38

Conclusão

Em seguida apresentam-se os rácios de dimensionamento das barras pertencentes à asna entre os sectores 4 e 5, obtidos pela folha de cálculo em “Excel” e pelo “SAP2000” bem como as diferenças percentuais registadas.

Tabela 92 - Dimensionamento dos Cordões Inferiores - Sector 4/5

Cordões Inferiores Sector 4/5	Nº "SAP2000"	Combinação Condicionante	Perfil	Rácio "Excel"	Rácio "SAP2000"	Δ (%)
1	1000	ELU(W)_SC_I	RHS 160x80x6,3	0,660	0,817	23,8%
2	1001	ELU(W)_I	RHS 160x80x6,3	0,694	0,737	6,1%
3	1002	ELU(W)_T-	RHS 160x80x6,3	0,913	0,864	5,3%
4	1003	ELU(W)_T-	RHS 160x80x10	0,742	0,733	1,2%
5	1004	ELU(W)_T-	RHS 160x80x10	0,842	0,817	3,0%
6	1005	ELU(W)_T-	RHS 160x80x10	0,840	0,882	5,0%
7	1006	ELU(W)_T-	RHS 160x80x10	0,900	0,924	2,6%
8	1007	ELU(W)_T-	RHS 160x80x10	0,934	0,930	0,4%
9	1008	ELU(W)_T-	RHS 160x80x10	0,948	0,942	0,7%
10	1009	ELU(W)_T-	RHS 160x80x10	0,950	0,950	0,0%
11	1010	ELU(W)_T-	RHS 160x80x10	0,930	0,914	1,7%
12	1011	ELU(W)_T-	RHS 160x80x10	0,894	0,889	0,5%
13	1012	ELU(W)_T-	RHS 160x80x10	0,845	0,847	0,3%
14	1013	ELU(W)_T-	RHS 160x80x10	0,779	0,781	0,2%
15	1014	ELU(W)_T+	RHS 160x80x10	0,696	0,701	0,7%
16	1015	ELU(W)_T+	RHS 160x80x8	0,728	0,743	2,0%
17	1016	ELU(W)_T+	RHS 160x80x8	0,608	0,617	1,4%
18	1017	ELU(W)_T-	RHS 160x80x8	0,480	0,480	0,1%
19	1018	ELU(W)_T-	RHS 160x80x5	0,381	0,362	5,1%
20	1019	ELU(W)_T-	RHS 160x80x5	0,229	0,218	4,8%

Tabela 93 - Dimensionamento dos Cordões Superiores - Sector 4/5

Cordões Superiores Sector 4/5	Nº "SAP2000"	Combinação Condicionante	Perfil	Rácio "Excel"	Rácio "SAP2000"	Δ (%)
1	682	ELU(W)_SC_T-	RHS 160x80x5	0,021	0,025	16,4%
2	680	ELU(I)_SC	RHS 160x80x5	0,264	0,276	4,4%
3	681	ELU(I)_SC	RHS 160x80x5	0,506	0,527	4,2%
4	679	ELU(I)_SC	RHS 160x80x8	0,455	0,508	11,6%
5	676	ELU(T+)_SC_I	RHS 160x80x8	0,566	0,634	12,0%
6	677	ELU(T+)_SC_I	RHS 160x80x8	0,662	0,723	9,3%
7	678	ELU(T+)_SC_I	RHS 160x80x10	0,604	0,657	8,7%

Cordões Superiores Sector 4/5	Nº "SAP2000"	Combinação Condicionante	Perfil	Rácio "Excel"	Rácio "SAP2000"	Δ (%)
8	675	ELU(T+)_SC_I	RHS 160x80x10	0,550	0,597	8,6%
9	672	ELU(T+)_SC_I	RHS 160x80x10	0,597	0,648	8,5%
10	673	ELU(T+)_SC_I	RHS 160x80x8	0,742	0,809	9,0%
11	674	ELU(T+)_SC_I	RHS 160x80x8	0,751	0,821	9,4%
12	671	ELU(T+)_SC_I	RHS 160x80x8	0,742	0,810	9,2%
13	668	ELU(T+)_SC_I	RHS 160x80x8	0,722	0,788	9,1%
14	669	ELU(T+)_SC_I	RHS 160x80x8	0,690	0,753	9,2%
15	670	ELU(T+)_SC_I	RHS 160x80x8	0,640	0,699	9,2%
16	667	ELU(T+)_SC_I	RHS 160x80x6,3	0,657	0,716	9,0%
17	664	ELU(T-)_SC_I	RHS 160x80x6,3	0,594	0,655	10,4%
18	665	ELU(T-)_SC_I	RHS 160x80x6,3	0,492	0,547	11,2%
19	666	ELU(T-)_SC_I	RHS 160x80x12,5	0,254	0,278	9,4%
20	663	ELU(I)_SC	RHS 160x80x12,5	0,275	0,285	3,6%
21	661	ELU(T+)_SC_I	RHS 160x80x12,5	0,923	0,878	4,8%

Tabela 94 - Dimensionamento das Diagonais - Sector 4/5

Diagonais Sector 4/5	Nº "SAP2000"	Combinação Condicionante	Perfil	Rácio "Excel"	Rácio "SAP2000"	Δ (%)
1	1705	ELU(I)_SC	2SHS 60x60x5	0,720	0,848	17,8%
2	1706	ELU(T+)_SC	2SHS 60x60x5	0,690	0,810	17,4%
3	1707	ELU(T+)_SC_I	2SHS 60x60x5	0,570	0,670	17,5%
4	1704	ELU(T+)_SC	2SHS 50x50x5	0,820	0,922	12,4%
5	1701	ELU(T+)_SC	2SHS 50x50x5	0,660	0,748	13,3%
6	1702	ELU(T+)_SC	2SHS 50x50x5	0,511	0,578	13,1%
7	1703	ELU(T+)_SC	2SHS 40x40x5	0,770	0,825	7,1%
8	1700	ELU(T-)_SC	2SHS 40x40x5	0,702	0,747	6,5%
9	1697	ELU(T-)_SC	2SHS 40x40x5	0,430	0,459	6,7%
10	1698	ELU(T-)_SC	2SHS 40x40x4	0,243	0,265	9,0%
11	1699	ELU(W)_SC_T-	2SHS 40x40x4	0,241	0,320	32,6%
12	1696	ELU(W)_T-	2SHS 40x40x4	0,447	0,601	34,6%
13	1693	ELU(W)_T-	2SHS 40x40x5	0,683	0,726	6,2%
14	1694	ELU(W)_T-	2SHS 40x40x5	0,706	0,936	32,5%
15	1695	ELU(W)_T-	2SHS 40x40x5	0,853	1,132	32,7%

Diagonais Sector 4/5	Nº "SAP2000"	Combinação Condicionante	Perfil	Rácio "Excel"	Rácio "SAP2000"	Δ (%)
16	1692	ELU(W)_T-	2SHS 50x50x4	0,553	0,794	43,5%
17	1689	ELU(W)_T-	2SHS 50x50x4	0,624	0,896	43,7%
18	1690	ELU(W)_T-	2SHS 50x50x4	0,679	0,977	43,9%
19	1691	ELU(W)_T-	2SHS 50x50x4	0,739	1,066	44,2%
20	1688	ELU(W)_T-	2SHS 50x50x4	0,705	1,009	43,2%
21	1687	ELU(W)_T-	RHS 160x80x5	0,330	0,458	38,8%

Tabela 95 - Dimensionamento dos Prumos - Sector 4/5

Prumos Sector 4/5	Nº "SAP2000"	Combinação Condicionante	Perfil	Rácio "Excel"	Rácio "SAP2000"	Δ (%)
1	1370	ELU(T+)_SC_I	RHS 160x80x5	0,021	0,025	19,0%
2	1368	ELU(W)_T-	2SHS 50x50x4	0,448	0,537	19,9%
3	1369	ELU(W)_I	2SHS 50x50x4	0,437	0,524	19,8%
4	1367	ELU(W)_T+	2SHS 40x40x4	0,773	0,883	14,2%
5	1364	ELU(W)_I	2SHS 40x40x4	0,544	0,623	14,5%
6	1365	ELU(W)_I	2SHS 40x40x4	0,423	0,485	14,8%
7	1366	ELU(W)_I_T+	2SHS 40x40x4	0,430	0,493	14,7%
8	1363	ELU(W)_I	2SHS 40x40x4	0,188	0,218	15,9%
9	1360	ELU(W)_I_T+	2SHS 40x40x4	0,084	0,100	18,5%
10	1361	ELU(T-)_SC	2SHS 40x40x4	0,100	0,103	3,0%
11	1362	ELU(W)_SC_T-	2SHS 40x40x4	0,048	0,053	10,2%
12	1359	ELU(T+)_SC_I	2SHS 40x40x4	0,106	0,127	19,3%
13	1356	ELU(T+)_SC_I	2SHS 40x40x4	0,118	0,140	18,6%
14	1357	ELU(T+)_SC_I	2SHS 40x40x4	0,288	0,334	15,9%
15	1358	ELU(T+)_SC_I	2SHS 40x40x4	0,372	0,429	15,3%
16	1355	ELU(T+)_SC_I	2SHS 40x40x4	0,351	0,405	15,4%
17	1352	ELU(T+)_SC_I	2SHS 40x40x4	0,484	0,556	14,9%
18	1353	ELU(T+)_SC_I	2SHS 40x40x4	0,542	0,622	14,7%
19	1354	ELU(T+)_SC	2SHS 40x40x5	0,483	0,545	12,9%
20	1351	ELU(T+)_SC_I	2SHS 40x40x5	0,519	0,581	12,0%
21	1350	ELU(T+)_SC_I	2SHS 40x40x5	0,781	0,903	15,7%

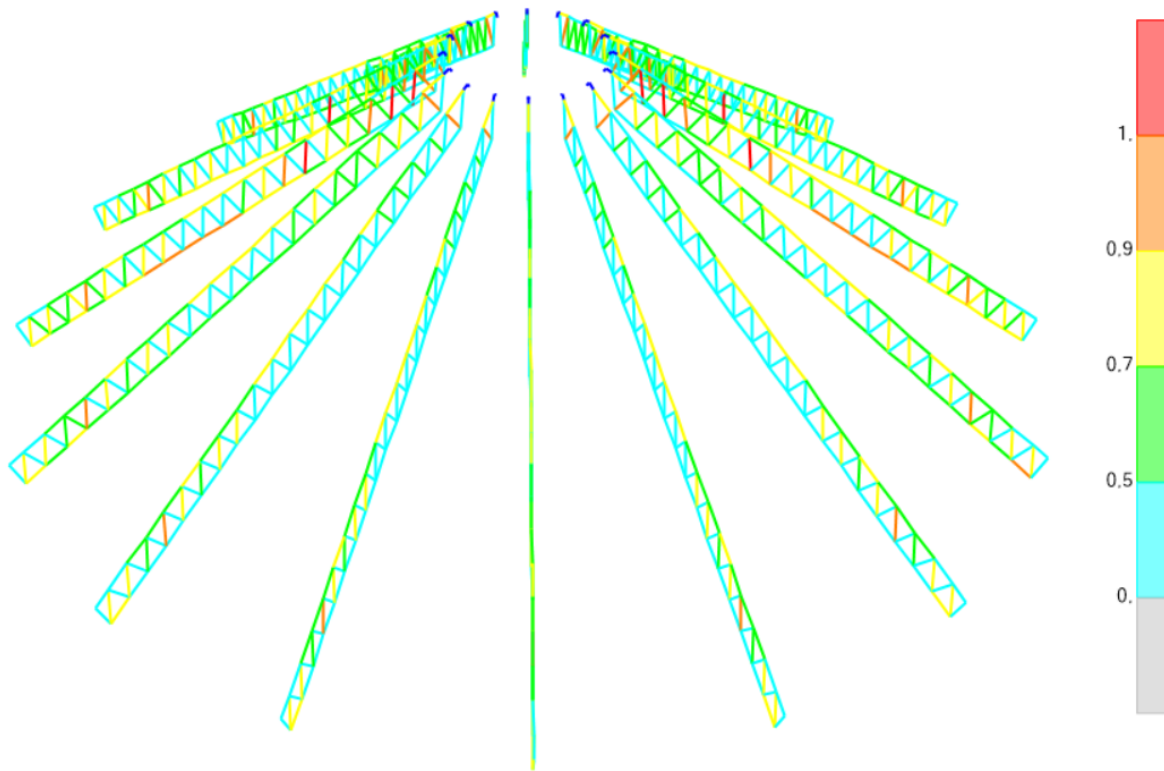


Figura 131 - Rácios de dimensionamento

Tarugos da cobertura do *stock*

Estados Limites Últimos

Nas figuras e tabelas seguintes mostra-se o exemplo do dimensionamento do tarugo 7.1.

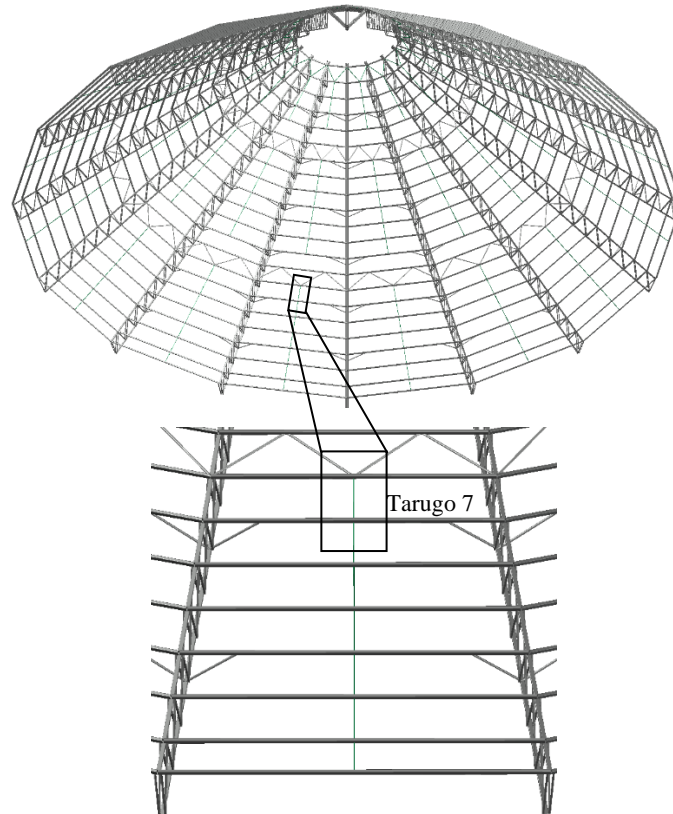


Figura 132 - Tarugo 7.1

- **Esforços de cálculo**

Representa-se o diagrama do esforço axial de tração nos tarugos 5 a 7 para a combinação condicionante ELU(T+)_SC.

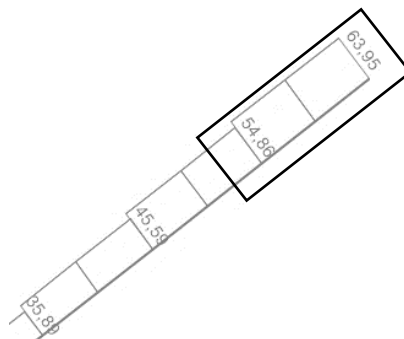


Figura 133 - Diagrama de esforços axiais

a) 1º Processo de Dimensionamento - Rotina de cálculo em “Excel”

Relatório de Dimensionamento de Elementos Metálicos									
1- Características do Elemento									
Função Estrutural do Elemento: Tarugo da Cobertura do Stock									
Tipo de Elemento: Tirante									
Comprimento do Elemento= 1,54 m									
Número do Elemento no modelo SAP: 1825									
Combinação Condicionante: ELU(T+)_SC									
Coeficientes Parciais de Segurança γ_{M1} : $\gamma_{M0}=1,00$ $\gamma_{M1}=1,00$ $\gamma_{M2}=1,25$									
2- Esforços de Cálculo Atuantes									
Secção Apoio Esquerdo			Secção do Meio Vão			Secção Apoio Direito			
N_{Ed} =	63,95 kN		N_{Ed} =	63,95 kN		N_{Ed} =	63,95 kN		
$V_{y,Ed}$ =	0 kN		$V_{y,Ed}$ =	0 kN		$V_{y,Ed}$ =	0 kN		
$V_{z,Ed}$ =	0 kN		$V_{z,Ed}$ =	0 kN		$V_{z,Ed}$ =	0 kN		
$M_{y,Ed}$ =	0 kN.m		$M_{y,Ed}$ =	0 kN.m		$M_{y,Ed}$ =	0 kN.m		
$M_{z,Ed}$ =	0 kN.m		$M_{z,Ed}$ =	0 kN.m		$M_{z,Ed}$ =	0 kN.m		
3- Propriedades do Material									
Classe do Aço: S275 H			f_y =	275 N/mm ²		G =	81000 N/mm ²		
			f_{tk} =	430 N/mm ²		E =	210000 N/mm ²		
4- Propriedades Geométricas da Secção Transversal									
Perfil: SHS 40x4			h =	40 mm		b =	40 mm		
t =	4 mm		r_{ext} =	6 mm		r_{int} =	2 mm		
A =	5,59 cm ²		A_{vz} =	2,80 cm ²		A_{vy} =	2,80 cm ²		
I_{yy} =	11,80 cm ⁴		i_y =	1,45 cm		I_{zz} =	11,80 cm ⁴		
i_z =	1,45 cm		$W_{pl,y}$ =	7,44 cm ³		$W_{pl,z}$ =	7,44 cm ³		
$W_{el,y}$ =	5,91 cm ³		$W_{el,z}$ =	5,91 cm ³		I_t =	19,50 cm ⁴		
I_w =	0,00 x10 ⁻³ cm ⁶		y_0 =	0,00 mm		z_0 =	0,00 mm		
5- Classificação da Secção Transversal									
ϵ :	0,92		Componente à Flexão			Componente à Compressão			
			Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3	
c/t_w :	7,00	≤	66,56	76,73	114,63	30,51	35,13	38,83	
c/t_f :	7,00	≤	-	-	-	30,51	35,13	38,83	
			Alma à Flexão e à Compressão			Classificação - Resumo			
	$\Psi_{web,left}$	$\Psi_{web,right}$	Classe 1	Classe 2	Classe 3	F	C	F+C	
se	-	-	-	-	38,83	1	1	1	
smv	-	-	-	-	38,83	1	1	1	
sd	-	-	-	-	38,83	1	1	1	
SemiComp:	-	-	Classe Semi-Comp:			-	Classe Adotada:		-
6- Esforços Resistentes de Cálculo									
$N_{pl,Rd}$ =	153,7 kN		$N_{u,Rd}$ =	- kN		$N_{net,Rd}$ =	- kN		
$N_{t,Rd}$ =	153,7 kN		$N_{c,Rd}$ =	153,7 kN		$V_{c,y,Rd}$ =	44,4 kN		
$V_{c,z,Rd}$ =	44,4 kN		$M_{c,y,Rd}$ =	2,0 kN.m		$M_{c,z,Rd}$ =	2,0 kN.m		
$M_{y,V,Rd}$ =	2,0 kN.m		$M_{z,V,Rd}$ =	2,0 kN.m		$M_{N,y,Rd}$ =	1,5 kN.m		
$M_{N,z,Rd}$ =	2,0 kN.m		$M_{NV,y,Rd}$ =	1,5 kN.m		$M_{NV,z,Rd}$ =	2,0 kN.m		
$N_{b,y,Rd}$ =	79,5 kN		$N_{b,z,Rd}$ =	79,5 kN		$N_{b,T,Rd}$ =	153,7 kN		
$M_{b,Rd}$ =	2,0 kN.m								

Figura 134 - Folha 1 de 2 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em “Excel” - Tarugo 7.1

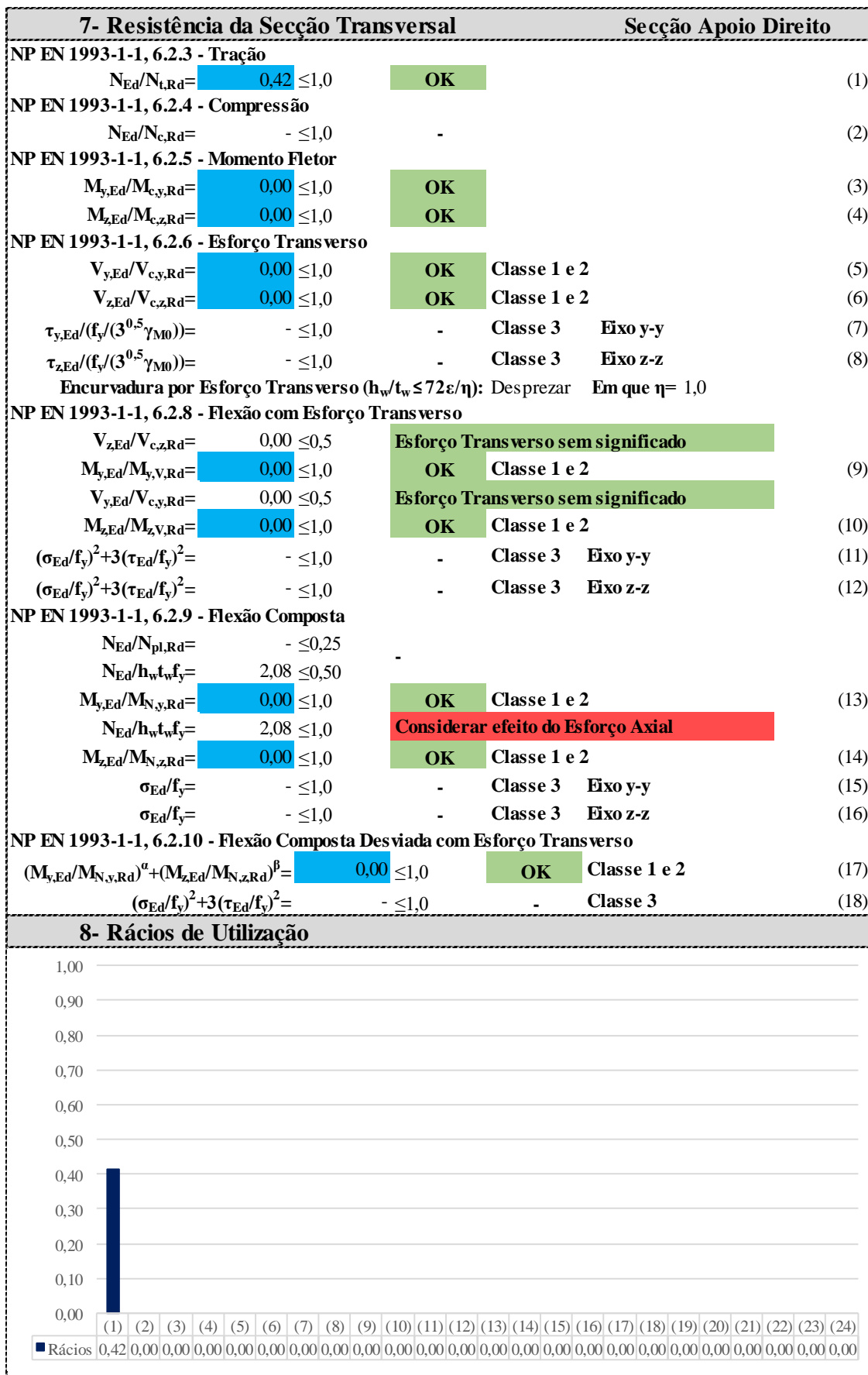


Figura 135 - Folha 2 de 2 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em "Excel" - Tarugo 7.1

b) 2º Processo de Dimensionamento - Software "SAP2000"

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
 Units : KN, m, C

Frame : 1735 X Mid: -18,903 Combo: ELU(T+)_SC Design Type: Brace
 Length: 1,539 Y Mid: -12,631 Shape: SHS 40X40X4 Frame Type: DCL-MRF
 Loc : 1,539 Z Mid: 15,722 Class: Class 1 Rolled : No

Country=CEN Default Combination=Eq. 6.10 Reliability=Class 2
 Interaction=Method 2 (Annex B) MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No
 Consider Torsion? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes
 Ignore Seismic Code? No

GammaM0=1, GammaM1=1, GammaM2=1,25
 q=1,5 Omega=1, GammaOV=1,1
 An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75 D/C Lim=0,95

Aeff=5,760E-04 eNy=0, eNz=0
 A=5,760E-04 Iyy=0, iyy=0,015 Wel,yy=6,298E-06 Weff,yy=6,298E-06
 It=0, Izz=0, izz=0,015 Wel,zz=6,298E-06 Weff,zz=6,298E-06
 Iw=0, Iyz=0, h=0,04 Wpl,yy=7,808E-06 Av,y=3,200E-04
 E=210000000, fy=275000, fu=430000, Wpl,zz=7,808E-06 Av,z=3,072E-04

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
1,539	63,951	0,	0,	0,037	0,	-7,127E-04

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.2.9.1(6n))

D/C Ratio: 0,404 = 0,404 < 0,95 OK
 = (Ned/NRd) (EC3 6.2.9.1(6n))

AXIAL FORCE DESIGN

Axial	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	63,951	158,4	158,4	158,4	178,33	34466,792	110,151	1,
Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd		
Major (y-y)	c	0,49	110,151	1,199	1,464	0,434	68,771	
MajorB (y-y)	c	0,49	110,151	1,199	1,464	0,434	68,771	
Minor (z-z)	c	0,49	110,151	1,199	1,464	0,434	68,771	
MinorB (z-z)	c	0,49	110,151	1,199	1,464	0,434	68,771	
Torsional TF	c	0,49	110,151	1,199	1,464	0,434	68,771	

MOMENT DESIGN

Major (y-y)	Minor (z-z)	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
		0,	0,014	2,147	2,147	1,646	2,116
		0,	0,	2,147	2,147	1,646	
LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
	d	0,76	0,218	0,531	0,985	0,	44,996
Factors	kw	C1	C2	C3			
	1,	1,132	0,459	0,525			
	za	zs	zg	zz	zj		
	0,02	0,	0,02	0,	0,		
Factors	kyy	kyz	kzy	kzz			
	0,95	0,6	0,57	1,			
Major (z)	Minor (y)	Ved Force	Vpl.Rd Capacity	Ved/Vpl.Rd Ratio	rho Factor		
		0,037	48,775	7,590E-04	1,		
		0,	50,807	0,	1,		

SHEAR DESIGN

Major (z)	Minor (y)	Ved Force	Ted Torsion	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check
		0,037	0,	48,775	0,001	OK
		0,	0,	50,807	0,	OK
Minor (y)	Major (y)	Vpl,Rd Capacity	Eta Factor	Lambdabar Ratio	Chi Factor	
		48,775	1,2	0,1	1,2	
		50,807	1,2	0,	1,	

Figura 136 - Dimensionamento no "SAP2000" - Tarugo 7.1

c) 3º Processo de Dimensionamento - Software “SemiComp”

SEMCOMP Member Design

Cross-section type Square hollow section ▼

Finishing Hot finished (EN 10210-2) ▼

Select from library (optional) SHS 40 x 4 ▼

Partial factors γ_M

$\gamma_{M0} = 1,00$

$\gamma_{M1} = 1,00$

Cross-section data

H = 40,0 [mm]

B = 40,0 [mm]

T = 4,0 [mm]

Material

Steel grade S275 ▼

$f_y = 275,0$ N/mm²

$E = 210000,0$ N/mm²

A [cm ²]	I_{yy} [cm ⁴]	I_{zz} [cm ⁴]	$W_{el,y}$ [cm ³]	$W_{el,z}$ [cm ³]	$W_{pl,y}$ [cm ³]	$W_{pl,z}$ [cm ³]
5,59	11,83	11,83	5,91	5,91	7,44	7,44

Boundary conditions

$L_{Beam} = 1,540$ m

$n_{fork} = 0$ [-]

Torsion restrained

strong Axis buckling restrained

weak Axis Buckling restrained

I_t [cm⁴]

I_w [cm⁶]

0,00 0,00

Loading in z-x-plane

$N_{Ed} = 63,95$ kN

$q_{z,Ed}^{(*)} = 0,00$ kN/m

$M_{y,left,Ed} = 0,00$ kNm

$M_{y,right,Ed} = 0,00$ kNm

$P_{z,Ed}^{(*)} = 0,00$ kN

Distance of Loading to shear center

$z_{Si} = 0,00$ mm

Loading in y-x-plane

$q_{y,Ed}^{(*)} = 0,00$ kN/m

$M_{z,left,Ed} = 0,00$ kNm

$M_{z,right,Ed} = 0,00$ kNm

$P_{y,Ed}^{(*)} = 0,00$ kN

(*)

Calculate Forces!

Loading in z-x-plane

$N_{Ed} = 63,95$ kN

$q_{z,Ed}^{(*)} = 0,00$ kN/m

$M_{y,left,Ed} = 0,00$ kNm

$M_{y,right,Ed} = 0,00$ kNm

$P_{z,Ed}^{(*)} = 0,00$ kN

Distance of Loading to shear center

$z_{Si} = 0,00$ mm

Loading in y-x-plane

$q_{y,Ed}^{(*)} = 0,00$ kN/m

$M_{z,left,Ed} = 0,00$ kNm

$M_{z,right,Ed} = 0,00$ kNm

$P_{y,Ed}^{(*)} = 0,00$ kN

(*)

Calculate Forces!

$M_{cr} = 0,00$ kNm Enter M_{cr} manually

$M_{cr,0} = 0,00$ kNm Use LTBeam

Specify path of LTBeam.exe file:

C:\Program Files (x86)\LTBeam_v1010\LTBeam.ex

Note: LTBeam is a tool developed by CTICM to calculate the lateral torsional buckling moment of beams. You can download it for free at www.cticm.com.

Definition of axes

Figura 137 - Folha 1 de 2 - Dimensionamento no “SemiComp” - Tarugo 7.1

SEMICOMP Cross-Section Check

Choose method EN 1993-1-1 (elastic Resistance) ▾

$N_{Ed} =$ 63,950 kN

$M_{y,Ed} =$ 0,000 kNm

$M_{z,Ed} =$ 0,000 kNm

$V_{z,Ed} =$ 0,000 kN

$V_{y,Ed} =$ 0,000 kN

Perform cross-section checks

Reference values for classification

$c/t_w =$ 7,000

$\alpha_{web} =$ 0,000

$\psi_{web} =$ 1,000

$\varepsilon =$ 0,924

$c/t_f =$ 7,000

$\alpha_{flange} =$ 0,000

$\psi_{flange} =$ 1,000

$\varepsilon_{mod, c/3/4} =$ NaN

Boundaries

	Class 1	Class 2	Class 3
$c/t_w \leq c/t_{w, max} = $	NaN	NaN	38,825
$c/t_f \leq c/t_{f, max} = $	NaN	NaN	38,825

Cross section class = 1

Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations.

$M_{pl,y,Rd} =$ 2,05 kNm

$M_{el,y,Rd} =$ 1,63 kNm

$M_{pl,z,Rd} =$ 2,05 kNm

$M_{el,z,Rd} =$ 1,63 kNm

$V_{pl,z,Rd} =$ 44,36 kN

$V_{pl,y,Rd} =$ 44,36 kN

$N_{Rd} =$ 153,68 kN

EN 1993-1-1, 6.2.3 / 6.2.4

Tension or compression

$U_{(6.5)/(6.9)} =$ 0,416 $\leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.5

Bending moment

$U_{strong A.} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

$U_{weak A.} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.6

Shear

$U_{z-plastic} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

$U_{y-plastic} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

$U_{z-elastic} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

$U_{y-elastic} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

$h_w/t_w =$ 8,000 $\leq 72\varepsilon/\eta =$ 55,465 ok

EN 1993-1-1, 6.2.9

Bending and axial force

$U_{(6.41)/(6.42)} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok $UF =$ 0,000

Comment: Shear Interaction is not considered within this software tool. If the utilization for shear is higher that 0.5, an additional check for shear interaction is necessary.

Figura 138 - Folha 2 de 2 - Dimensionamento no "SemiComp" - Tarugo 7.1

d) Comparação de resultados dos três procedimentos

Na Tabela 96 indica-se o resumo dos resultados.

Tabela 96 - Quadro comparativo - Tarugo 7.1

Rácios de ELU ou Parâmetro	Rotina de				
	Cálculo	"SAP2000"	Δ (%)	"SemiComp"	Δ (%)
Esforço Axial de Tração	0,42	0,40	2,9	0,42	0,0

Conclusão

Seguidamente apresentam-se os rácios de dimensionamento dos tarugos do sector 16, obtidos pela folha de cálculo em "Excel" e pelo "SAP2000" bem como as diferenças percentuais registadas.

Tabela 97 - Dimensionamento dos Tarugos - Sector 16

Tarugos Sector 16	Nº "SAP2000"	Combinação Condicionante	Perfil	Rácio "Excel"	Rácio "SAP2000"	Δ (%)
1	1819	ELU(T-)_SC_I	SHS 40x40x4	0,035	0,034	2,6%
2	1820	ELU(T-)_SC_I	SHS 40x40x4	0,098	0,095	3,3%
3	1821	ELU(T-)_SC_I	SHS 40x40x4	0,167	0,163	2,7%
4	1822	ELU(T-)_SC_I	SHS 40x40x4	0,234	0,227	2,8%
5	1823	ELU(T-)_SC_I	SHS 40x40x4	0,296	0,287	3,0%
6	1824	ELU(T-)_SC_I	SHS 40x40x4	0,356	0,345	3,0%
7	1825	ELU(T-)_SC_I	SHS 40x40x4	0,420	0,401	2,9%
8	1826	ELU(T-)_SC_I	SHS 40x40x4	0,043	0,042	2,1%
9	1827	ELU(T-)_SC_I	SHS 40x40x4	0,083	0,081	2,7%
10	1828	ELU(T-)_SC_I	SHS 40x40x4	0,121	0,118	2,7%
11	1831	ELU(T-)_SC_I	SHS 40x40x4	0,156	0,152	2,7%
12	1832	ELU(T-)_SC_I	SHS 40x40x4	0,190	0,185	2,7%
13	1833	ELU(T-)_SC_I	SHS 40x40x4	0,223	0,217	2,8%
14	1834	ELU(W)_SC_T+	SHS 40x40x4	0,023	0,022	2,8%
15	1835	ELU(W)_SC_T+	SHS 40x40x4	0,045	0,044	3,3%
16	1836	ELU(W)_SC_T+	SHS 40x40x4	0,069	0,067	2,8%
17	1830	ELU(W)_SC_T+	SHS 40x40x4	0,059	0,058	2,3%
18	1829	ELU(W)_SC_T+	SHS 40x40x4	0,056	0,054	2,9%

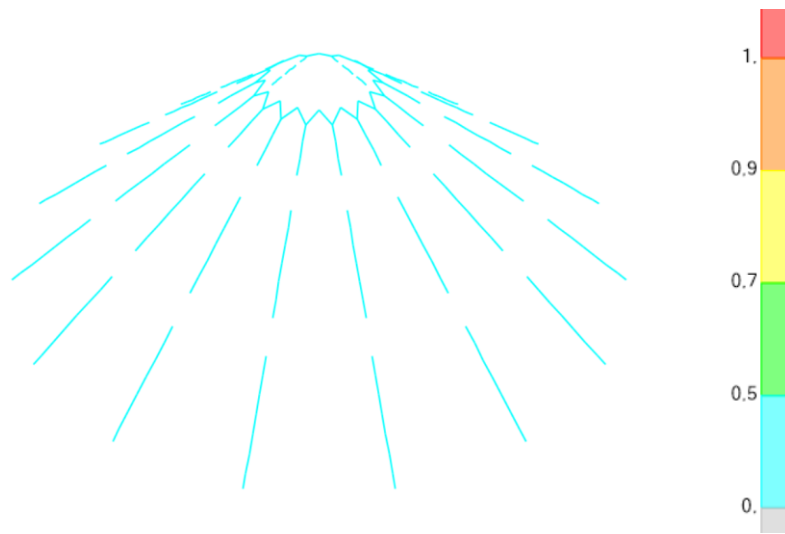


Figura 139 - Rácios de dimensionamento

Travamentos dos Cordões Inferiores

Estados Limites Últimos

Nas figuras e tabelas subsequentes mostra-se o cálculo referente a um dos travamentos do cordão inferior das asnas.

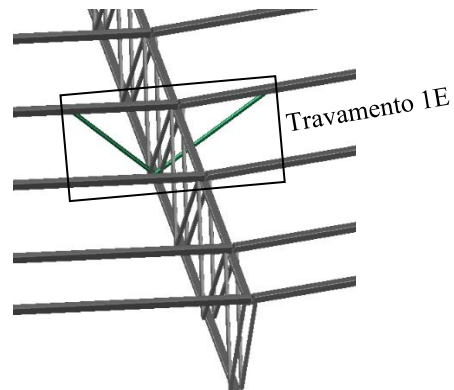


Figura 140 - Travamentos do cordão inferior

- **Esforços de cálculo**

O diagrama de esforços axiais de compressão para a combinação condicionante é:



Figura 141 - Diagrama de esforços axiais

a) 1º Processo de Dimensionamento - Rotina de cálculo em “Excel”

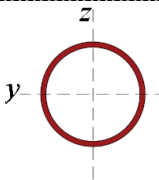
Relatório de Dimensionamento de Elementos Metálicos			
1- Características do Elemento			
Função Estrutural do Elemento: Travamentos Asnas Madres			
Tipo de Elemento: Coluna			
Comprimento do Elemento=	2,33 m		
Número do Elemento no modelo SAP:	2145		
Combinação Condicionante:	ELU(T-)_SC_I		
Coeficientes Parciais de Segurança γ_{Mi} : $\gamma_{M0}=1,00$ $\gamma_{M1}=1,00$ $\gamma_{M2}=1,25$			
2- Esforços de Cálculo Atuantes			
Secção Apoio Esquerdo	Secção do Meio Vão	Secção Apoio Direito	
$N_{Ed} =$ -19,3 kN	$N_{Ed} =$ -19,3 kN	$N_{Ed} =$ -19,3 kN	
$V_{y,Ed} =$ 0 kN	$V_{y,Ed} =$ 0 kN	$V_{y,Ed} =$ 0 kN	
$V_{z,Ed} =$ 0 kN	$V_{z,Ed} =$ 0 kN	$V_{z,Ed} =$ 0 kN	
$M_{y,Ed} =$ 0 kN.m	$M_{y,Ed} =$ 0 kN.m	$M_{y,Ed} =$ 0 kN.m	
$M_{z,Ed} =$ 0 kN.m	$M_{z,Ed} =$ 0 kN.m	$M_{z,Ed} =$ 0 kN.m	
3- Propriedades do Material			
Classe do Aço: S275 H	$f_y =$ 275 N/mm ²	$G =$ 81000 N/mm ²	
	$f_{tk} =$ 430 N/mm ²	$E =$ 210000 N/mm ²	
4- Propriedades Geométricas da Secção Transversal			
Perfil: CHS 42,2x4	$D =$ 42,2 mm	$t =$ 4 mm	
$A =$ 4,80 cm ²	$A_y =$ 3,06 cm ²	$I =$ 8,85 cm ⁴	
$i =$ 1,36 cm	$W_{pl} =$ 5,86 cm ³	$W_{el} =$ 4,20 cm ³	
$I_t =$ 17,51 cm ⁴	$I_w =$ 0,00 x10 ⁻³ cm ⁶	$y_0 =$ 0,00 mm	
$z_0 =$ 0,00 mm			
5- Classificação da Secção Transversal			
$\epsilon:$ 0,92	Secção em Flexão e/ou Compressão		
	Classe 1	Classe 2	Classe 3
$D/t:$ 10,55 ≤	42,73	59,82	76,91
	Classe Adotada: 1		
6- Esforços Resistentes de Cálculo			
$N_{pl,Rd} =$ 132,0 kN	$N_{u,Rd} =$ - kN	$N_{net,Rd} =$ - kN	
$N_{t,Rd} =$ 132,0 kN	$N_{c,Rd} =$ 132,0 kN	$V_{c,y,Rd} =$ 48,5 kN	
$V_{c,z,Rd} =$ 48,5 kN	$M_{c,y,Rd} =$ 1,6 kN.m	$M_{c,z,Rd} =$ 1,6 kN.m	
$M_{y,V,Rd} =$ 1,6 kN.m	$M_{z,V,Rd} =$ 1,6 kN.m	$M_{N,y,Rd} =$ 1,5 kN.m	
$M_{N,z,Rd} =$ 1,5 kN.m	$M_{NV,y,Rd} =$ 1,5 kN.m	$M_{NV,z,Rd} =$ 1,5 kN.m	
$N_{b,y,Rd} =$ 30,1 kN	$N_{b,z,Rd} =$ 30,1 kN	$N_{b,T,Rd} =$ 132,0 kN	
$M_{b,Rd} =$ 1,6 kN.m			

Figura 142 - Folha 1 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em “Excel” - Travamento 1E.4

7- Resistência da Seção Transversal		Secção Apoio Direito	
NP EN 1993-1-1, 6.2.3 - Tração			
$N_{Ed}/N_{t,Rd} =$	$\leq 1,0$	-	(1)
NP EN 1993-1-1, 6.2.4 - Compressão			
$N_{Ed}/N_{c,Rd} =$	0,15 $\leq 1,0$	OK	(2)
NP EN 1993-1-1, 6.2.5 - Momento Fletor			
$M_{y,Ed}/M_{c,y,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	(3)
$M_{z,Ed}/M_{c,z,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	(4)
NP EN 1993-1-1, 6.2.6 - Esforço Transverso			
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (5)
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (6)
$\tau_{y,Ed}/(f_y/3^{0,5}\gamma_{M0}) =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y (7)
$\tau_{z,Ed}/(f_y/3^{0,5}\gamma_{M0}) =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z (8)
Encurvadura por Esforço Transverso ($h_w/t_w \leq 72\varepsilon/\eta$): Desprezar Em que $\eta = 1,0$			
NP EN 1993-1-1, 6.2.8 - Flexão com Esforço Transverso			
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} =$	0,00 $\leq 0,5$	Esforço Transverso sem significado	
$M_{y,Ed}/M_{y,v,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (9)
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} =$	0,00 $\leq 0,5$	Esforço Transverso sem significado	
$M_{z,Ed}/M_{z,v,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (10)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y (11)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z (12)
NP EN 1993-1-1, 6.2.9 - Flexão Composta			
$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (13)
$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (14)
$\sigma_{Ed}/f_y =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y (15)
$\sigma_{Ed}/f_y =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z (16)
NP EN 1993-1-1, 6.2.10 - Flexão Composta Desviada com Esforço Transverso			
$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^a + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^b =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (17)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 (18)

Figura 143 - Folha 2 de 3 do relatório dimensionamento na rotina de cálculo em “Excel” - Travamento 1E.4

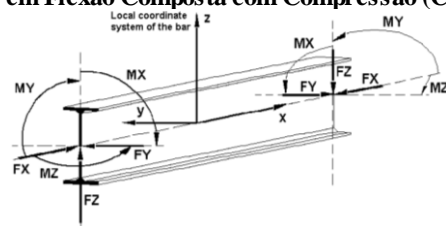
8- Resistência do Elemento à Encurvadura

NP EN 1993-1-1, 6.3.1 - Elementos Uniformes Comprimidos (Coluna) - Varejamento							
Encurvadura por Flexão y-y		Encurvadura por Flexão z-z		Encurvadura por Torção ou por			
$L_{cr,y} =$	2,33 m	$L_{cr,z} =$	2,33 m	$L_{cr,T} =$	2,3 m		
$N_{cr,y} =$	33,8 kN	$N_{cr,z} =$	33,8 kN	$N_{cr,T} =$	38461,2 kN		
$\bar{\lambda}_y =$	1,98 -	$\bar{\lambda}_z =$	1,98 -	$\bar{\lambda}_T =$	0,06 -		
$\alpha_y =$	0,21 -	$\alpha_z =$	0,21 -	$\alpha_T =$	0,21 -		
$\Phi_y =$	2,64 -	$\Phi_z =$	2,64 -	$\Phi_T =$	0,49 -		
$\chi_y =$	0,23 -	$\chi_z =$	0,23 -	$\chi_T =$	1,00 -		
$N_{b,y,Rd} =$	30,1 kN	$N_{b,z,Rd} =$	30,1 kN	$N_{b,T,Rd} =$	132,0 kN		
$N_{Ed}/N_{b,y,Rd} =$	0,64	(19) $N_{Ed}/N_{b,z,Rd} =$	0,64	(20) $N_{Ed}/N_{b,T,Rd} =$	0,15	(21)	
Modo de Encurvadura: Encurvadura por Flexão - Eixo y-y				$N_{Ed}/N_{b,Rd} =$	0,64	$\leq 1,0$	OK

NP EN 1993-1-1, 6.3.2 - Elementos Uniformes em Flexão (Viga) - Bambeamento								
$L_{cr} =$	- m	LT Beam	C1	C2	C3	z_g	z_j	
$M_{cr} =$	- kN	Sim	LT Beam	LT Beam	LT Beam	LT Beam	LT Beam	
$\bar{\lambda}_{LT} =$	-					mm	mm	
$\alpha_{LT} =$	-							
$\Phi_{LT} =$	-							
$\chi_{LT} =$	1,00 -							
$M_{b,Rd} =$	1,6 kN							
$M_{Ed}/M_{b,Rd} =$	0,00	$\leq 1,0$	OK					(22)

NP EN 1993-1-1, 6.3.3 - Elementos Uniformes em Flexão Composta com Compressão (Coluna-Viga)

Método 2 - Anexo B

$C_{my} = -$	$k_{yy} = -$		
$C_{mz} = -$	$k_{yz} = -$		
$C_{mLT} = -$	$k_{zy} = -$		
	$k_{zz} = -$		

$N_{Ed}/N_{b,y,Rd}$	$k_{yy} * M_{y,Ed}/M_{b,Rd}$	$k_{yz} * M_{z,Ed}/M_{z,Rd}$	Eq. 6.61		
-	+	-	=	-	-
				$\leq 1,0$	

$N_{Ed}/N_{b,z,Rd}$	$k_{zy} * M_{y,Ed}/M_{b,Rd}$	$k_{zz} * M_{z,Ed}/M_{z,Rd}$	Eq. 6.62		
-	+	-	=	-	-
				$\leq 1,0$	

9- Rácios de Utilização

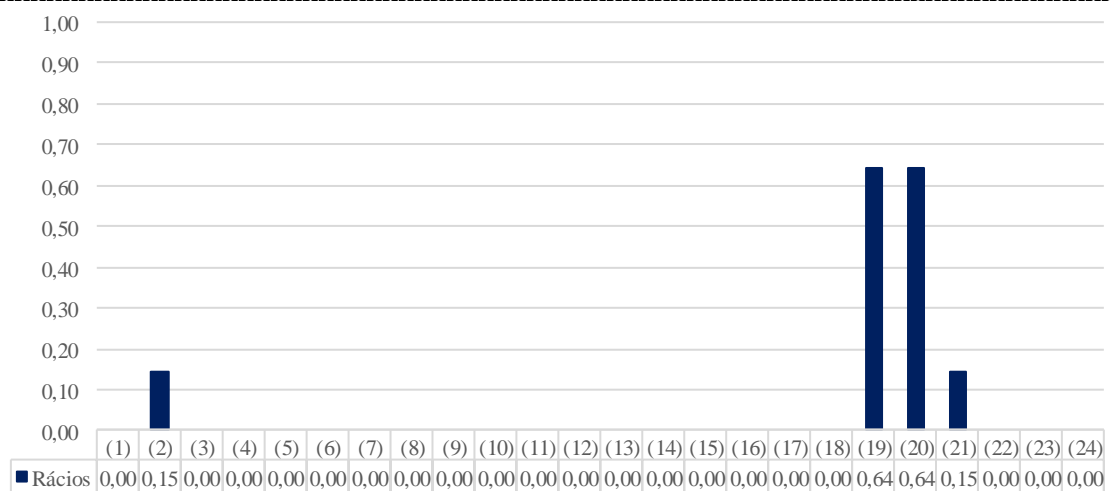


Figura 144 - Folha 3 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em "Excel" - Travamento 1E.4

b) 2º Processo de Dimensionamento - Software "SAP2000"

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : 2145 X Mid: -18,421 Combo: ELU(T+)_SC Design Type: Brace
Length: 2,329 Y Mid: -19,635 Shape: CHS 42,2X4 Frame Type: DCL-MRF
Loc : 2,329 Z Mid: 11,807 Class: Class 1 Rolled : No

Country=CEN Default Combination=Eq. 6.10 Reliability=Class 2
Interaction=Method 2 (Annex B) MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No
Consider Torsion? No Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1, GammaM1=1, GammaM2=1,25
q=1,5 Omega=1, GammaOV=1,1
An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75 D/C Lim=0,95

Aeff=4,800E-04 eNy=0, eNz=0,
A=4,800E-04 Iyy=0, iyy=0,014 Wel,yy=4,195E-06 Weff,yy=4,195E-06
It=0, Izz=0, izz=0,014 Wel,zz=4,195E-06 Weff,zz=4,195E-06
Iw=0, Iyz=0, h=0,042 Wpl,yy=5,858E-06 Av,y=3,056E-04
E=210000000, fy=275000, fu=430000, Wpl,zz=5,858E-06 Av,z=3,056E-04

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
2,329	-19,3	0,	0,	0,046	0,	0,001

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.3.3(4)-6.61)

$$D/C \text{ Ratio: } 0,756 = 0,729 + \sqrt{[(0,026)^2 + (0,)^2]} < 0,95 \text{ OK}$$

$$= \frac{Ned}{(Chi_y \cdot NRk / GammaM1)} + \sqrt{[kyy (My,Ed+NEd \cdot eNy) / (Chi_LT \cdot My,Rk / GammaM1)]^2 + [kyz (Mz,Ed+NEd \cdot eNz) / (Mz,Rk / GammaM1)]^2} \quad (EC3 \ 6.3.3(4)-6.61)$$

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd			
Axial	Force	Capacity	Capacity			
	-19,3	132,01	132,01			
	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag	
	132,01	148,619	38772,087	33,834	1,	
Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	c 0,49	33,834	1,975	2,886	0,2	26,457
MajorB (y-y)	c 0,49	33,834	1,975	2,886	0,2	26,457
Minor (z-z)	c 0,49	33,834	1,975	2,886	0,2	26,457
MinorB (z-z)	c 0,49	33,834	1,975	2,886	0,2	26,457
Torsional TF	c 0,49	33,834	1,975	2,886	0,2	26,457

MOMENT DESIGN

	Med	Med,span	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd
Major (y-y)	Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity
Major (y-y)	0,	0,027	1,611	1,611	1,611	1,611
Minor (z-z)	0,	0,	1,611	1,611	1,611	
Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
LTB	d 0,76	0,256	0,554	0,956	0,	24,531
Factors	kw	C1	C2	C3		
	1,	1,132	0,459	0,525		
	za	zs	zg	zz	zj	
	0,021	0,	0,021	0,	0,	
Factors	kyy	kyz	kzy	kzz		
	1,504	0,95	0,903	1,584		
	Ved	Vpl.Rd	Ved/Vpl.Rd	rho		
Major (z)	Force	Capacity	Ratio	Factor		
Major (z)	0,046	48,52	9,504E-04	1,		
Minor (y)	0,	48,52	0,	1,		

SHEAR DESIGN

	Ved	Ted	Vc,Rd	Stress	Status	
Major (z)	Force	Torsion	Capacity	Ratio	Check	
Major (z)	0,046	0,001	48,52	0,001	OK	
Minor (y)	0,	0,001	48,52	0,	OK	
	Vpl,Rd	Eta	LambdaBar	Chi		
Minor (y)	Capacity	Factor	Ratio	Factor		
Minor (y)	48,52	1,2	0,	1,		
Major (y)	48,52	1,2	0,	1,		

Figura 145 - Dimensionamento no "SAP2000" - Travamento 1E.4

c) 3º Processo de Dimensionamento - Software "SemiComp"

SEMICOMP Member Design

Cross-section type Circular hollow section ▼

Finishing Hot finished (EN 10210-2) ▼

Select from library (optional) CHS 42,4 x 4 ▼

Partial factors γ_M

$\gamma_{M0} = 1,00$

$\gamma_{M1} = 1,00$

Cross-section data

D = 42,4 [mm]

T = 4,0 [mm]

Material

Steel grade S275 ▼

$f_y = 275,0$ N/mm²

$E = 210000,0$ N/mm²

A [cm ²]	I_{yy} [cm ⁴]	I_{zz} [cm ⁴]	$W_{el,y}$ [cm ³]	$W_{el,z}$ [cm ³]	$W_{pl,y}$ [cm ³]	$W_{pl,z}$ [cm ³]
4,83	8,99	8,99	4,24	4,24	5,92	5,92

Boundary conditions

$L_{Beam} = 2,330$ m

$n_{fork} = 0$ [-]

Torsion restrained

strong Axis buckling restrained

weak Axis Buckling restrained

I_t [cm⁴]

I_w [cm⁶]

0,00 0,00

Loading in z-x-plane

$N_{Ed} = -19,30$ kN

$q_{z,Ed}^{(*)} = 0,00$ kN/m

$M_{y,left,Ed} = 0,00$ kNm

$M_{y,right,Ed} = 0,00$ kNm

$P_{z,Ed}^{(*)} = 0,00$ kN

Distance of Loading to shear center

$z_{si} = -21,20$ mm

Loading in y-x-plane

$q_{y,Ed}^{(*)} = 0,00$ kN/m

$M_{z,left,Ed} = 0,00$ kNm

$M_{z,right,Ed} = 0,00$ kNm

$P_{y,Ed}^{(*)} = 0,00$ kN

$M_{cr} = 0,00$ kNm Enter Mcr manually

$M_{cr,0} = 0,00$ kNm Use LTBeam

Note: LTBeam is a tool developed by CTICM to calculate the lateral torsional buckling moment of beams. You can download it for free at www.cticm.com.

Specify path of LTBeam.exe file:

C:\Program Files (x86)\LTBeam_v1010\LTBeam.exe

Definition of axes

Figura 146 - Folha 1 de 3 - Dimensionamento no "SemiComp" - Travamento 1E.4

SEMICOMP Cross-Section Check

Choose method EN 1993-1-1 (elastic Resistance) ▾

$N_{Ed} =$ -19,300 kN	$V_{z,Ed} =$ 0,000 kN	Perform cross-section checks
$M_{y,Ed} =$ 0,000 kNm	$V_{y,Ed} =$ 0,000 kN	
$M_{z,Ed} =$ 0,000 kNm		

Reference values for classification

$c/t_w =$ 10,600	$\alpha_{web} =$ NaN	$\psi_{web} =$ NaN	$\varepsilon =$ 0,924
$c/t_f =$ 10,600	$\alpha_{flange} =$ NaN	$\psi_{flange} =$ NaN	$\varepsilon_{mod, c/3/4} =$ NaN

Boundaries

	Class 1	Class 2	Class 3
$c/t_w \leq c/t_{w, max} =$	42,727	59,818	76,909
$c/t_f \leq c/t_{f, max} =$	42,727	59,818	76,909

Cross section class = 1

Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations.

$M_{pl,y,Rd} =$ 1,63 kNm	$M_{pl,z,Rd} =$ 1,63 kNm	$V_{pl,z,Rd} =$ 48,77 kN
$M_{el,y,Rd} =$ 1,17 kNm	$M_{el,z,Rd} =$ 1,17 kNm	$V_{pl,y,Rd} =$ 48,77 kN
$N_{Rd} =$ 132,70 kN		

EN 1993-1-1, 6.2.3 / 6.2.4

Tension or compression

$U_{(6.5)/(6.9)} =$ 0,145 $\leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.5

Bending moment

$U_{strong A} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

$U_{weak A} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.6

Shear

$U_{z-plastic} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok $U_{y-plastic} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

$U_{z-elastic} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok $U_{y-elastic} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

$h_w/t_w =$ 0,000 $\leq 72\epsilon/\eta =$ 0,000 ok

EN 1993-1-1, 6.2.9

Bending and axial force

$U_{(6.41)/(6.42)} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok $UF =$ 0,000

Comment: Shear Interaction is not considered within this software tool. If the utilization for shear is higher than 0.5, an additional check for shear interaction is necessary.

Figura 147 - Folha 2 de 3 - Dimensionamento no "SemiComp" - Travamento 1E.4

SEMICOMP Member Check

Choose method for member check	Choose method for cross-section resistance	Perform member design check
Method 2 (EN 1993-1-1 Annex B) ▾	EN 1993-1-1:2010-12 ▾	<input type="button" value="Perform member design check"/>

Section classification for member design check (based on 1. order cross-section forces)

Reference values for classification in the worst section along the member

$c/t_w = 10,600$	$\alpha_{web} = \text{NaN}$	$\psi_{web} = \text{NaN}$	$\varepsilon = 0,924$
$c/t_f = 10,600$	$\alpha_{flange} = \text{NaN}$	$\psi_{flange} = \text{NaN}$	

Boundaries		Class 1	Class 2	Class 3	
$c/t_w \leq c/t_{w, \max} =$		42,727	59,818	76,909	
$c/t_f \leq c/t_{f, \max} =$		42,727	59,818	76,909	

Member class = 1

Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations. The user should check if parts of member are Class 4 in the "Additional info"-sheet.

Member Check

$N_{Rd} = 132,701$ kN	$M_{pl,y,Rd} = 1,628$ kNm	$N_{Ed} = -19,300$ kN
$M_{y,Rd} = 1,628$ kNm	$M_{pl,z,Rd} = 1,628$ kNm	$M_{y,Ed,max} = 0,000$ kNm
$M_{z,Rd} = 1,628$ kNm	$M_{el,y,Rd} = 1,166$ kNm	$M_{z,Ed,max} = 0,000$ kNm
	$M_{el,z,Rd} = 1,166$ kNm	

<i>Strong axis buckling</i>	<i>Weak axis buckling</i>	<i>Lateral torsional buckling</i>
$L_{cr,y} = 2,330$ m	$L_{cr,z} = 2,330$ m	$M_{cr} = \text{inf.}$ kNm
$N_{cr,y} = 34,325$ kN	$N_{cr,z} = 34,325$ kN	$\alpha_{LT} = 0,00$ [-]
$\alpha_y = 0,21$ [-]	$\alpha_z = 0,21$ [-]	$\lambda_{LT} = 0,000$ [-]
$\lambda_y = 1,966$ [-]	$\lambda_z = 1,966$ [-]	$\chi_{LT,mod} = 1,000$ [-]
$\chi_y = 0,230$ [-]	$\chi_z = 0,230$ [-]	$f_{mod} = 0,000$ [-]

EN 1993-1-1, 6.3.3

Uniform member in bending and axial compression

Eq. (6.61):	$U = 0,632 \leq 1,0$	ok	$C_{my} = 0,000$ [-]	$k_{yy} = 0,000$
Eq. (6.62):	$U = 0,632 \leq 1,0$	ok	$C_{mz} = 0,000$ [-]	$k_{yz} = 0,000$
			$C_{mLT} = 0,000$ [-]	$k_{zy} = 0,000$
				$k_{zz} = 0,000$

Cross-section check at each end of the member

Left end:	$U = 0,145 \leq 1,0$	ok	$UF = 0,145$
Right end:	$U = 0,145 \leq 1,0$	ok	$UF = 0,145$

Additional member checks

EN 1993-1-1, 6.3.1

Strong axis flexural buckling check

Eq. (6.46): $N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0,632 \leq 1,0$ **ok**

Weak axis flexural buckling check

Eq. (6.46): $N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0,632 \leq 1,0$ **ok**

EN 1993-1-1, 6.3.2

Lateral torsional buckling

Eq. (6.54): $M_{Ed}/M_{b,Rd} = 0,000 \leq 1,0$ **ok**

Figura 148 - Folha 3 de 3 - Dimensionamento no "SemiComp" - Travamento 1E.4

d) Comparação de resultados dos três procedimentos

Tabela 98 - Comparação de resultados - Travamento 1E.4

Rádios de ELU ou Parâmetro	Rotina de		Δ (%)	"SemiComp"	Δ (%)
	Cálculo	"SAP2000"			
		"Excel"			
Esforço Axial de Compressão	0,15	0,15	0,0	0,15	0,0
Encurvadura em colunas	Eixo y-y	0,64	0,76	17,8	1,6
	Eixo z-z	0,64	0,76	17,8	1,6

Nota: O "SAP2000" considera para a secção tubular em estudo a curva de encurvadura "c" ao contrário do EC3-1-1 que recomenda a curva "a".

Conclusão

Em seguida apresentam-se os rácios de dimensionamento dos travamentos dos cordões inferiores do sector 4, obtidos pela folha de cálculo em "Excel" e pelo "SAP2000" bem como as diferenças percentuais registadas.

Tabela 99 - Dimensionamento dos Travamentos dos Cordões Inferiores - Sector 4

Travamentos CI Sector 4	Nº "SAP2000"	Combinação Condicionante	Perfil	Rácio "Excel"	Rácio "SAP2000"	Δ (%)
1E	2145	ELU(T-)_SC_I	CHS42,2x4	0,643	0,757	17,8%
1D	2192	ELU(T-)_SC_I	CHS42,2x4	0,640	0,753	17,7%
2E	2146	ELU(T-)_SC_I	CHS42,2x4	0,518	0,613	18,3%
2D	2183	ELU(T-)_SC_I	CHS42,2x4	0,534	0,631	18,3%
3E	2148	ELU(T-)_SC_I	CHS42,2x4	0,405	0,483	19,3%
3D	2185	ELU(T-)_SC_I	CHS42,2x4	0,388	0,464	19,6%
4E	2150	ELU(T-)_SC_I	CHS42,2x4	0,264	0,321	21,5%
4D	2187	ELU(T-)_SC_I	CHS42,2x4	0,272	0,329	21,1%
5E	2152	ELU(T-)_SC_I	CHS42,2x4	0,225	0,275	22,5%
5D	2189	ELU(T-)_SC_I	CHS42,2x4	0,214	0,263	22,8%
6E	2154	ELU(T-)_SC_I	CHS42,2x4	0,208	0,256	22,9%
6D	2191	ELU(T-)_SC_I	CHS42,2x4	0,214	0,263	22,7%

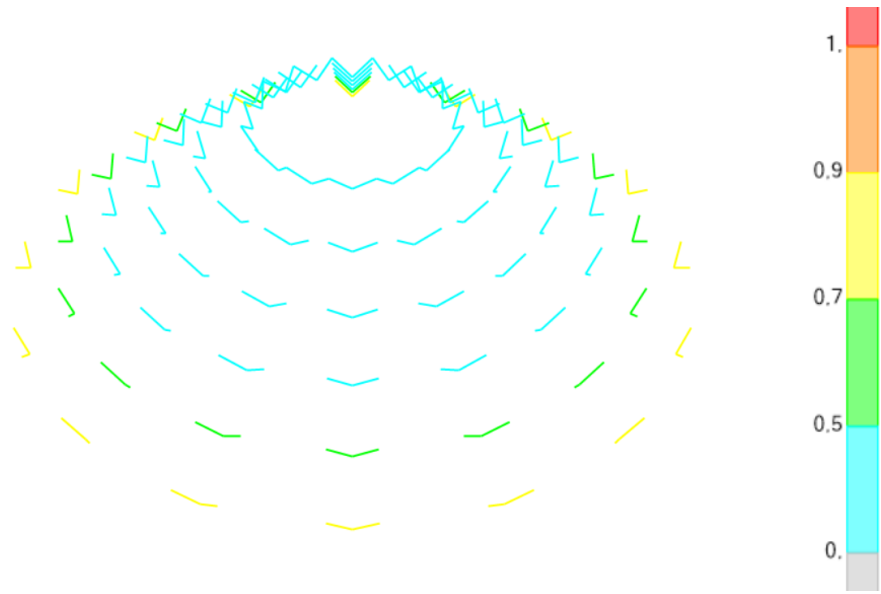


Figura 149 - Rácios de dimensionamento

Travamentos dos Anéis Rigidizadores

Estados Limites Últimos

Em relação a estas barras junta-se o exemplo do dimensionamento do travamento T4.

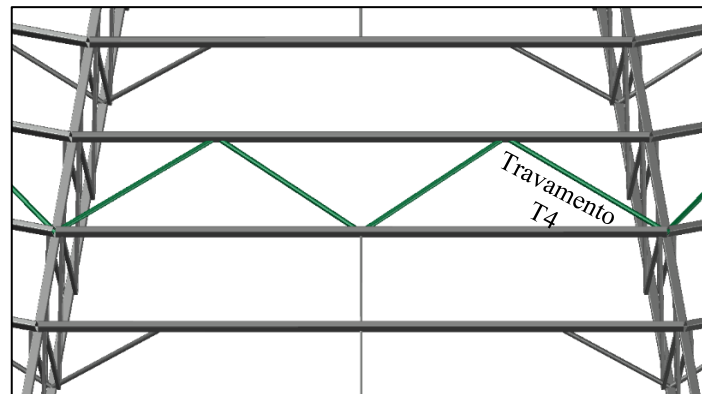


Figura 150 - Travamentos dos anéis rigidizadores

- **Esforços de cálculo**

Na figura está representado o diagrama de esforços axiais para a combinação condicionante ELU(T+)_SC.

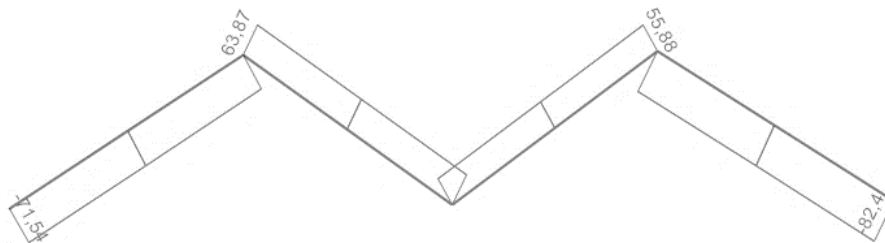


Figura 151 - Diagramas de esforços axiais

a) 1º Processo de Dimensionamento - Rotina de cálculo em “Excel”

Relatório de Dimensionamento de Elementos Metálicos			
1- Características do Elemento			
Função Estrutural do Elemento: Diagonal do Anel Rigificador Nível 1			
Tipo de Elemento: Coluna			
Comprimento do Elemento= 2,79 m			
Número do Elemento no modelo SAP: 2020			
Combinação Condicionante: ELU(T+)_SC			
Coeficientes Parciais de Segurança γ_{M1} : $\gamma_{M0}=1,00$ $\gamma_{M1}=1,00$ $\gamma_{M2}=1,25$			
2- Esforços de Cálculo Atuantes			
Secção Apoio Esquerdo	Secção do Meio Vão	Secção Apoio Direito	
$N_{Ed} = -82,4$ kN	$N_{Ed} = -82,4$ kN	$N_{Ed} = -82,4$ kN	
$V_{y,Ed} = 0$ kN	$V_{y,Ed} = 0$ kN	$V_{y,Ed} = 0$ kN	
$V_{z,Ed} = 0$ kN	$V_{z,Ed} = 0$ kN	$V_{z,Ed} = 0$ kN	
$M_{y,Ed} = 0$ kN.m	$M_{y,Ed} = 0$ kN.m	$M_{y,Ed} = 0$ kN.m	
$M_{z,Ed} = 0$ kN.m	$M_{z,Ed} = 0$ kN.m	$M_{z,Ed} = 0$ kN.m	
3- Propriedades do Material			
Classe do Aço: S275 H	$f_y = 275$ N/mm ²	$G = 81000$ N/mm ²	
	$f_u = 430$ N/mm ²	$E = 210000$ N/mm ²	
4- Propriedades Geométricas da Secção Transversal			
Perfil: CHS 73x4	$D = 73$ mm	$t = 4$ mm	
$A = 8,67$ cm ²	$A_v = 5,52$ cm ²	$I = 51,78$ cm ⁴	
$i = 2,44$ cm	$W_{pl} = 19,07$ cm ³	$W_{el} = 14,19$ cm ³	
$I_t = 103,20$ cm ⁴	$I_w = 0,00 \times 10^{-3}$ cm ⁶	$y_0 = 0,00$ mm	
$z_0 = 0,00$ mm			
5- Classificação da Secção Transversal			
$\varepsilon:$ 0,92	Secção em Flexão e/ou Compressão		
	Classe 1	Classe 2	Classe 3
$D/t:$ 18,25	≤ 42,73	59,82	76,91
	Classe Adotada: 1		
6- Esforços Resistentes de Cálculo			
$N_{pl,Rd} = 238,4$ kN	$N_{u,Rd} = -$ kN	$N_{net,Rd} = -$ kN	
$N_{t,Rd} = 238,4$ kN	$N_{c,Rd} = 238,4$ kN	$V_{c,y,Rd} = 87,6$ kN	
$V_{c,z,Rd} = 87,6$ kN	$M_{c,y,Rd} = 5,2$ kN.m	$M_{c,z,Rd} = 5,2$ kN.m	
$M_{y,v,Rd} = 5,2$ kN.m	$M_{z,v,Rd} = 5,2$ kN.m	$M_{N,y,Rd} = 4,4$ kN.m	
$M_{N,z,Rd} = 4,4$ kN.m	$M_{Nv,y,Rd} = 4,4$ kN.m	$M_{Nv,z,Rd} = 4,4$ kN.m	
$N_{b,y,Rd} = 110,1$ kN	$N_{b,z,Rd} = 110,1$ kN	$N_{b,T,Rd} = 238,4$ kN	
$M_{b,Rd} = 5,2$ kN.m			

Figura 152 - Folha 1 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em “Excel” - Travamento T4.3

7- Resistência da Seção Transversal		Secção Apoio Direito	
NP EN 1993-1-1, 6.2.3 - Tração			
$N_{Ed}/N_{t,Rd} =$	$\leq 1,0$	-	(1)
NP EN 1993-1-1, 6.2.4 - Compressão			
$N_{Ed}/N_{c,Rd} =$	0,35 $\leq 1,0$	OK	(2)
NP EN 1993-1-1, 6.2.5 - Momento Fletor			
$M_{y,Ed}/M_{c,y,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	(3)
$M_{z,Ed}/M_{c,z,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	(4)
NP EN 1993-1-1, 6.2.6 - Esforço Transverso			
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (5)
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (6)
$\tau_{y,Ed}/(f_y/(3^{0,5}\gamma_{M0})) =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y (7)
$\tau_{z,Ed}/(f_y/(3^{0,5}\gamma_{M0})) =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z (8)
Encurvadura por Esforço Transverso ($h_w/t_w \leq 72\varepsilon/\eta$): Desprezar Em que $\eta = 1,0$			
NP EN 1993-1-1, 6.2.8 - Flexão com Esforço Transverso			
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} =$	0,00 $\leq 0,5$	Esforço Transverso sem significado	
$M_{y,Ed}/M_{y,V,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (9)
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} =$	0,00 $\leq 0,5$	Esforço Transverso sem significado	
$M_{z,Ed}/M_{z,V,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (10)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_v)^2 =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y (11)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_v)^2 =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z (12)
NP EN 1993-1-1, 6.2.9 - Flexão Composta			
$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (13)
$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (14)
$\sigma_{Ed}/f_y =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y (15)
$\sigma_{Ed}/f_y =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z (16)
NP EN 1993-1-1, 6.2.10 - Flexão Composta Desviada com Esforço Transverso			
$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^\alpha + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^\beta =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (17)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_v)^2 =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 (18)

Figura 153 - Folha 2 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em "Excel" - Travamento T4.3

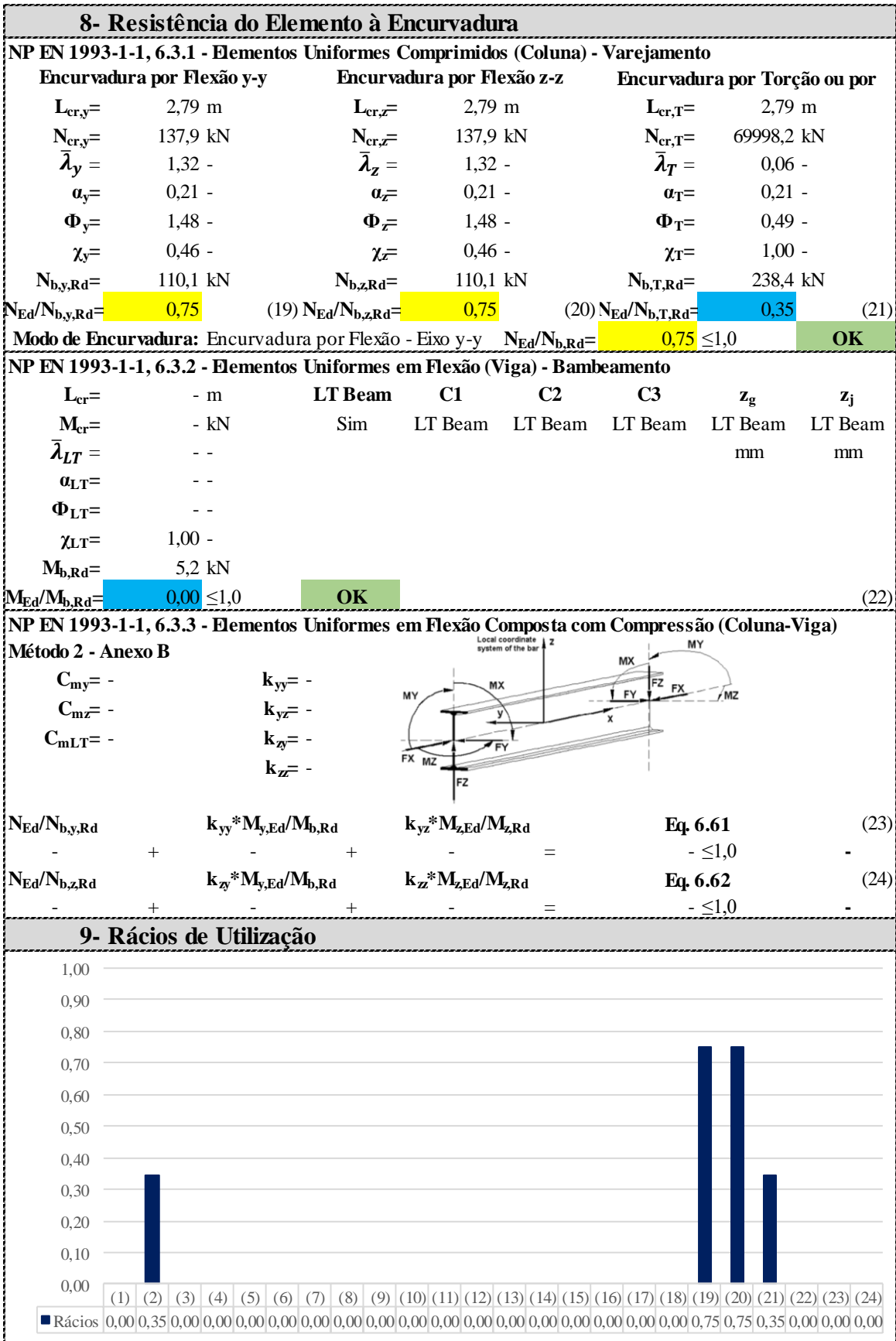


Figura 154 - Folha 3 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em "Excel" - Travamento T4.3

b) 2º Processo de Dimensionamento - Software "SAP2000"

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : 2020 X Mid: -16,076 Combo: ELU(T-)_SC_I Design Type: Brace
Length: 2,787 Y Mid: -14,636 Shape: CHS 73X4 Frame Type: DCH-MRF
Loc : 2,787 Z Mid: 16,638 Class: Class 1 Rolled : No

Country=CEN Default Combination=Eq. 6.10 Reliability=Class 2
Interaction=Method 2 (Annex B) MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No
Consider Torsion? No Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1, GammaM1=1, GammaM2=1,25
q=1,5 Omega=1, GammaOV=1,1
An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75 D/C Lim=0,95

Aeff=8,671E-04 eNy=0, eNz=0, Wel,yy=1,419E-05 Weff,yy=1,419E-05
A=8,671E-04 Iyy=0, iyy=0,024 Wel,zz=1,419E-05 Weff,zz=1,419E-05
It=1,036E-06 Izz=0, izz=0,024 Wpl,yy=1,907E-05 Av,y=5,520E-04
Iw=0, Iyz=0, h=0,073 Wpl,zz=1,907E-05 Av,z=5,520E-04
E=210000000, fy=275000, fu=430000, Wpl,zz=1,907E-05 Av,z=5,520E-04

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
2,787	-83,033	0,	0,	0,119	0,	-0,212

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.3.3(4)-6.61)

D/C Ratio: 0,935 = 0,909 + sqrt[(0,026)^2 + (0,)^2] * 0,95 OK

$$= \frac{N_{ed}}{(Ch_i y N_{Rk} / \Gamma_{M1}) + \sqrt{[k_{yy} (M_y, Ed + N_{Ed} e_{Ny}) / (Ch_i L_T M_y, R_k / \Gamma_{M1})]^2 + [k_{yz} (M_z, Ed + N_{Ed} e_{Nz}) / (M_z, R_k / \Gamma_{M1})]^2}}$$
 (EC3 6.3.3(4)-6.61)

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd				
	Force	Capacity	Capacity				
Axial	-83,033	238,447	238,447				
	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag		
	238,447	268,448	70033,35	138,204	1,		
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	c	0,49	138,204	1,314	1,635	0,383	91,363
MajorB (y-y)	c	0,49	138,204	1,314	1,635	0,383	91,363
Minor (z-z)	c	0,49	138,204	1,314	1,635	0,383	91,363
MinorB (z-z)	c	0,49	138,204	1,314	1,635	0,383	91,363
Torsional TF	c	0,49	138,204	1,314	1,635	0,383	91,363

MOMENT DESIGN

	Med	Med,span	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd	
	Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity	
Major (y-y)	0,	0,083	5,243	5,243	5,243	5,243	
Minor (z-z)	0,	0,	5,243	5,243	5,243		
	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
LTB	d	0,76	0,21	0,526	0,992	0,	119,112
	Factors	kw	C1	C2	C3		
		1,	1,132	0,459	0,525		
		za	zs	zg	zz	zj	
		0,037	0,	0,037	0,	0,	
		kyy	kyz	kzy	kzz		
Factors		1,641	1,036	0,984	1,727		
		Ved	Vpl.Rd	Ved/Vpl.Rd	rho		
		Force	Capacity	Ratio	Factor		
Major (z)		0,119	87,642	0,001	1,		
Minor (y)		0,	87,642	0,	1,		

SHEAR DESIGN

	Ved	Ted	Vc,Rd	Stress	Status
	Force	Torsion	Capacity	Ratio	Check
Major (z)	0,119	0,212	87,642	0,001	OK
Minor (y)	0,	0,212	87,642	0,	OK
		Vpl,Rd	Eta	LambdaBar	Chi
		Capacity	Factor	Ratio	Factor
Minor (y)		87,642	1,2	0,	1,
Major (y)		87,642	1,2	0,	1,

Figura 155 - Dimensionamento no "SAP2000" - Travamento T4.3

c) Comparação de resultados dos dois procedimentos

Tabela 100 - Quadro comparativo - Travamento T4.3

Rádios de ELU ou Parâmetro	Rotina de Cálculo "Excel"	"SAP2000"	Δ (%)	"SemiComp"	Δ (%)
Esforço Axial de Compressão	0,35	0,35	0,0	-	-
Encurvadura em colunas	Eixo y-y	0,75	0,94	24,0	-
	Eixo z-z	0,75	0,94	24,0	-

Conclusão

Em baixo apresentam-se os rácios de dimensionamento dos travamentos dos anéis rigidizadores do sector 3 obtidos pela folha de cálculo em "Excel" e pelo "SAP2000" bem como as diferenças percentuais registadas.

Tabela 101 - Dimensionamento dos Travamentos dos Anéis Rigidizadores - Sector 3

Travamentos AR Sector 3	Nº "SAP2000"	Combinação Condicionante	Perfil	Rácio "Excel"	Rácio "SAP2000"	Δ (%)
T1N1	2017	ELU(T-)_SC_I	CHS73x4	0,654	0,813	24,4%
T2N1	2018	ELU(T-)_SC_I	CHS73x4	0,270	0,283	4,9%
T3N1	2019	ELU(W)_SC_I_T-	CHS73x4	0,242	0,255	5,5%
T4N1	2020	ELU(T-)_SC_I	CHS73x4	0,754	0,935	24,0%
T1N2	2021	ELU(W)_SC_T+	CHS48,3x4	0,493	0,602	22,1%
T2N2	2022	ELU(T-)_SC_I	CHS48,3x4	0,182	0,192	5,7%
T3N2	2023	ELU(W)_SC_I_T+	CHS48,3x4	0,136	0,147	7,9%
T4N2	2024	ELU(T-)_SC_I	CHS48,3x4	0,644	0,782	21,5%

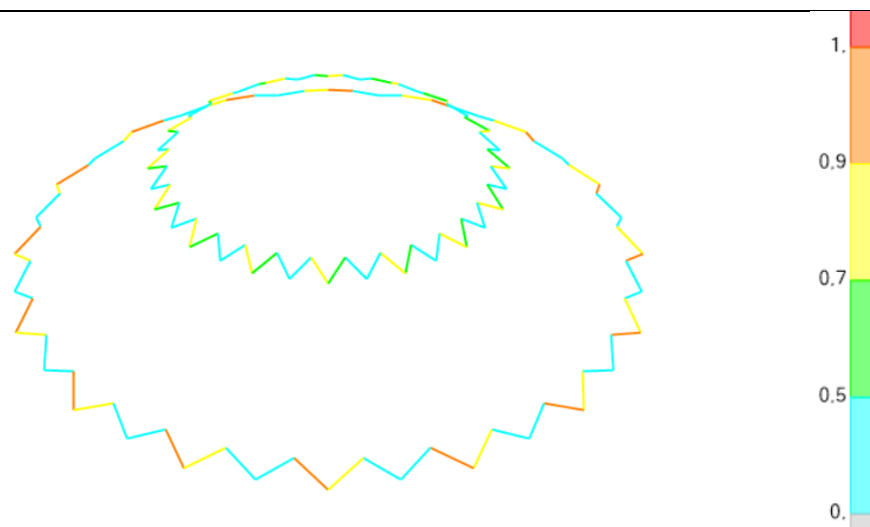


Figura 156 - Rádios de dimensionamento

Vigas da plataforma metálica

Estados Limites Últimos

Relativamente às vigas desta plataforma junta-se o exemplo do cálculo da viga principal nº1.

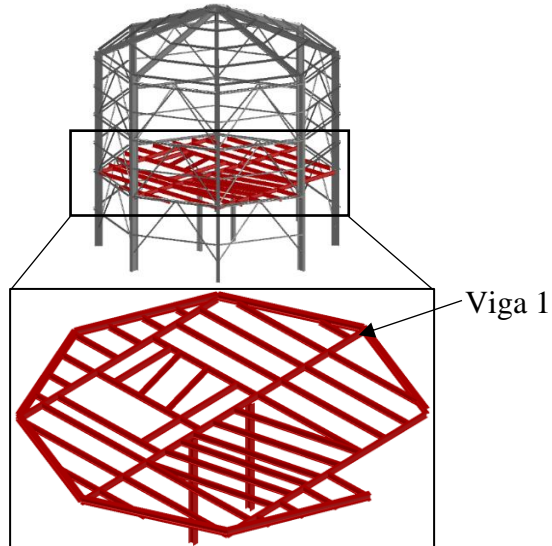


Figura 157 - Viga 1 da Plataforma Metálica

- **Esforços de cálculo**

Nas figuras estão indicados os diagramas de esforços para a combinação condicionante.

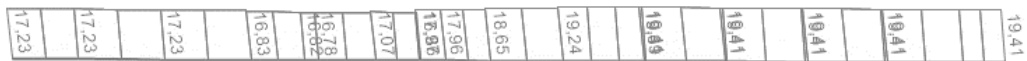


Figura 158 - Diagrama de esforço axial

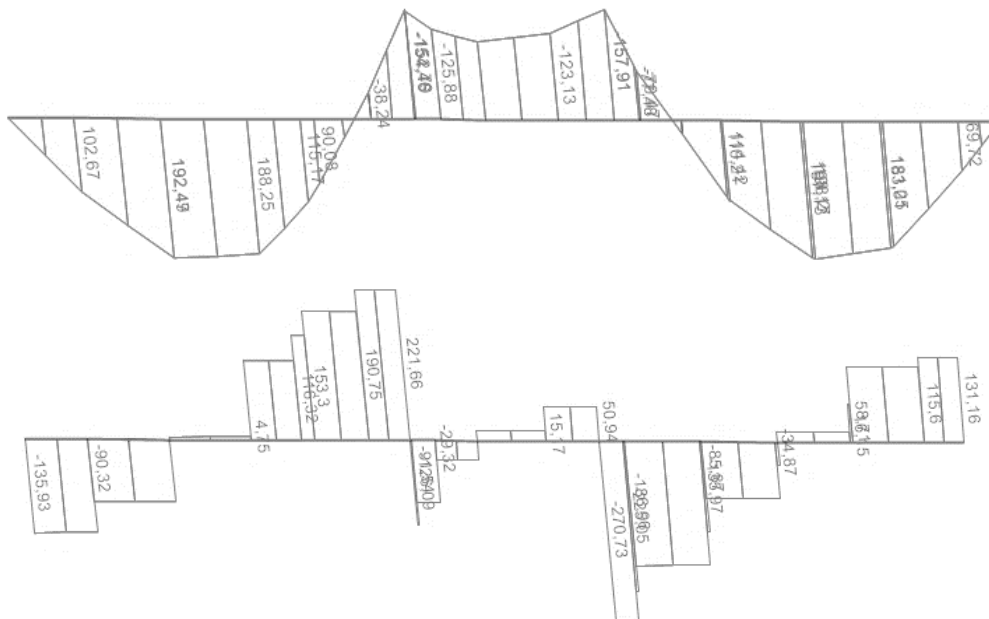


Figura 159 - Diagramas de esforços $M_{y,Ed}$ e $V_{z,Ed}$

a) 1º Método de Dimensionamento - Rotina de cálculo em “Excel”

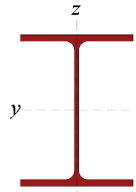
Relatório de Dimensionamento de Elementos Metálicos							
1- Características do Elemento							
Função Estrutural do Elemento: Viga da Plataforma Metálica							
Tipo de Elemento: Viga							
Comprimento do Elemento= 12m							
Número do Elemento no modelo SAP: 2405							
Combinação Condicionante: ELU(T+)_SC_W_I							
Coeficientes Parciais de Segurança γ_{Mi} : $\gamma_{M0}=1,00$ $\gamma_{M1}=1,00$ $\gamma_{M2}=1,25$							
2- Esforços de Cálculo Atuantes							
Secção Apoio Esquerdo			Secção do Meio Vão			Secção Apoio Direito	
$N_{Ed} =$	19,4 kN		$N_{Ed} =$	19,4 kN		$N_{Ed} =$	19,4 kN
$V_{y,Ed} =$	0 kN		$V_{y,Ed} =$	0 kN		$V_{y,Ed} =$	0 kN
$V_{z,Ed} =$	-270,73 kN		$V_{z,Ed} =$	15,23 kN		$V_{z,Ed} =$	114,73 kN
$M_{y,Ed} =$	-157,91 kN.m		$M_{y,Ed} =$	198,15 kN.m		$M_{y,Ed} =$	175,34 kN.m
$M_{z,Ed} =$	0 kN.m		$M_{z,Ed} =$	0 kN.m		$M_{z,Ed} =$	0 kN.m
3- Propriedades do Material							
Classe do Aço: S275			$f_y =$	275 N/mm ²	$G =$	81000 N/mm ²	
			$f_u =$	430 N/mm ²	$E =$	210000 N/mm ²	
4- Propriedades Geométricas da Secção Transversal							
Perfil: HEB220			$h =$	220 mm	$b =$	220 mm	
$t_w =$	9,5 mm		$t_f =$	16 mm	$r =$	18 mm	
$d =$	152 mm		$h_i =$	188 mm	$A =$	91,04 cm ²	
$A_{vz} =$	27,92 cm ²		$A_{vy} =$	70,40 cm ²	$I_{yy} =$	8090,96 cm ⁴	
$i_y =$	9,43 cm		$I_{zz} =$	2843,26 cm ⁴	$i_z =$	5,59 cm	
$W_{pl,y} =$	827,05 cm ³		$W_{pl,z} =$	393,88 cm ³	$W_{el,y} =$	735,54 cm ³	
$W_{el,z} =$	258,48 cm ³		$I_t =$	76,57 cm ⁴	$I_w =$	295,42 x10 ⁻³ cm ⁶	
$y_0 =$	0,00 mm		$z_0 =$	0,00 mm			
5- Classificação da Secção Transversal							
$\epsilon:$	0,92	Componente à Flexão			Componente à Compressão		
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3
$c/t_w:$	16,00 ≤	66,56	76,73	114,63	30,51	35,13	38,83
$c/t_f:$	5,45 ≤	-	-	-	8,32	9,24	12,94
	α_{web}	Alma à Flexão e à Compressão			Classificação - Resumo		
	Ψ_{web}	Classe 1	Classe 2	Classe 3	F	C	F+C
se	-	-	-	111,14	1	1	1
smv	-	-	-	111,74	1	1	1
sd	-	-	-	111,43	1	1	1
SemiComp:	-	Classe Semi-Comp:			-	Classe Adotada:	
						1	
6- Esforços Resistentes de Cálculo							
$N_{pl,Rd} =$	2503,6 kN	$N_{u,Rd} =$	- kN	$N_{net,Rd} =$	- kN		
$N_{t,Rd} =$	2503,6 kN	$N_{c,Rd} =$	2503,6 kN	$V_{c,y,Rd} =$	1117,8 kN		
$V_{c,z,Rd} =$	443,3 kN	$M_{c,y,Rd} =$	227,4 kN.m	$M_{c,z,Rd} =$	108,3 kN.m		
$M_{y,V,Rd} =$	227,4 kN.m	$M_{z,V,Rd} =$	108,3 kN.m	$M_{N,y,Rd} =$	227,4 kN.m		
$M_{N,z,Rd} =$	108,3 kN.m	$M_{NV,y,Rd} =$	227,4 kN.m	$M_{NV,z,Rd} =$	108,3 kN.m		
$N_{b,y,Rd} =$	2108,0 kN	$N_{b,z,Rd} =$	2495,8 kN	$N_{b,T,Rd} =$	2489,4 kN		
$M_{b,Rd} =$	227,4 kN.m						

Figura 160 - Folha 1 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em “Excel” - Viga 1

7- Resistência da Seção Transversal		Secção do Meio Vão	
NP EN 1993-1-1, 6.2.3 - Tração			
$N_{Ed}/N_{t,Rd} = 0,01 \leq 1,0$	OK		(1)
NP EN 1993-1-1, 6.2.4 - Compressão			
$N_{Ed}/N_{c,Rd} = - \leq 1,0$	-		(2)
NP EN 1993-1-1, 6.2.5 - Momento Fletor			
$M_{y,Ed}/M_{c,y,Rd} = 0,87 \leq 1,0$	OK		(3)
$M_{z,Ed}/M_{c,z,Rd} = 0,00 \leq 1,0$	OK		(4)
NP EN 1993-1-1, 6.2.6 - Esforço Transverso			
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} = 0,00 \leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2	(5)
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} = 0,03 \leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2	(6)
$\tau_{y,Ed}/(f_y/(3^{0,5}\gamma_{M0})) = - \leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y	(7)
$\tau_{z,Ed}/(f_y/(3^{0,5}\gamma_{M0})) = - \leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z	(8)
Encurvatura por Esforço Transverso ($h_w/t_w \leq 72\varepsilon/\eta$): Desprezar Em que $\eta = 1,0$			
NP EN 1993-1-1, 6.2.8 - Flexão com Esforço Transverso			
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} = 0,03 \leq 0,5$	Esforço Transverso sem significado		
$M_{y,Ed}/M_{y,v,Rd} = 0,87 \leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2	(9)
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} = 0,00 \leq 0,5$	Esforço Transverso sem significado		
$M_{z,Ed}/M_{z,v,Rd} = 0,00 \leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2	(10)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 = - \leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y	(11)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 = - \leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z	(12)
NP EN 1993-1-1, 6.2.9 - Flexão Composta			
$N_{Ed}/N_{pl,Rd} = - \leq 0,25$	-		
$N_{Ed}/h_w t_w f_y = 0,05 \leq 0,50$	-		
$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} = 0,87 \leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2	(13)
$N_{Ed}/h_w t_w f_y = 0,05 \leq 1,0$	Esforço Axial sem significado		
$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} = 0,00 \leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2	(14)
$\sigma_{Ed}/f_y = - \leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y	(15)
$\sigma_{Ed}/f_y = - \leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z	(16)
NP EN 1993-1-1, 6.2.10 - Flexão Composta Desviada com Esforço Transverso			
$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^a + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^b = 0,76 \leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2	(17)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 = - \leq 1,0$	-	Classe 3	(18)

Figura 161 - Folha 2 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em "Excel" - Viga 1

8- Resistência do Elemento à Encurvadura

NP EN 1993-1-1, 6.3.1 - Elementos Uniformes Comprimidos (Coluna) - Varejamento						
Encurvadura por Flexão y-y	Encurvadura por Flexão z-z	Encurvadura por Torção ou por Flexão-Torção				
$L_{cr,y} = 4,83$ m	$L_{cr,z} = 1,00$ m	$L_{cr,T} = 1,00$ m				
$N_{cr,y} = 7188,3$ kN	$N_{cr,z} = 58930,0$ kN	$N_{cr,T} = 56144,7$ kN				
$\bar{\lambda}_y = 0,59$ -	$\bar{\lambda}_z = 0,21$ -	$\bar{\lambda}_T = 0,21$ -				
$\alpha_y = 0,34$ -	$\alpha_z = 0,49$ -	$\alpha_T = 0,49$ -				
$\Phi_y = 0,74$ -	$\Phi_z = 0,52$ -	$\Phi_T = 0,53$ -				
$\chi_y = 0,84$ -	$\chi_z = 1,00$ -	$\chi_T = 0,99$ -				
$N_{b,y,Rd} = 2108,0$ kN	$N_{b,z,Rd} = 2495,8$ kN	$N_{b,T,Rd} = 2489,4$ kN				
$N_{Ed}/N_{b,y,Rd} = 0,00$	(19) $N_{Ed}/N_{b,z,Rd} = 0,00$	(20) $N_{Ed}/N_{b,T,Rd} = 0,00$	(21)			
Modo de Encurvadura: -		$N_{Ed}/N_{b,Rd} =$ racionado	$\leq 1,0$	KO		
NP EN 1993-1-1, 6.3.2 - Elementos Uniformes em Flexão (Viga) - Bامبamento						
$L_{cr} = 2,42$ m	LT Beam	C1	C2	C3	z_g	z_j
$M_{cr} = 16797,0$ kN	Sim	LT Beam	LT Beam	LT Beam	LT Beam	LT Beam
$\bar{\lambda}_{LT} = 0,12$ -					mm	mm
$\alpha_{LT} = 0,21$ -						
$\Phi_{LT} = 0,50$ -						
$\chi_{LT} = 1,00$ -						
$M_{b,Rd} = 227,4$ kN						
$M_{Ed}/M_{b,Rd} = 0,87 \leq 1,0$	OK			(22)		
NP EN 1993-1-1, 6.3.3 - Elementos Uniformes em Flexão Composta com Compressão (Coluna-Viga)						
Método 2 - Anexo B						
$C_{my} = 0,91$	$k_{yy} = 0,91$					
$C_{mz} = 1,00$	$k_{yz} = 0,60$					
$C_{mLT} = 0,84$	$k_{zy} = 0,55$					
	$k_{zz} = 1,00$					
$N_{Ed}/N_{b,y,Rd}$	$k_{yy} * M_{y,Ed}/M_{b,Rd}$	$k_{yz} * M_{z,Ed}/M_{z,Rd}$	Eq. 6.61			(23)
0,00	+ 0,80	+ 0,00	0,80			OK
$N_{Ed}/N_{b,z,Rd}$	$k_{zy} * M_{y,Ed}/M_{b,Rd}$	$k_{zz} * M_{z,Ed}/M_{z,Rd}$	Eq. 6.62			(24)
0,00	+ 0,48	+ 0,00	0,48			OK

9- Rácios de Utilização

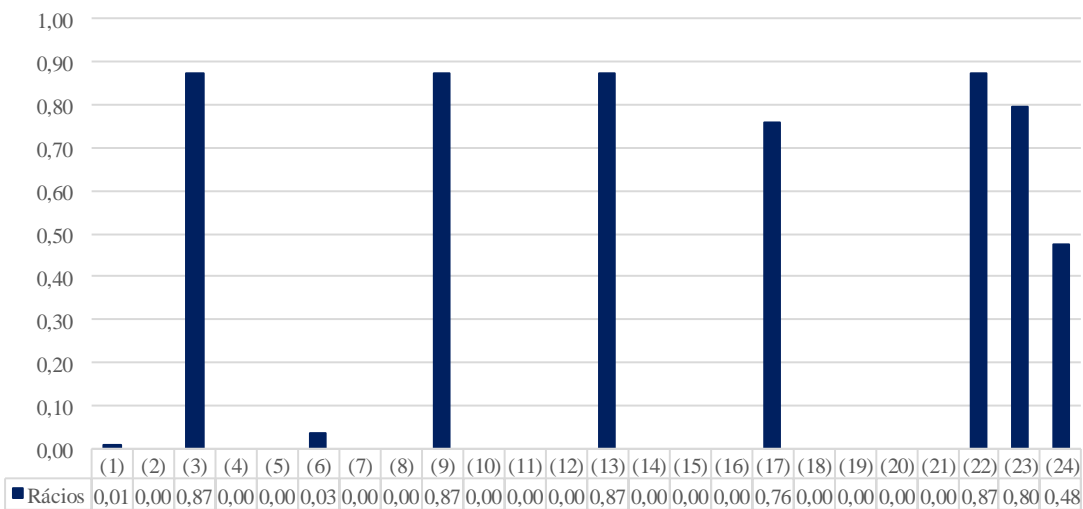


Figura 162 - Folha 3 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo rotina em "Excel" - Viga 1

b) 2º Método de Dimensionamento - Software "SAP2000"

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : 2405 X Mid: 0, Combo: ELU(T+)_SC_W_I Design Type: Beam
Length: 12, Y Mid: 0, Shape: HE220B Frame Type: DCL-MRF
Loc : 9,499 Z Mid: 35,55 Class: Class 1 Rolled : Yes

Country=CEN Default Combination=Eq. 6.10 Reliability=Class 2
Interaction=Method 2 (Annex B) MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No
Consider Torsion? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes
Ignore Seismic Code? No

GammaM0=1, GammaM1=1, GammaM2=1,25
q=1,5 Omega=1, GammaOV=1,1
An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75 D/C Lim=0,95

Aeff=0,009 eNy=0, eNz=0,
A=0,009 Iyy=8,091E-05 iyy=0,094 Wel,yy=7,355E-04 Weff,yy=7,355E-04
It=0, Izz=2,843E-05 izz=0,056 Wel,zz=2,585E-04 Weff,zz=2,585E-04
Iw=0, Iyz=0, h=0,22 Wpl,yy=8,270E-04 Av,y=0,007
E=210000000, fy=275000, fu=430000, Wpl,zz=3,940E-04 Av,z=0,003

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
9,499	19,407	198,195	0,773	-34,845	-3,624	0,002

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.2.9.1(6y))

D/C Ratio: 0,871 = 0,871 < 0,95 OK
= (My,Ed/Mn,y,Rd) (EC3 6.2.9.1(6y))

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Npl,Rd 2502,5	Nu,Rd 2817,36	Ncr,T 14034,065	Ncr,TF 14034,065	An/Ag 1,
Axial	19,407	2502,5	2502,5					
Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd		
Major (y-y)	b 0,34	7278,448	0,586	0,738	0,844	2111,718		
MajorB(y-y)	b 0,34	7278,448	0,586	0,738	0,844	2111,718		
Minor (z-z)	c 0,49	63937,174	0,198	0,519	1,	2502,5		
MinorB(z-z)	c 0,49	63937,174	0,198	0,519	1,	2502,5		
Torsional TF	c 0,49	14034,065	0,422	0,644	0,885	2215,903		

MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	198,195	198,195	227,425	227,425	227,425	217,786
Minor (z-z)	0,773	0,773	108,35	108,35	108,35	

LTB	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
	a	0,21	0,381	0,592	0,958	0,	1563,423

Factors	kw	C1	C2	C3	zj
	1,	1,19	0,	0,	
	za	zs	zg	zz	
	0,11	0,	0,11	0,	0,

Factors	kyy	kyz	kzy	kzz
	0,878	0,565	0,798	0,941

	Ved Force	Vpl.Rd Capacity	Ved/Vpl.Rd Ratio	rho Factor
Major (z)	34,845	442,654	0,079	1,
Minor (y)	3,624	1161,253	0,003	1,

SHEAR DESIGN

	Ved Force	Ted Torsion	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check
Major (z)	34,845	0,002	442,654	0,079	OK
Minor (y)	3,624	0,002	1161,253	0,003	OK

	Vpl,Rd Capacity	Eta Factor	Lambdabar Ratio	Chi Factor
Minor (y)	442,654	1,2	0,248	1,2
Major (y)	1161,253	1,2	0,	1,

Figura 163 - Dimensionamento no "SAP2000" - Viga 1

c) Comparação de resultados dos dois procedimentos

Tabela 102 - Quadro comparativo - Viga 1

Rácios de ELU		Rotina de Cálculo “Excel”	“SAP2000”	Δ (%)	“SemiComp”	Δ (%)
Flexão Composta (N+M)	Eixo y-y	0,87	0,87	0,0	-	-
	Eixo z-z	0,00	0,00	0,0	-	-

Estados Limites de Utilização

A verificação da flecha foi feita para a combinação quase-permanente. Considerou-se para o deslocamento máximo $L/300$.

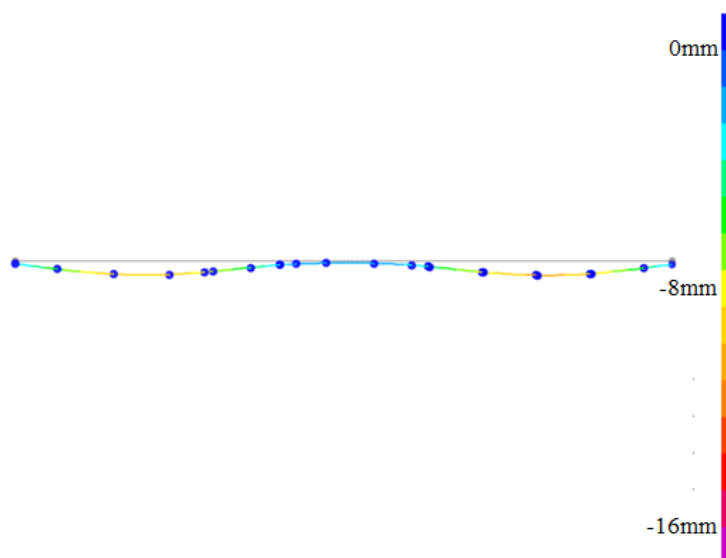


Figura 164 - Flecha da viga 1 - Combinação quase-permanente de ações

Tabela 103 - Resultados da flecha vertical máxima na viga 1

Viga (Nº. Troço)	Nº da Barra no “SAP2000”	L [m]	δ_v [mm]	δ_{adm} [mm]	Rácio
1 - 1	2405	4,75	9,47	15,83	0,60
1 - 2	2405	2,42	2,82	8,07	0,35
1 - 3	2405	4,83	10,00	16,1	0,63

Conclusão

Seguidamente apresentam-se os rácios de dimensionamento das vigas da plataforma, obtidos pela folha de cálculo em “Excel” e pelo “SAP2000” bem como as diferenças percentuais registadas.

Tabela 104 - Dimensionamento das vigas da plataforma metálica

Vigas Plataforma Metálica	Nº "SAP2000"	Combinação Condicionante	Perfil	Rácio "Excel"	Rácio "SAP2000"	Δ (%)
1	2405	ELU(T+)_SC_W_I	HEB220	0,870	0,871	0,1%
2	2408	ELU(W)_SC_I_T+	HEB320	0,663	0,663	0,0%
3	2409	ELU(W)_SC_I_T+	HEB340	0,823	0,823	0,0%
4	2411	ELU(T-)_SC	IPE100	0,784	0,784	0,0%
5	2410	ELU(T-)_SC	IPE100	0,394	0,394	0,0%
6	2417	ELU(T-)_SC	IPE100	0,088	0,088	0,2%
7	2416	ELU(T-)_SC	IPE100	0,233	0,234	0,4%
8	2415	ELU(T-)_SC	IPE100	0,433	0,433	0,0%
9	2412	ELU(T-)_SC	IPE100	0,433	0,433	0,0%
10	2413	ELU(T-)_SC	IPE100	0,233	0,233	0,0%
11	2414	ELU(T-)_SC	IPE100	0,088	0,088	0,2%
12	2419	ELU(T-)_SC	IPE100	0,088	0,089	0,9%
13	2420	ELU(T-)_SC	IPE100	0,233	0,233	0,0%
14	2418	ELU(T-)_SC	IPE100	0,433	0,433	0,0%
15	2423	ELU(T-)_SC	IPE100	0,947	0,947	0,0%
16	2424	ELU(T-)_SC	IPE100	0,947	0,947	0,0%
17	2422	ELU(T-)_SC	IPE200	0,804	0,803	0,2%
18	2421	ELU(T-)_SC	IPE200	0,804	0,803	0,2%
19	2426	ELU(T-)_SC_I	IPE180	0,936	0,939	0,4%
20	2441	ELU(T+)_SC_I	IPE180	0,861	0,883	2,6%
21	2427	ELU(W)_SC_T+	IPE160	0,948	0,948	0,0%
22	2431	ELU(T-)_SC	IPE100	0,613	0,613	0,0%
23	2428	ELU(W)_SC_T+	IPE200	0,925	0,926	0,1%
24	2434	ELU(T+)_SC_W	IPE140	0,846	0,847	0,1%
25	2436	ELU(T-)_SC	IPE100	0,790	0,79	0,0%
26	2435	ELU(T-)_SC	IPE100	0,637	0,638	0,1%
27	2432	ELU(W)_SC_T+	IPE140	0,731	0,732	0,2%
28	2433	ELU(W)_SC_T+	IPE220	0,615	0,615	0,1%
29	2442	ELU(T-)_SC	IPE180	0,764	0,766	0,3%
30	2443	ELU(T-)_SC	IPE180	0,866	0,868	0,3%
31	2444	ELU(T-)_SC	IPE160	0,961	0,96	0,1%

Vigas Plataforma Metálica	Nº "SAP2000"	Combinação Condicionante	Perfil	Rácio "Excel"	Rácio "SAP2000"	Δ (%)
32	2445	ELU(T-)_SC	IPE180	0,812	0,814	0,2%
33	2446	ELU(T-)_SC	IPE200	0,765	0,764	0,1%
34	2447	ELU(W)_SC_T+	IPE180	0,826	0,872	5,6%
35	2448	ELU(T-)_SC	IPE180	0,871	0,873	0,2%
36	2451	ELU(T+)_SC_I	IPE200	0,865	0,866	0,2%
37	2437	ELU(T+)_SC_I	IPE200	0,865	0,865	0,1%
38	2449	ELU(W)_SC_T+	IPE200	0,865	0,886	2,5%
39	2438	ELU(W)_SC_T+	IPE200	0,865	0,886	2,5%
40	2450	ELU(W)_SC_T-	IPE200	0,836	0,852	1,9%
41	2439	ELU(W)_SC_T-	IPE180	0,860	0,88	2,4%
42	2440	ELU(T+)_SC_I	IPE100	0,397	0,399	0,5%

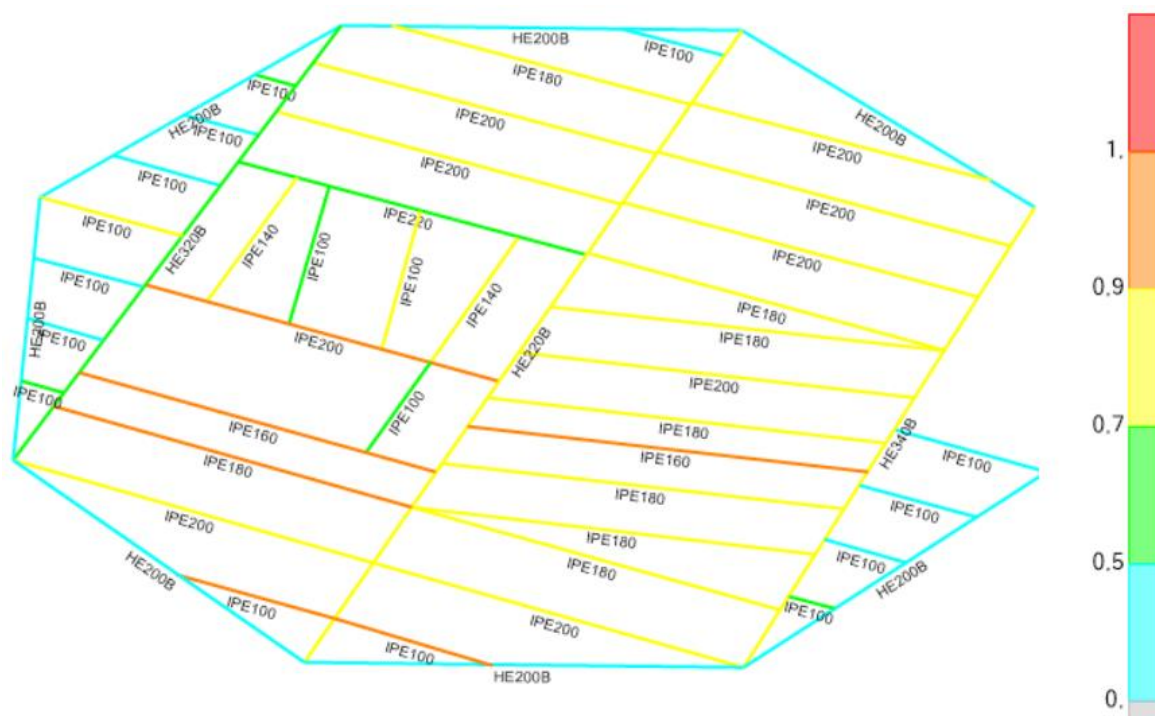


Figura 165 - Rácios de dimensionamento

Madres da cobertura da torre metálica

Estados Limites Últimos

Junta-se o exemplo do cálculo da madre 2 do sector 1 da torre.

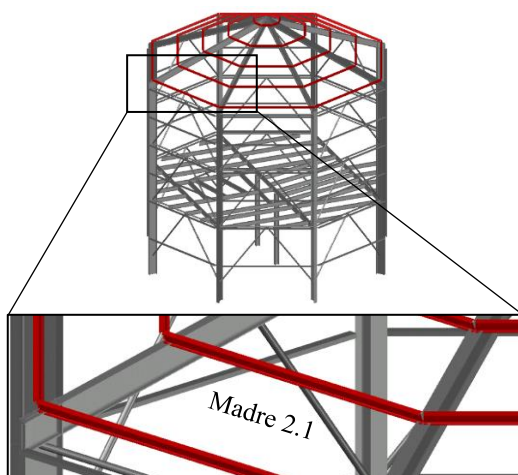


Figura 166 - Madre 2 do sector 1 da torre metálica

- **Esforços de cálculo**

Nas figuras estão indicados os diagramas de esforços para a combinação condicionante ELU(W).

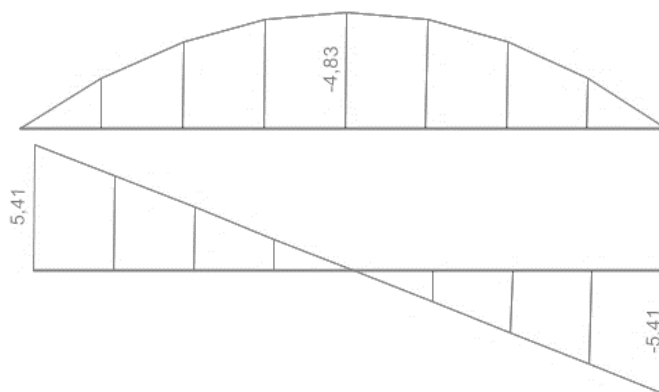


Figura 167 - Diagramas de esforços $M_{y,Ed}$ e $V_{z,Ed}$

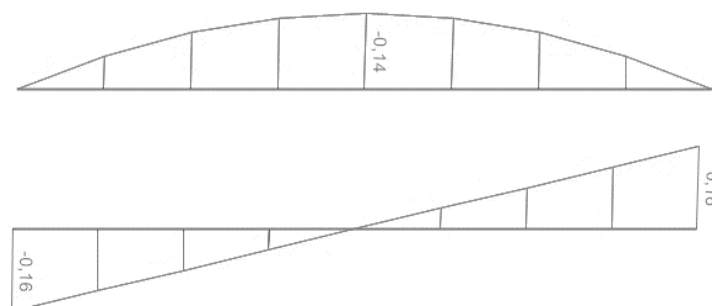


Figura 168 - Diagramas de esforços $M_{z,Ed}$ e $V_{y,Ed}$

a) 1º Método de Dimensionamento - Rotina de cálculo em “Excel”

Relatório de Dimensionamento de Elementos Metálicos									
1- Características do Elemento									
Função Estrutural do Elemento: Madre da Cobertura da Torre Metálica									
Tipo de Elemento: Viga									
Comprimento do Elemento= 3,57 m									
Número do Elemento no modelo SAP: 2539									
Combinação Condicionante: ELU(W)									
Coeficientes Parciais de Segurança γ_{Mi} : $\gamma_{M0}=1,00$ $\gamma_{M1}=1,00$ $\gamma_{M2}=1,25$									
2- Esforços de Cálculo Atuantes									
Secção Apoio Esquerdo			Secção do Meio Vão			Secção Apoio Direito			
N_{Ed} =	0,00 kN		N_{Ed} =	0,00 kN		N_{Ed} =	0,00 kN		
$V_{y,Ed}$ =	0,16 kN		$V_{y,Ed}$ =	0,00 kN		$V_{y,Ed}$ =	0,16 kN		
$V_{z,Ed}$ =	5,41 kN		$V_{z,Ed}$ =	0,00 kN		$V_{z,Ed}$ =	-5,41 kN		
$M_{y,Ed}$ =	0,00 kN.m		$M_{y,Ed}$ =	-4,83 kN.m		$M_{y,Ed}$ =	0,00 kN.m		
$M_{z,Ed}$ =	0,00 kN.m		$M_{z,Ed}$ =	-0,14 kN.m		$M_{z,Ed}$ =	0,00 kN.m		
3- Propriedades do Material									
Classe do Aço: S275			f_y =	275 N/mm ²		G =	81000 N/mm ²		
			f_u =	430 N/mm ²		E =	210000 N/mm ²		
4- Propriedades Geométricas da Secção Transversal									
Perfil: IPE120			h =	120 mm		b =	64 mm		
t_w =	4,4 mm		t_f =	6,3 mm		r =	7 mm		
d =	93,4 mm		h_i =	107,4 mm		A =	13,21 cm ²		
A_{vz} =	6,31 cm ²		A_{vy} =	8,06 cm ²		I_{yy} =	317,75 cm ⁴		
i_y =	4,90 cm		I_{zz} =	27,67 cm ⁴		i_z =	1,45 cm		
$W_{pl,y}$ =	60,73 cm ³		$W_{pl,z}$ =	13,58 cm ³		$W_{el,y}$ =	52,96 cm ³		
$W_{el,z}$ =	8,65 cm ³		I_t =	1,74 cm ⁴		I_w =	0,89 x10 ⁻³ cm ⁶		
y_0 =	0,00 mm		z_0 =	0,00 mm					
5- Classificação da Secção Transversal									
ϵ :	0,92		Componente à Flexão			Componente à Compressão			
			Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3	
c/t_w :	21,23	≤	66,56	76,73	114,63	30,51	35,13	38,83	
c/t_f :	3,62	≤	-	-	-	8,32	9,24	12,94	
			Alma à Flexão e à Compressão			Classificação - Resumo			
	α_{web}	Ψ_{web}	Classe 1	Classe 2	Classe 3	F	C	F+C	
se	-	-	-	-	114,63	1	1	1	
smv	-	-	-	-	114,63	1	1	1	
sd	-	-	-	-	114,63	1	1	1	
SemiComp:	-	-	Classe Semi-Comp:			-	Classe Adotada:		1
6- Esforços Resistentes de Cálculo									
$N_{pl,Rd}$ =	363,3 kN		$N_{u,Rd}$ =	- kN		$N_{net,Rd}$ =	- kN		
N_t,Rd =	363,3 kN		$N_{c,Rd}$ =	363,3 kN		$V_{c,y,Rd}$ =	128,0 kN		
$V_{c,z,Rd}$ =	100,1 kN		$M_{c,y,Rd}$ =	16,7 kN.m		$M_{c,z,Rd}$ =	3,7 kN.m		
$M_{y,V,Rd}$ =	16,7 kN.m		$M_{z,V,Rd}$ =	3,7 kN.m		$M_{N,y,Rd}$ =	16,7 kN.m		
$M_{N,z,Rd}$ =	3,7 kN.m		$M_{NV,y,Rd}$ =	16,7 kN.m		$M_{NV,z,Rd}$ =	3,7 kN.m		
$N_{b,y,Rd}$ =	280,8 kN		$N_{b,z,Rd}$ =	40,0 kN		$N_{b,T,Rd}$ =	267,0 kN		
$M_{b,Rd}$ =	8,2 kN.m								

Figura 169 - Folha 1 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em “Excel” - Madre 2.1

7- Resistência da Seção Transversal	Secção do Meio Vão
NP EN 1993-1-1, 6.2.3 - Tração	
$N_{Ed}/N_{t,Rd} = \leq 1,0$	- (1)
NP EN 1993-1-1, 6.2.4 - Compressão	
$N_{Ed}/N_{c,Rd} = \leq 1,0$	- (2)
NP EN 1993-1-1, 6.2.5 - Momento Fletor	
$M_{y,Ed}/M_{c,y,Rd} = 0,29 \leq 1,0$	OK (3)
$M_{z,Ed}/M_{c,z,Rd} = 0,04 \leq 1,0$	OK (4)
NP EN 1993-1-1, 6.2.6 - Esforço Transverso	
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} = 0,00 \leq 1,0$	OK Classe 1 e 2 (5)
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} = 0,00 \leq 1,0$	OK Classe 1 e 2 (6)
$\tau_{y,Ed}/(f_y/(3^{0,5}\gamma_{M0})) = \leq 1,0$	- Classe 3 Eixo y-y (7)
$\tau_{z,Ed}/(f_y/(3^{0,5}\gamma_{M0})) = \leq 1,0$	- Classe 3 Eixo z-z (8)
Encurvatura por Esforço Transverso ($h_w/t_w \leq 72\varepsilon/\eta$): Desprezar Em que $\eta = 1,0$	
NP EN 1993-1-1, 6.2.8 - Flexão com Esforço Transverso	
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} = 0,00 \leq 0,5$	Esforço Transverso sem significado
$M_{y,Ed}/M_{y,v,Rd} = 0,29 \leq 1,0$	OK Classe 1 e 2 (9)
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} = 0,00 \leq 0,5$	Esforço Transverso sem significado
$M_{z,Ed}/M_{z,v,Rd} = 0,04 \leq 1,0$	OK Classe 1 e 2 (10)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 = \leq 1,0$	- Classe 3 Eixo y-y (11)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 = \leq 1,0$	- Classe 3 Eixo z-z (12)
NP EN 1993-1-1, 6.2.9 - Flexão Composta	
$N_{Ed}/N_{pl,Rd} = \leq 0,25$	-
$N_{Ed}/h_w t_w f_y = 0,00 \leq 0,50$	-
$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} = 0,29 \leq 1,0$	OK Classe 1 e 2 (13)
$N_{Ed}/h_w t_w f_y = 0,00 \leq 1,0$	Esforço Axial sem significado
$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} = 0,04 \leq 1,0$	OK Classe 1 e 2 (14)
$\sigma_{Ed}/f_y = \leq 1,0$	- Classe 3 Eixo y-y (15)
$\sigma_{Ed}/f_y = \leq 1,0$	- Classe 3 Eixo z-z (16)
NP EN 1993-1-1, 6.2.10 - Flexão Composta Desviada com Esforço Transverso	
$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^a + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^b = 0,12 \leq 1,0$	OK Classe 1 e 2 (17)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 = \leq 1,0$	- Classe 3 (18)

Figura 170 - Folha 2 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em "Excel" - Madre 2.1

8- Resistência do Elemento à Encurvadura

NP EN 1993-1-1, 6.3.1 - Elementos Uniformes Comprimidos (Coluna) - Varejamento								
Encurvadura por Flexão y-y			Encurvadura por Flexão z-z			Encurvadura por Torção ou por Flexão-Torção		
$L_{cr,y} =$	3,57 m		$L_{cr,z} =$	3,57 m		$L_{cr,T} =$	3,6 m	
$N_{cr,y} =$	516,7 kN		$N_{cr,z} =$	45,0 kN		$N_{cr,T} =$	592,9 kN	
$\bar{\lambda}_y =$	0,84 -		$\bar{\lambda}_z =$	2,84 -		$\bar{\lambda}_T =$	0,78 -	
$\alpha_y =$	0,21 -		$\alpha_z =$	0,34 -		$\alpha_T =$	0,34 -	
$\Phi_y =$	0,92 -		$\Phi_z =$	4,99 -		$\Phi_T =$	0,91 -	
$\chi_y =$	0,77 -		$\chi_z =$	0,11 -		$\chi_T =$	0,74 -	
$N_{b,y,Rd} =$	280,8 kN		$N_{b,z,Rd} =$	40,0 kN		$N_{b,T,Rd} =$	267,0 kN	
$N_{Ed}/N_{b,y,Rd} =$	0,00		(19) $N_{Ed}/N_{b,z,Rd} =$	0,00		(20) $N_{Ed}/N_{b,T,Rd} =$	0,00	(21)
Modo de Encurvadura: -						$N_{Ed}/N_{b,Rd} =$	0,00	$\leq 1,0$ OK

NP EN 1993-1-1, 6.3.2 - Elementos Uniformes em Flexão (Viga) - Bambeamento								
$L_{cr} =$	3,57 m	LT Beam	C1	C2	C3	z_g	z_j	
$M_{cr} =$	8,16 kN.m	Não	1,132	0,459	0,525	60	0	
$\bar{\lambda}_{LT} =$	1,43 -					mm	mm	
$\alpha_{LT} =$	0,21 -							
$\Phi_{LT} =$	1,65 -							
$\chi_{LT} =$	0,40 -							
$M_{b,Rd} =$	6,7 kN							
$M_{Ed}/M_{b,Rd} =$	0,72	$\leq 1,0$	OK					(22)

NP EN 1993-1-1, 6.3.3 - Elementos Uniformes em Flexão Composta com Compressão (Coluna-Viga)							
Método 2 - Anexo B							
$C_{my} = 0,95$		$k_{yy} = 0,95$					
$C_{mz} = 0,95$		$k_{yz} = 0,57$					
$C_{mLT} = 0,95$		$k_{zy} = 1,00$					
		$k_{zz} = 0,95$					

$N_{Ed}/N_{b,y,Rd}$		$k_{yy} * M_{y,Ed}/M_{b,Rd}$		$k_{yz} * M_{z,Ed}/M_{z,Rd}$		Eq. 6.61	(23)
0,00	+	0,68	+	0,02	=	0,70	$\leq 1,0$ OK
$N_{Ed}/N_{b,z,Rd}$		$k_{zy} * M_{y,Ed}/M_{b,Rd}$		$k_{zz} * M_{z,Ed}/M_{z,Rd}$		Eq. 6.62	(24)
0,00	+	0,72	+	0,04	=	0,75	$\leq 1,0$ OK

9- Rácios de Utilização

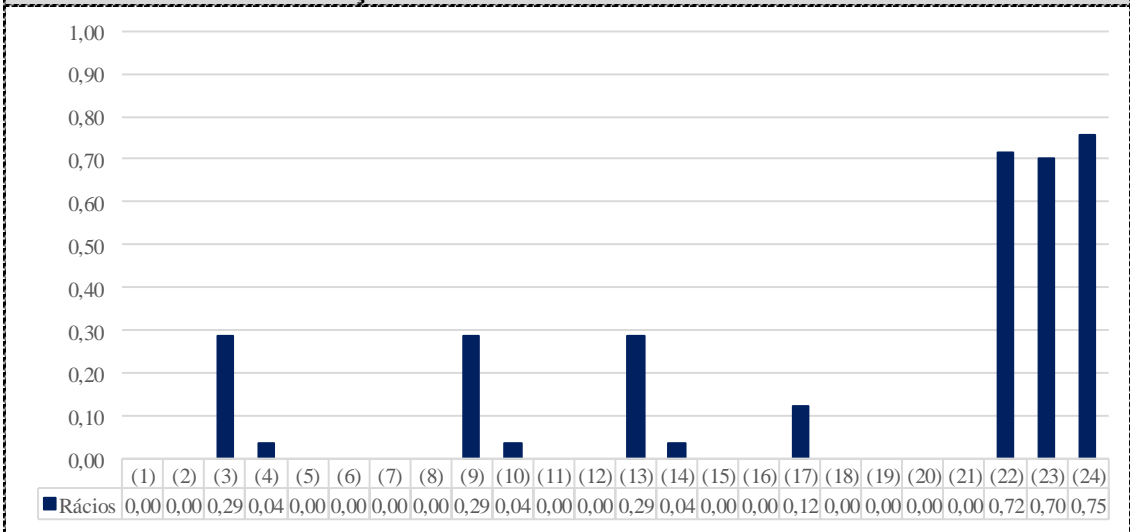


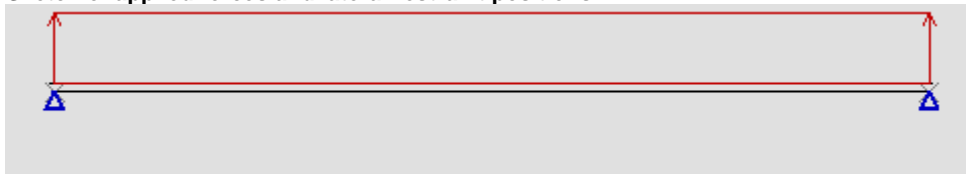
Figura 171 - Folha 3 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em "Excel" - Madre 2.1

a.1) Determinação do Momento Crítico - Software "LTBeam"

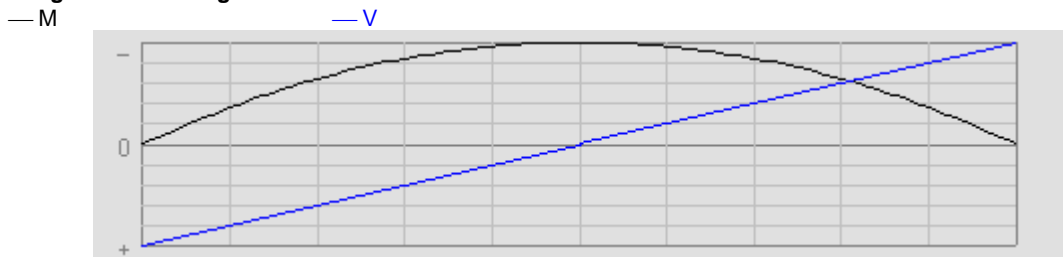
Version 1.0.11

Beam				
Total length	L	=	3,57	m
Number of elements	N	=	100	
Steel				
Young modulus	E	=	210000	MPa
Poisson's coefficient	ν	=	0,3	
Shear modulus	G	=	80769	MPa
Section - In Catalogue				
Selected Profile		=	IPE 120	
Weak flexural inertia	I _z	=	27,668	cm ⁴
Torsional constant	I _t	=	1,7231	cm ⁴
Warping constant	I _w	=	894,21	cm ⁶
Wagner factor	β_z	=	0	mm
Lateral Restraints				
Left End				
Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	ν	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Fixed	
Flexural restraint	ν'	=	Free	
Warping restraint	θ'	=	Free	
Right End				
Position of Restraint /S	z	=	0	mm
Lateral restraint	ν	=	Fixed	
Torsional restraint	θ	=	Fixed	
Flexural restraint	ν'	=	Free	
Warping restraint	θ'	=	Free	
No intermediate lateral restraint				
Loading				
Supports at Ends in the Plane of Bending				
Hinged at both ends				
Distributed load				
Value at the origin	q ₁	=	3,03	kN/m
Value at the end	q ₂	=	3,03	kN/m
Abscissa/L at the origin	x _{f1}	=	0	
Abscissa/L at the end	x _{f2}	=	1	
Position /S	z	=	60	mm

Sketch of applied forces and lateral restraint positions



Bending and shear diagrams



Maximum moment	Mmax =	-4,8271	kN.m
Abscissa/L	xf =	0,500	

Critical Moment

Eigenvalue solving

Dichotomic process on determinant			
Convergence tolerance	ϵ =	0,0001	
Number of iterations performed	nit =	18	
Convergence achieved			
Eigenvalue obtained	μ =	2,2523	

Critical Moment			
Critical value of maximum moment	Mcr =	-10,872	kN.m
Abscissa/L	xf =	0,500	

Eigenmode

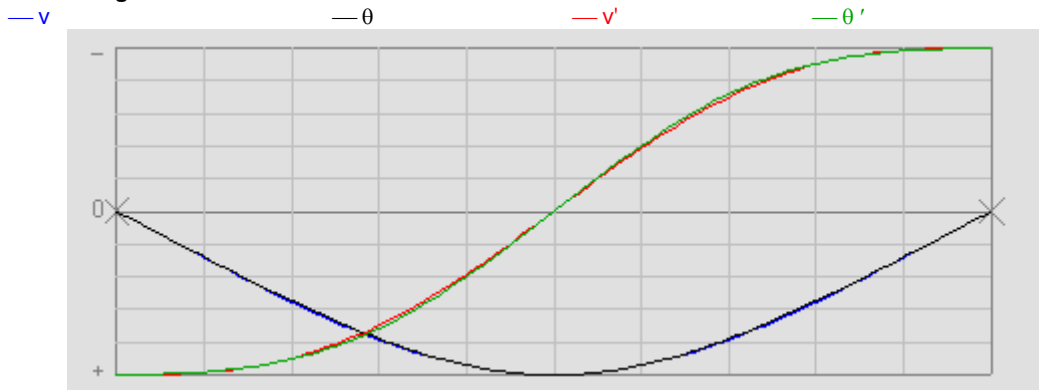


Figura 172 - Momento crítico calculado no "LTBeam"

b) 2º Método de Dimensionamento - Software "SAP2000"

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : 2539 X Mid: -4,307 Combo: ELU(W) Design Type: Beam
Length: 3,568 Y Mid: 0, Shape: IPE120 Frame Type: DCH-MRF
Loc : 3,568 Z Mid: 42,441 Class: Class 1 Rolled : Yes

Country=CEN Default Combination=Eq. 6.10 Reliability=Class 2
Interaction=Method 2 (Annex B) MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No
Consider Torsion? No Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1, GammaM1=1, GammaM2=1,25
q=1,5 Omega=1, GammaOV=1,1
An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75 D/C Lim=0,95

Aeff=0,001 eNy=0, eNz=0,
A=0,001 Iyy=3,180E-06 iyy=0,049 Wel,yy=5,300E-05 Weff,yy=5,300E-05
It=0, Izz=0, izz=0,014 Wel,zz=8,656E-06 Weff,zz=8,656E-06
Iw=0, Iyz=0, h=0,12 Wpl,yy=6,070E-05 Av,y=8,474E-04
E=210000000, fy=275000, fu=430000, Wpl,zz=1,360E-05 Av,z=6,295E-04

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
3,568	0,	0,	0,	-8,956	-0,162	-2,184E-04

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.3.3(4)-6.62)

D/C Ratio: 0,762 = 0, + 0,726 + 0,037 < 0,95 OK
= Ned/(Chi_z NRk/GammaM1) + kzy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi_LT My,Rk/GammaM1)
+ kzz (Mz,Ed+NEd eNz)/(Mz,Rk/GammaM1) (EC3 6.3.3(4)-6.62)

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd				
Axial	Force	Capacity	Capacity				
	0,	363,	363,				
	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag		
	363,	408,672	576,847	576,847	1,		
Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd	
Major (y-y)	a	0,21	517,64	0,837	0,918	0,774	280,83
MajorB (y-y)	a	0,21	517,64	0,837	0,918	0,774	280,83
Minor (z-z)	b	0,34	45,09	2,837	4,974	0,11	40,073
MinorB (z-z)	b	0,34	45,09	2,837	4,974	0,11	40,073
Torsional TF	b	0,34	576,847	0,793	0,915	0,729	264,48

MOMENT DESIGN

	Med	Med,span	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd
	Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity
Major (y-y)	0,	-4,827	16,693	16,693	16,693	6,654
Minor (z-z)	0,	-0,144	3,74	3,74	3,74	

Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr	
LTB	a	0,21	1,441	1,668	0,399	0,	8,042

Factors	kw	C1	C2	C3		
	1,	1,132	0,459	0,525		
	za	zs	zg	zz	zj	
	0,06	0,	0,06	0,	0,	

Factors	kyy	kyz	kzy	kzz		
	0,95	0,57	1,	0,95		

	Ved	Vpl.Rd	Ved/Vpl.Rd	rho		
	Force	Capacity	Ratio	Factor		
Major (z)	8,956	99,95	0,09	1,		
Minor (y)	0,162	134,549	0,001	1,		

SHEAR DESIGN

	Ved	Ted	Vc,Rd	Stress	Status
	Force	Torsion	Capacity	Ratio	Check
Major (z)	8,956	2,184E-04	99,95	0,09	OK
Minor (y)	0,162	0,	134,549	0,001	OK

	Vpl,Rd	Eta	LambdaBar	Chi		
	Capacity	Factor	Ratio	Factor		
Minor (y)	99,95	1,2	0,306	1,2		
Major (y)	134,549	1,2	0,	1,		

Figura 173 - Dimensionamento no "SAP2000" - Madre 2.1

c) 3º Método de Dimensionamento - Software "SemiComp"

SEMICOMP Member Design

Cross-section type I- or H-Section **Partial factors γ_M**

Finishing Rolled $\gamma_{M0} = 1,00$

Select from library (optional) IPE 120 $\gamma_{M1} = 1,00$

Cross-section data **Material**

H = 120,0 [mm] Steel grade S275

B = 64,0 [mm] $f_y = 275,0$ N/mm²

T_w = 4,4 [mm] E = 210000,0 N/mm²

T_f = 6,3 [mm]

R = 7,0 [mm]

A [cm ²]	I _{yy} [cm ⁴]	I _{zz} [cm ⁴]	W _{el,y} [cm ³]	W _{el,z} [cm ³]	W _{pl,y} [cm ³]	W _{pl,z} [cm ³]
13,21	317,75	27,67	52,96	8,65	60,73	13,58

Boundary conditions **I_t [cm⁴]** **I_w [cm⁶]**

L_{Beam} = 3,570 m Torsion restrained 1,72 894,19

n_{fork} = 0 [-] strong Axis buckling restrained

weak Axis Buckling restrained

Loading in z-x-plane

N_{Ed} = 0,00 kN

q_{z,Ed} (*) = -3,03 kN/m

M_{y,left,Ed} = 0,00 kNm

M_{y,right,Ed} = 0,00 kNm

P_{z,Ed} (*) = 0,00 kN

Distance of Loading to shear center

z_{si} = -60,00 mm

Loading in y-x-plane

q_{y,Ed} (*) = -0,09 kN/m

M_{z,left,Ed} = 0,00 kNm

M_{z,right,Ed} = 0,00 kNm

P_{y,Ed} (*) = 0,00 kN

(*)

M_{cr} = 8,16 kNm Enter M_{cr} manually

M_{cr,0} = 0,00 kNm Use LTBeam

Specify path of LTBeam.exe file:
 C:\Program Files (x86)\LTBeam_v1010\LTBeam.exe

Note: LTBeam is a tool developed by CTICM to calculate the lateral torsional buckling moment of beams. You can download it for free at www.cticm.com.

Definition of axes

M_{y,Ed} [kNm]

M_{y,Ed,max} = 4,83 kNm

V_{z,Ed} [kN]

V_{z,Ed,max} = 5,41 kN

M_{z,Ed} [kNm]

M_{z,Ed,max} = 0,14 kNm

V_{y,Ed} [kN]

V_{y,Ed,max} = 0,16 kN

Figura 174 - Folha 1 de 3 - Dimensionamento no "SemiComp" - Madre 2.1

SEMICOMP Cross-Section Check

Choose method EN 1993-1-1 (elastic Resistance) ▾

$N_{Ed} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="0,000"/>	kN	$V_{z,Ed} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="0,000"/>	kN
$M_{y,Ed} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="4,830"/>	kNm	$V_{y,Ed} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="0,000"/>	kN
$M_{z,Ed} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="0,140"/>	kNm			

Perform cross-section checks

Reference values for classification

$c/t_w =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="21,227"/>	$\alpha_{web} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="0,500"/>	$\psi_{web} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="-1,000"/>	$\varepsilon =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="0,924"/>
$c/t_f =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="3,619"/>	$\alpha_{flange} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="1,000"/>	$\psi_{flange} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="0,893"/>	$\varepsilon_{mod, c/3/4} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="NaN"/>

Boundaries

	Class 1	Class 2	Class 3
$c/t_w \leq c/t_{w, max} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="66,558"/>	<input style="width: 80%;" type="text" value="76,727"/>	<input style="width: 80%;" type="text" value="114,628"/>
$c/t_f \leq c/t_{f, max} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="8,320"/>	<input style="width: 80%;" type="text" value="9,244"/>	<input style="width: 80%;" type="text" value="12,852"/>

Cross section class = 1

Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations.

$M_{pl,y,Rd} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="16,70"/>	kNm	$M_{pl,z,Rd} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="3,73"/>	kNm	$V_{pl,z,Rd} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="100,11"/>	kN
$M_{el,y,Rd} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="14,56"/>	kNm	$M_{el,z,Rd} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="2,38"/>	kNm	$V_{pl,y,Rd} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="128,03"/>	kN
$N_{Rd} =$	<input style="width: 80%;" type="text" value="363,28"/>	kN						

EN 1993-1-1, 6.2.3 / 6.2.4
Tension or compression

$U_{(6.5)/(6.9)} =$ $\leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.5
Bending moment

$U_{strong A.} =$ $\leq 1,0$ ok

$U_{weak A.} =$ $\leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.6
Shear

$U_{z-plastic} =$ $\leq 1,0$ ok $U_{y-plastic} =$ $\leq 1,0$ ok

$U_{z-elastic} =$ $\leq 1,0$ ok $U_{y-elastic} =$ $\leq 1,0$ ok

$h_w/t_w =$ $\leq 72\varepsilon/\eta =$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.9
Bending and axial force

$U_{(6.41)/(6.42)} =$ $\leq 1,0$ ok $UF =$

Comment: Shear Interaction is not considered within this software tool. If the utilization for shear is higher than 0.5, an additional check for shear interaction is necessary.

Figura 175 - Folha 2 de 3 - Dimensionamento no "SemiComp" - Madre 2.1

SEMICOMP Member Check

Choose method for member check	Choose method for cross-section resistance	Perform member design check	
Method 2 (EN 1993-1-1 Annex B) ▾	EN 1993-1-1:2010-12 ▾		
Section classification for member design check (based on 1. order cross-section forces)			
Reference values for classification in the worst section along the member			
$c/t_w = 21,227$	$\alpha_{web} = 0,500$	$\psi_{web} = -1,000$	$\varepsilon = 0,924$
$c/t_f = 3,619$	$\alpha_{flange} = 1,000$	$\psi_{flange} = 0,890$	
Boundaries			
$c/t_w \leq c/t_{w, max} =$	Class 1 66,558	Class 2 76,727	Class 3 114,628
$c/t_f \leq c/t_{f, max} =$	8,320	9,244	12,855
Member class = 1			Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations. The user should check if parts of member are Class 4 in the "Additional info"-sheet.
Member Check			
$N_{Rd} = 363,281$ kN	$M_{pl,y,Rd} = 16,699$ kNm	$N_{Ed} = 0,000$ kN	
$M_{y,Rd} = 16,699$ kNm	$M_{pl,z,Rd} = 3,735$ kNm	$M_{y,Ed,max} = 4,827$ kNm	
$M_{z,Rd} = 3,735$ kNm	$M_{el,y,Rd} = 14,564$ kNm	$M_{z,Ed,max} = 0,143$ kNm	
$M_{el,z,Rd} = 2,378$ kNm			
Strong axis buckling		Weak axis buckling	
$L_{cr,y} = 3,570$ m	$L_{cr,z} = 3,570$ m	Lateral torsional buckling	
$N_{cr,y} = 516,741$ kN	$N_{cr,z} = 44,995$ kN	$M_{cr} = 8,160$ kNm	
$\alpha_y = 0,21$ [-]	$\alpha_z = 0,34$ [-]	$\alpha_{LT} = 0,34$ [-]	
$\lambda_y = 0,838$ [-]	$\lambda_z = 2,841$ [-]	$\lambda_{LT} = 1,431$ [-]	
$\chi_y = 0,773$ [-]	$\chi_z = 0,110$ [-]	$\chi_{LT,mod} = 0,461$ [-]	
		$f_{mod} = 0,994$ [-]	
EN 1993-1-1, 6.3.3			
Uniform member in bending and axial compression		Global interaction factors	
Eq. (6.61):	$U = 0,000 \leq 1,0$ ok	$C_{my} = 0,950$ [-]	$k_{yy} = 0,000$
Eq. (6.62):	$U = 0,000 \leq 1,0$ ok	$C_{mz} = 0,950$ [-]	$k_{yz} = 0,000$
		$C_{mLT} = 0,950$ [-]	$k_{zy} = 0,000$
			$k_{zz} = 0,000$
Cross-section check at each end of the member			
Left end:	$U = 0,000 \leq 1,0$ ok	$UF = 0,000$	
Right end:	$U = 0,000 \leq 1,0$ ok	$UF = 0,000$	
Additional member checks			
EN 1993-1-1, 6.3.1			
Strong axis flexural buckling check			
Eq. (6.46):	$N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0,000 \leq 1,0$	ok	
Weak axis flexural buckling check			
Eq. (6.46):	$N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0,000 \leq 1,0$	ok	
EN 1993-1-1, 6.3.2			
Lateral torsional buckling			
Eq. (6.54):	$M_{Ed}/M_{b,Rd} = 0,627 \leq 1,0$	ok	

Figura 176 - Folha 3 de 3 - Dimensionamento no "SemiComp" - Madre 2.1

d) Comparação de resultados dos três procedimentos

Tabela 105 - Quadro comparativo - Madre 2.1

Rádios de ELU ou Parâmetro	Rotina de						
	Cálculo	LTBeam	Δ (%)	“SAP2000”	Δ (%)	“SemiComp”	Δ (%)
Flexão Desviada	0,12	-	-	-	-	0,12	0,0
Momento Crítico [kN.m]	8,16	10,87	24,9	8,04	1,4	-	-
Encurvadura em vigas	0,72	-	-	0,73	0,8	0,63	12,5
Coeficientes de Momento Uniforme	C_{my}	0,95	-	-	-	0,95	0,0
	C_{mz}	0,95	-	-	-	0,95	0,0
	C_{mLT}	0,95	-	-	-	0,95	0,0
	k_{yy}	0,95	-	-	0,95	0,0	-
Fatores de Interação k_{ij}	k_{yz}	0,57	-	-	0,57	0,0	-
	k_{zy}	1,00	-	-	1,00	0,0	-
	k_{zz}	0,95	-	-	0,95	0,0	-
Encurvadura em colunas- vigas	Eq. 6.61	0,70	-	-	-	-	-
	Eq. 6.62	0,75	-	-	0,76	1,0	-

Estados Limites de Utilização

A verificação da segurança ao estado limite de serviço foi feita limitando as flechas máximas a $L/200$.

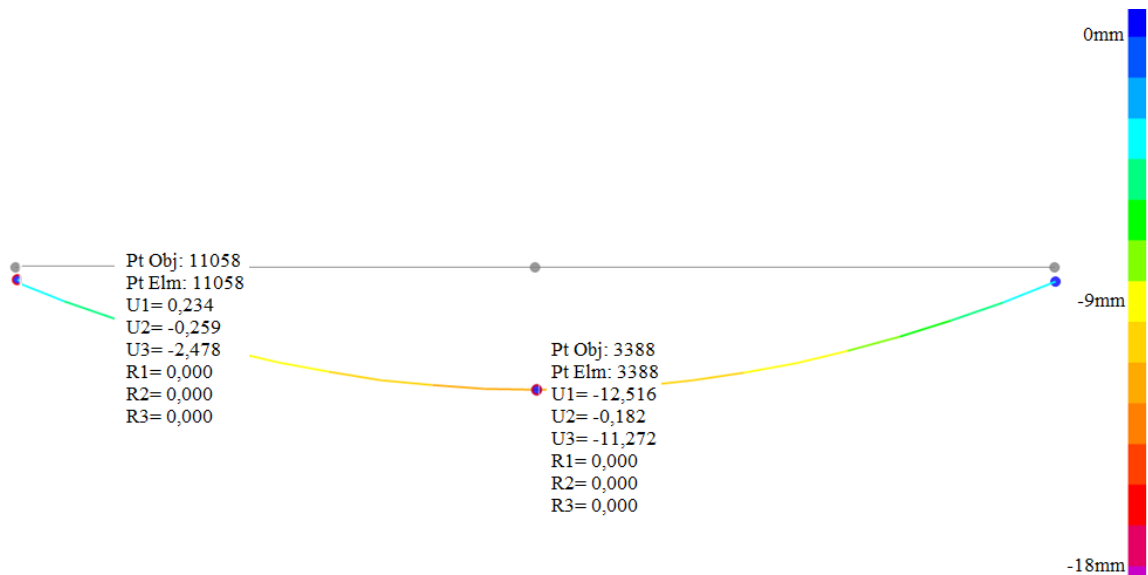


Figura 177 - Deformação da madre 2.1 - Combinação quase-permanente de ações

Tabela 106 - Resultados do dimensionamento aos ELS

Madre (Nº.sector)	Nº da Barra no "SAP2000"	L [m]	δ_v [mm]	δ_{adm} [mm]	Rácio
2.1	2539	3,57	8,56	17,85	0,48

Conclusão

Na tabela seguinte constam os rácios de dimensionamento das madres do sector 1 da cobertura da torre metálica, obtidos pela folha de cálculo em "Excel" e pelo "SAP2000" bem como as diferenças percentuais registadas.

Tabela 107 - Dimensionamento das madres da cobertura da torre - Sector 1

Madres Sector 1	Nº "SAP2000"	Combinação Condicionante	Perfil	Rácio "Excel"	Rácio "SAP2000"	Δ (%)
1	2538	ELU(W)	IPE120	0,736	0,743	1,0%
2	2539	ELU(W)	IPE120	0,755	0,762	1,0%
3	2540	ELU(T-)_SC	IPE100	0,485	0,482	0,5%
4	2541	ELU(T-)_SC	IPE100	0,148	0,146	1,3%
5	2542	ELU(T-)_SC	IPE100	0,545	0,549	0,7%

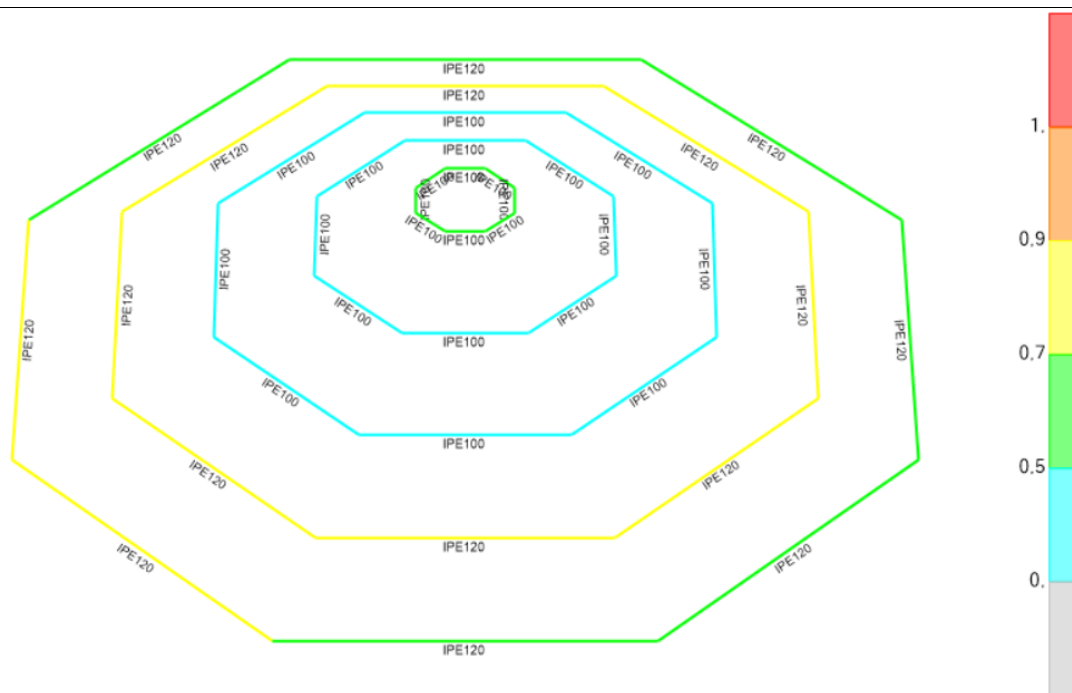


Figura 178 - Rácios de dimensionamento

Madres dos alçados laterais

Estados Limites Últimos

Seguindo a mesma metodologia dos cálculos anteriores indicam-se os elementos referentes ao cálculo das madres da torre.

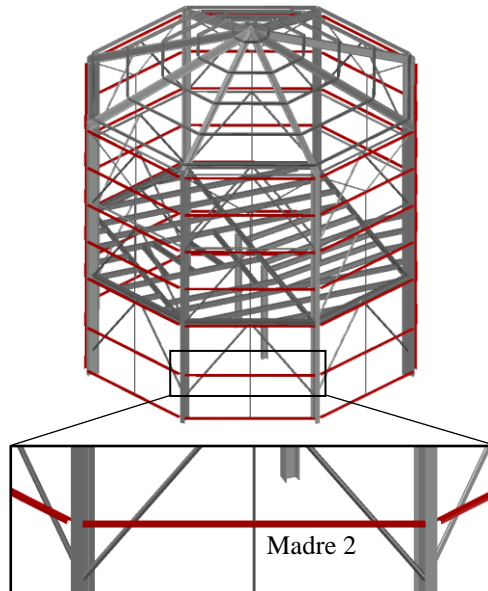


Figura 179 - Madre 2 do sector 2 da torre metálica

- **Esforços de cálculo**

Juntam-se os diagramas de esforços para a combinação condicionante.

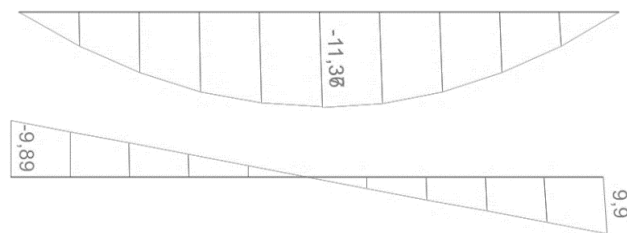


Figura 180 - Diagramas de momentos fletores $M_{y,Ed}$ e esforços transversos $V_{z,Ed}$

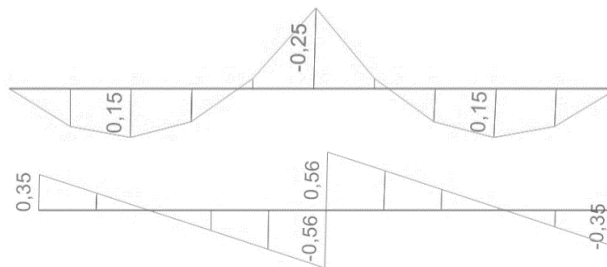


Figura 181 - Diagramas de momentos fletores $M_{z,Ed}$ e esforços transversos $V_{y,Ed}$

a) 1º Método de Dimensionamento - Rotina de cálculo em “Excel”

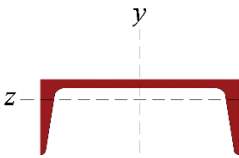
Relatório de Dimensionamento de Elementos Metálicos								
1- Características do Elemento								
Função Estrutural do Elemento: Madres dos Alçados Laterais da Torre								
Tipo de Elemento: Viga								
Comprimento do Elemento= 4,59 m								
Número do Elemento no modelo SAP: 2740								
Combinação Condicionante: ELU(W)_SC_I_T+								
Coeficientes Parciais de Segurança γ_{MI} : $\gamma_{M0}=1,00$ $\gamma_{M1}=1,00$ $\gamma_{M2}=1,25$								
								
2- Esforços de Cálculo Atuantes								
Secção Apoio Esquerdo			Secção do Meio Vão			Secção Apoio Direito		
$N_{Ed} =$	0,00 kN		$N_{Ed} =$	0,00 kN		$N_{Ed} =$	0,00 kN	
$V_{y,Ed} =$	0,35 kN		$V_{y,Ed} =$	-0,56 kN		$V_{y,Ed} =$	-0,35 kN	
$V_{z,Ed} =$	9,90 kN		$V_{z,Ed} =$	0,00 kN		$V_{z,Ed} =$	-9,90 kN	
$M_{y,Ed} =$	0,00 kN.m		$M_{y,Ed} =$	-11,36 kN.m		$M_{y,Ed} =$	0,00 kN.m	
$M_{z,Ed} =$	0,00 kN.m		$M_{z,Ed} =$	-0,25 kN.m		$M_{z,Ed} =$	0,00 kN.m	
3- Propriedades do Material								
Classe do Aço: S275			$f_y =$	275 N/mm ²	$G =$	81000 N/mm ²		
			$f_u =$	430 N/mm ²	$E =$	210000 N/mm ²		
4- Propriedades Geométricas da Secção Transversal								
Perfil: UPN140			$h =$	140 mm	$b =$	60 mm		
$t_w =$	7 mm		$t_f =$	10 mm	$r_1 =$	10 mm		
$r_2 =$	5 mm		$d =$	98 mm	$A =$	20,40 cm ²		
$A_{vz} =$	10,10 cm ²		$A_{vy} =$	12,00 cm ²	$I_{yy} =$	605,00 cm ⁴		
$i_y =$	5,45 cm		$I_{zz} =$	62,70 cm ⁴	$i_z =$	1,75 cm		
$W_{pl,y} =$	103,00 cm ³		$W_{pl,z} =$	28,30 cm ³	$W_{el,y} =$	86,40 cm ³		
$W_{el,z} =$	14,80 cm ³		$I_t =$	5,68 cm ⁴	$I_w =$	1,80 x10 ⁻³ cm ⁶		
$y_0 =$	3,37 mm		$z_0 =$	0,00 mm				
5- Classificação da Secção Transversal								
$\epsilon:$	0,92		Componente à Flexão			Componente à Compressão		
			Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3
$c/t_w:$	14,00	≤	66,56	76,73	114,63	30,51	35,13	38,83
$c/t_f:$	4,30	≤	-	-	-	8,32	9,24	12,94
	α_{web}	ψ_{web}	Alma à Flexão e à Compressão			Classificação - Resumo		
			Classe 1	Classe 2	Classe 3	F	C	F+C
se	-	-	-	-	-	1	1	1
smv	-	-	-	-	-	1	1	1
sd	-	-	-	-	-	1	1	1
SemiComp:	-		Classe Semi-Comp:				Classe Adotada:	
								1
6- Esforços Resistentes de Cálculo								
$N_{pl,Rd} =$	561,0 kN		$N_{u,Rd} =$	- kN		$N_{net,Rd} =$	- kN	
$N_{t,Rd} =$	561,0 kN		$N_{c,Rd} =$	561,0 kN		$V_{c,y,Rd} =$	190,5 kN	
$V_{c,z,Rd} =$	160,4 kN		$M_{c,y,Rd} =$	28,3 kN.m		$M_{c,z,Rd} =$	7,8 kN.m	
$M_{y,V,Rd} =$	28,3 kN.m		$M_{z,V,Rd} =$	7,8 kN.m		$M_{N,y,Rd} =$	0,0 kN.m	
$M_{N,z,Rd} =$	0,0 kN.m		$M_{NV,y,Rd} =$	0,0 kN.m		$M_{NV,z,Rd} =$	0,4 kN.m	
$N_{b,y,Rd} =$	312,5 kN		$N_{b,z,Rd} =$	174,4 kN		$N_{b,T,Rd} =$	142,2 kN	
$M_{b,Rd} =$	15,9 kN.m							

Figura 182 - Folha 1 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em “Excel” - Madre 2.2

7- Resistência da Secção Transversal		Secção do Meio Vão	
NP EN 1993-1-1, 6.2.3 - Tração			
$N_{Ed}/N_{t,Rd} =$	$\leq 1,0$	-	(1)
NP EN 1993-1-1, 6.2.4 - Compressão			
$N_{Ed}/N_{c,Rd} =$	$\leq 1,0$	-	(2)
NP EN 1993-1-1, 6.2.5 - Momento Fletor			
$M_{y,Ed}/M_{c,y,Rd} =$	0,40 $\leq 1,0$	OK	(3)
$M_{z,Ed}/M_{c,z,Rd} =$	0,03 $\leq 1,0$	OK	(4)
NP EN 1993-1-1, 6.2.6 - Esforço Transverso			
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (5)
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (6)
$\tau_{y,Ed}/(f_y/(3^{0,5}\gamma_{M0})) =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y (7)
$\tau_{z,Ed}/(f_y/(3^{0,5}\gamma_{M0})) =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z (8)
Encurvatura por Esforço Transverso ($h_w/t_w \leq 72\epsilon/\eta$): Desprezar Em que $\eta = 1,0$			
NP EN 1993-1-1, 6.2.8 - Flexão com Esforço Transverso			
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} =$	0,00 $\leq 0,5$	Esforço Transverso sem significado	
$M_{y,Ed}/M_{y,v,Rd} =$	0,40 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (9)
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} =$	0,00 $\leq 0,5$	Esforço Transverso sem significado	
$M_{z,Ed}/M_{z,v,Rd} =$	0,03 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (10)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 3 Eixo y-y (11)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 3 Eixo z-z (12)
NP EN 1993-1-1, 6.2.9 - Flexão Composta			
$N_{Ed}/N_{Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,Rd} =$	0,40 $\leq 1,0$	OK	Classe 1, 2 e 3 (13)
$N_{Ed}/N_{Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,Rd} =$	0,03 $\leq 1,0$	OK	Classe 1, 2 e 3 (14)
NP EN 1993-1-1, 6.2.10 - Flexão Composta Desviada com Esforço Transverso			
$N_{Ed}/N_{Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,Rd} =$	0,43 $\leq 1,0$	OK	Classe 1, 2 e 3 (15)

Figura 183 - Folha 2 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em “Excel” - Madre 2.2

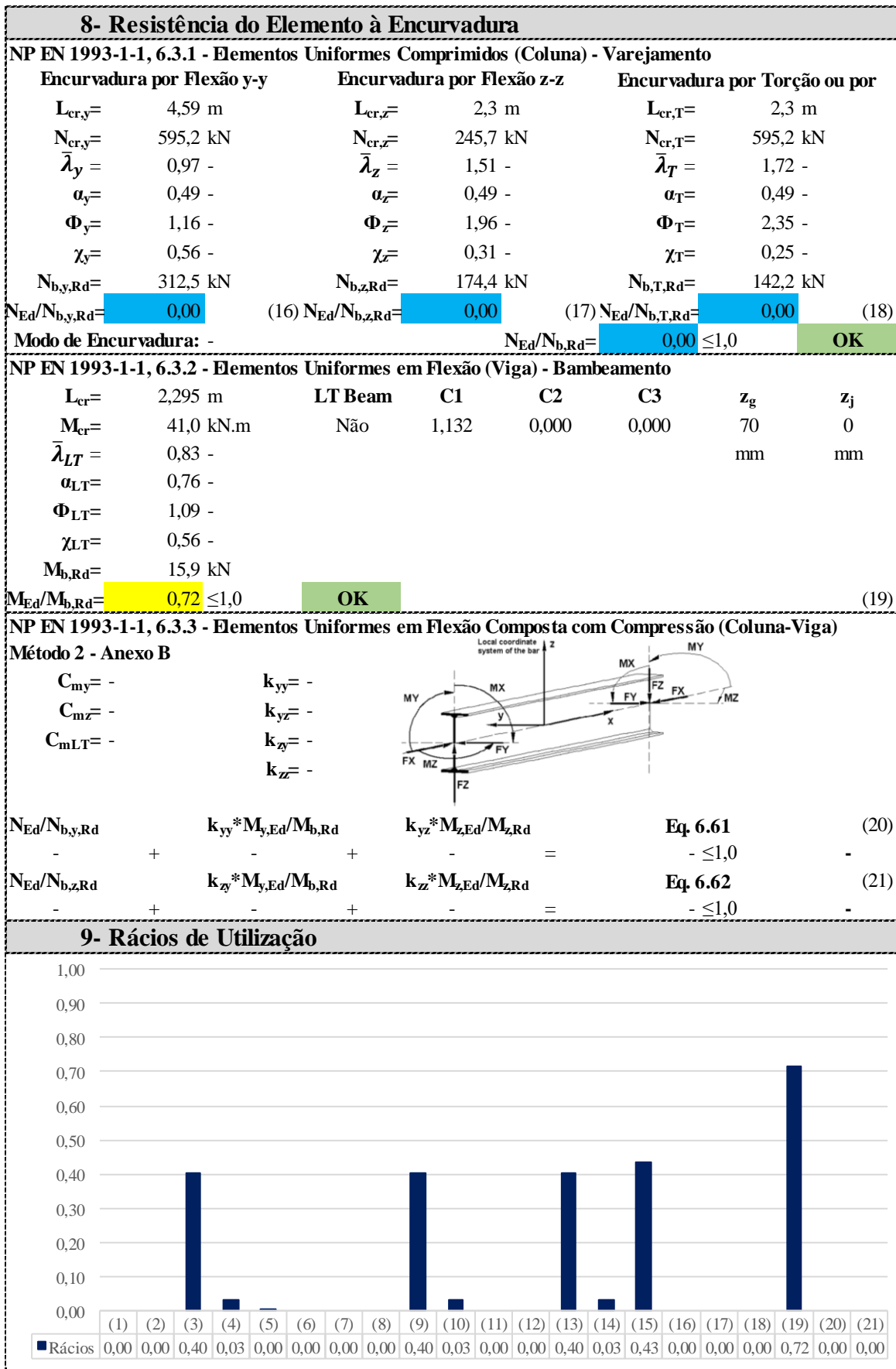


Figura 184 - Folha 3 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em "Excel" - Madre 2.2

b) 2º Método de Dimensionamento - Software "SAP2000"

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : 2740 X Mid: -3,249 Combo: ELU(W)_SC_I_T+ Design Type: Beam
Length: 2,296 Y Mid: -4,873 Shape: UPN140 Frame Type: DCH-MRF
Loc : 0, Z Mid: 33,55 Class: Class 1 Rolled : Yes

Country=CEN Default Combination=Eq. 6.10 Reliability=Class 2
Interaction=Method 2 (Annex B) MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No
Consider Torsion? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes
Ignore Seismic Code? No

GammaM0=1, GammaM1=1, GammaM2=1,25
q=1,5 Omega=1, GammaOV=1,1
An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75 D/C Lim=0,95

Aeff=0,002 eNy=0, eNz=0,
A=0,002 Iyy=6,044E-06 iyy=0,054 Wel,yy=8,634E-05 Weff,yy=8,634E-05
It=0, Izz=0, izz=0,018 Wel,zz=1,472E-05 Weff,zz=1,472E-05
Iw=0, Iyz=0, h=0,14 Wpl,yy=1,054E-04 Av,y=0,001
E=210000000, fy=275000, fu=430000, Wpl,zz=3,143E-05 Av,z=0,001

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0,	0,058	0,	0,	25,247	-0,43	0,357

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.3.3(4)-6.62)

D/C Ratio: 0,806 = 0, + 0,787 + 0,019 < 0,95 OK
= Ned/(Chi_z Nrk/GammaM1) + kzy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi_LT My,Rk/GammaM1)
+ kzz (Mz,Ed+NEd eNz)/(Mz,Rk/GammaM1) (EC3 6.3.3(4)-6.62)

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd			
Axial	Force	Capacity	Capacity			
	0,058	559,9	559,9			
	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag	
	559,9	630,346	1092,871	479,572	1,	
Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	c 0,49	594,021	0,971	1,16	0,557	311,879
MajorB (y-y)	c 0,49	594,021	0,971	1,16	0,557	311,879
Minor (z-z)	c 0,49	246,1	1,508	1,958	0,312	174,603
MinorB (z-z)	c 0,49	246,1	1,508	1,958	0,312	174,603
Torsional TF	c 0,49	479,572	1,081	1,299	0,495	276,99

MOMENT DESIGN

	Med	Med,span	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd
	Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity
Major (y-y)	0,	-11,294	28,985	28,985	28,985	14,349
Minor (z-z)	0,	-0,247	8,643	8,643	8,643	

Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
LTB	d 0,76	0,947	1,232	0,495	0,	32,342

Factors	kw	C1	C2	C3		
	1,	1,132	0,459	0,525		
	za	zs	zg	zz	zj	
	0,07	0,	0,07	0,	0,	

Factors	kyy	kyz	kzy	kzz		
	0,793	0,397	1,	0,661		

	Ved	Vpl.Rd	Ved/Vpl.Rd	rho		
	Force	Capacity	Ratio	Factor		
Major (z)	25,247	159,724	0,158	1,		
Minor (y)	0,43	189,89	0,002	1,		

SHEAR DESIGN

	Ved	Ted	Vc,Rd	Stress	Status
	Force	Torsion	Capacity	Ratio	Check
Major (z)	25,247	0,357	159,724	0,158	OK
Minor (y)	0,43	0,357	189,89	0,002	OK

	Vpl,Rd	Eta	LambdaBar	Chi		
	Capacity	Factor	Ratio	Factor		
Minor (y)	159,724	1,2	0,215	1,2		
Major (y)	189,89	1,2	0,	1,		

Figura 185 - Dimensionamento no "SAP2000" - Madre 2.2

c) Comparação de resultados dos dois procedimentos

Tabela 108 - Quadro comparativo - Madre 2.2

Rácios de ELU ou Parâmetro	Rotina de		Δ (%)	“SemiComp”	Δ (%)
	Cálculo	“SAP2000”			
	“Excel”				
Momento Crítico [kN.m]	41,00	32,34	21,12	-	-
Encurvadura em vigas	0,72	0,81	12,70	-	-

Notas:

- 1) Na maior parte dos casos a documentação teórica disponível para a determinação do momento crítico de bambeamento elástico em secções em “U” é insuficiente, e muitos *softwares* utilizam uma abordagem conservativa.
- 2) A folha de cálculo desenvolvida em “Excel” para a determinação do momento crítico em secções do tipo “U” ou “C” baseou-se no artigo científico (Brown, nd).

Estados Limites de Utilização

Indicam-se os resultados referentes ao dimensionamento da deformação, tendo-se limitado a flecha a $L/200$.

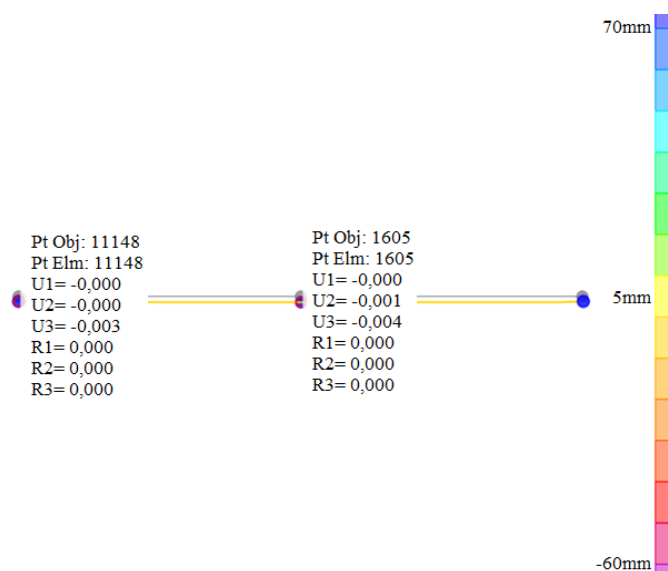


Figura 186 - Flecha da madre 2.2 para a combinação quase-permanente de ações

Tabela 109 - Dimensionamento aos ELS - Madre 2.2

Madre (Nº.Sector)	Nº da Barra no “SAP2000”	L [m]	δ_v [mm]	δ_{adm} [mm]	Rácio
2.2	2740	2,30	0,6	11,5	0,05

Conclusão

Na tabela seguinte apresentam-se os rácios de dimensionamento das madres do sector 2 dos alçados da torre, obtidos pela folha de cálculo em “Excel” e pelo “SAP2000” bem como as diferenças percentuais registadas.

Tabela 110 - Dimensionamento das madres dos alçados da torre - Sector 2

Madres Sector 2	Nº "SAP2000"	Combinação Condicionante	Perfil	Rácio "Excel"	Rácio "SAP2000"	Δ (%)
1	2849	ELU(W)_SC_T-	UPN120	0,619	0,700	13,1%
2	2740	ELU(W)_SC_I_T+	UPN140	0,715	0,806	12,7%
3	2744	ELU(W)_SC_I_T+	UPN140	0,668	0,756	13,3%
4	2738	ELU(W)_SC_I_T-	UPN120	0,817	0,913	11,8%
5	2742	ELU(W)_SC_I_T-	UPN120	0,817	0,913	11,8%
6	2736	ELU(W)_SC_T-	UPN120	0,817	0,914	11,9%
7	2677	ELU(W)_SC	UPN120	0,893	1,095	22,6%

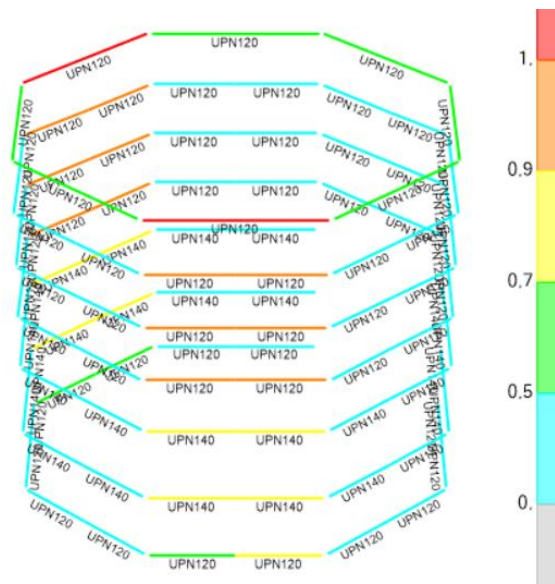


Figura 187 - Rácios de dimensionamento

Tarugos das Madres dos Alçados da Torre Metálica

Estados Limites Últimos

Nos elementos seguintes mostra-se o exemplo do dimensionamento de um dos tarugos.

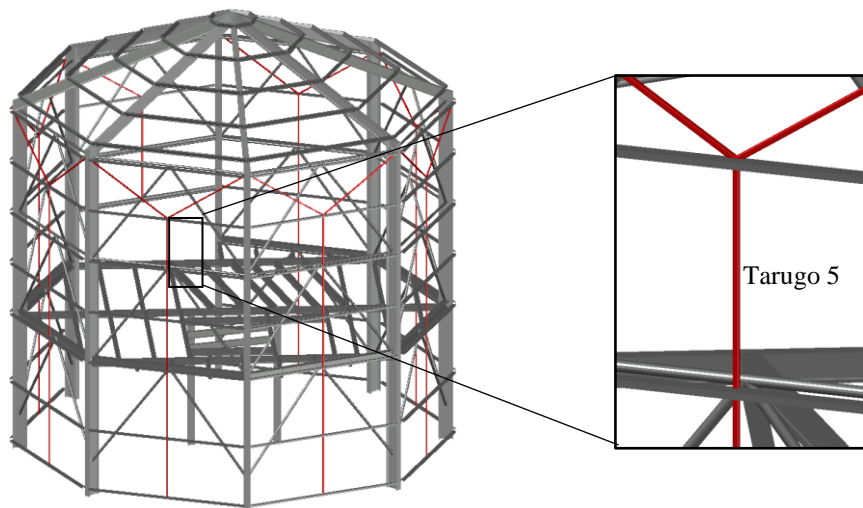


Figura 188 - Tarugo 5.8 da torre metálica

- **Esforços de cálculo**

O diagrama de esforços axiais para a combinação condicionante é:

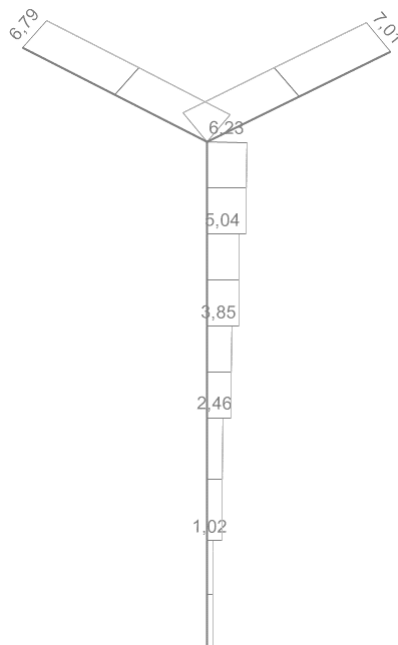


Figura 189 - Diagrama de esforços axiais

a) 1º Método de Dimensionamento - Rotina de cálculo em “Excel”

Relatório de Dimensionamento de Elementos Metálicos									
1- Características do Elemento									
Função Estrutural do Elemento: Tarugo dos Alçados da Torre Metálica									
Tipo de Elemento: Tirante									
Comprimento do Elemento= 1,5 m									
Número do Elemento no modelo SAP: 2825									
Combinação Condicionante: ELU(W)_SC_T-									
Coeficientes Parciais de Segurança γ_{Mi} : $\gamma_{M0}=1,00$ $\gamma_{M1}=1,00$ $\gamma_{M2}=1,25$									
2- Esforços de Cálculo Atuantes									
Secção Apoio Esquerdo			Secção do Meio Vão			Secção Apoio Direito			
$N_{Ed} =$	6,23 kN		$N_{Ed} =$	6,23 kN		$N_{Ed} =$	6,23 kN		
$V_{y,Ed} =$	0 kN		$V_{y,Ed} =$	0 kN		$V_{y,Ed} =$	0 kN		
$V_{z,Ed} =$	0 kN		$V_{z,Ed} =$	0 kN		$V_{z,Ed} =$	0 kN		
$M_{y,Ed} =$	0 kN.m		$M_{y,Ed} =$	0 kN.m		$M_{y,Ed} =$	0 kN.m		
$M_{z,Ed} =$	0 kN.m		$M_{z,Ed} =$	0 kN.m		$M_{z,Ed} =$	0 kN.m		
3- Propriedades do Material									
Classe do Aço: S275 H			$f_y =$	275 N/mm ²		$G =$	81000 N/mm ²		
			$f_u =$	430 N/mm ²		$E =$	210000 N/mm ²		
4- Propriedades Geométricas da Secção Transversal									
Perfil: SHS 40x4			$h =$	40 mm		$b =$	40 mm		
$t =$	4 mm		$r_{ext} =$	6 mm		$r_{int} =$	2 mm		
$A =$	5,59 cm ²		$A_{vz} =$	2,80 cm ²		$A_{vy} =$	2,80 cm ²		
$I_{yy} =$	11,80 cm ⁴		$i_y =$	1,45 cm		$I_{zz} =$	11,80 cm ⁴		
$i_z =$	1,45 cm		$W_{pl,y} =$	7,44 cm ³		$W_{pl,z} =$	7,44 cm ³		
$W_{el,y} =$	5,91 cm ³		$W_{el,z} =$	5,91 cm ³		$I_t =$	19,50 cm ⁴		
$I_w =$	0,00 x10 ⁻³ cm ⁶		$y_0 =$	0,00 mm		$z_0 =$	0,00 mm		
5- Classificação da Secção Transversal									
$\epsilon:$	0,92		Componente à Flexão			Componente à Compressão			
			Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 1	Classe 2	Classe 3	
$c/t_w:$	7,00	≤	66,56	76,73	114,63	30,51	35,13	38,83	
$c/t_f:$	7,00	≤	-	-	-	30,51	35,13	38,83	
			Alma à Flexão e à Compressão			Classificação - Resumo			
	$\Psi_{web,left}$	$\Psi_{web,right}$	Classe 1	Classe 2	Classe 3	F	C	F+C	
se	-	-	-	-	38,83	1	1	1	
smv	-	-	-	-	38,83	1	1	1	
sd	-	-	-	-	38,83	1	1	1	
SemiComp:	-	-	Classe Semi-Comp:			-	Classe Adotada:		-
6- Esforços Resistentes de Cálculo									
$N_{pl,Rd} =$	153,7 kN		$N_{u,Rd} =$	- kN		$N_{net,Rd} =$	- kN		
$N_{t,Rd} =$	153,7 kN		$N_{c,Rd} =$	153,7 kN		$V_{c,y,Rd} =$	44,4 kN		
$V_{c,z,Rd} =$	44,4 kN		$M_{c,y,Rd} =$	2,0 kN.m		$M_{c,z,Rd} =$	2,0 kN.m		
$M_{y,v,Rd} =$	2,0 kN.m		$M_{z,v,Rd} =$	2,0 kN.m		$M_{N,y,Rd} =$	2,0 kN.m		
$M_{N,z,Rd} =$	2,0 kN.m		$M_{NV,y,Rd} =$	2,0 kN.m		$M_{NV,z,Rd} =$	2,0 kN.m		
$N_{b,y,Rd} =$	79,5 kN		$N_{b,z,Rd} =$	79,5 kN		$N_{b,T,Rd} =$	153,7 kN		
$M_{b,Rd} =$	2,0 kN.m								

Figura 190 - Folha 1 de 2 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em “Excel” - Tarugo 5.8

7- Resistência da Secção Transversal										Secção Apoio Direito																																																											
NP EN 1993-1-1, 6.2.3 - Tração																																																																					
$N_{Ed}/N_{t,Rd} = 0,04 \leq 1,0$										OK					(1)																																																						
NP EN 1993-1-1, 6.2.4 - Compressão																																																																					
$N_{Ed}/N_{c,Rd} = - \leq 1,0$										-					(2)																																																						
NP EN 1993-1-1, 6.2.5 - Momento Fletor																																																																					
$M_{y,Ed}/M_{c,y,Rd} = 0,00 \leq 1,0$										OK					(3)																																																						
$M_{z,Ed}/M_{c,z,Rd} = 0,00 \leq 1,0$										OK					(4)																																																						
NP EN 1993-1-1, 6.2.6 - Esforço Transverso																																																																					
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} = 0,00 \leq 1,0$										OK					Classe 1 e 2																																																						
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} = 0,00 \leq 1,0$										OK					Classe 1 e 2																																																						
$\tau_{y,Ed}/(f_y/(3^{0,5}\gamma_{M0})) = - \leq 1,0$										-					Classe 3 Eixo y-y																																																						
$\tau_{z,Ed}/(f_y/(3^{0,5}\gamma_{M0})) = - \leq 1,0$										-					Classe 3 Eixo z-z																																																						
Encurvadura por Esforço Transverso ($h_w/t_w \leq 72\varepsilon/\eta$): Desprezar Em que $\eta = 1,0$																																																																					
NP EN 1993-1-1, 6.2.8 - Flexão com Esforço Transverso																																																																					
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} = 0,00 \leq 0,5$										Esforço Transverso sem significado																																																											
$M_{y,Ed}/M_{y,V,Rd} = 0,00 \leq 1,0$										OK					Classe 1 e 2																																																						
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} = 0,00 \leq 0,5$										Esforço Transverso sem significado																																																											
$M_{z,Ed}/M_{z,V,Rd} = 0,00 \leq 1,0$										OK					Classe 1 e 2																																																						
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 = - \leq 1,0$										-					Classe 3 Eixo y-y																																																						
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 = - \leq 1,0$										-					Classe 3 Eixo z-z																																																						
NP EN 1993-1-1, 6.2.9 - Flexão Composta																																																																					
$N_{Ed}/N_{pl,Rd} = - \leq 0,25$										-																																																											
$N_{Ed}/h_w t_w f_y = 0,20 \leq 0,50$										-																																																											
$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} = 0,00 \leq 1,0$										OK					Classe 1 e 2																																																						
$N_{Ed}/h_w t_w f_y = 0,20 \leq 1,0$										Esforço Axial sem significado																																																											
$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} = 0,00 \leq 1,0$										OK					Classe 1 e 2																																																						
$\sigma_{Ed}/f_y = - \leq 1,0$										-					Classe 3 Eixo y-y																																																						
$\sigma_{Ed}/f_y = - \leq 1,0$										-					Classe 3 Eixo z-z																																																						
NP EN 1993-1-1, 6.2.10 - Flexão Composta Desviada com Esforço Transverso																																																																					
$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^a + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^b = 0,00 \leq 1,0$										OK					Classe 1 e 2																																																						
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 = - \leq 1,0$										-					Classe 3																																																						
8- Rácios de Utilização																																																																					
<table border="1"> <tr> <td>Rácios</td> <td>(1)</td><td>(2)</td><td>(3)</td><td>(4)</td><td>(5)</td><td>(6)</td><td>(7)</td><td>(8)</td><td>(9)</td><td>(10)</td><td>(11)</td><td>(12)</td><td>(13)</td><td>(14)</td><td>(15)</td><td>(16)</td><td>(17)</td><td>(18)</td><td>(19)</td><td>(20)</td><td>(21)</td><td>(22)</td><td>(23)</td><td>(24)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0,04</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td> </tr> </table>																				Rácios	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)		0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rácios	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)																																													
	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																													

Figura 191 - Folha 2 de 2 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em "Excel" - Tarugo 5.8

b) 2º Método de Dimensionamento - Software "SAP2000"

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : 2825 X Mid: -4,061 Combo: ELU(W)_SC_T- Design Type: Column
Length: 1,5 Y Mid: 4,061 Shape: SHS 40X40X4 Frame Type: DCH-MRF
Loc : 1,5 Z Mid: 39,3 Class: Class 1 Rolled : No

Country=CEN Default Combination=Eq. 6.10 Reliability=Class 2
Interaction=Method 2 (Annex B) MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No
Consider Torsion? No Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

GammaM0=1, GammaM1=1, GammaM2=1,25
q=1,5 Omega=1, GammaOV=1,1
An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75 D/C Lim=0,95

Aeff=5,760E-04 eNy=0, eNz=0, Wel,yy=6,298E-06 Weff,yy=6,298E-06
A=5,760E-04 Iyy=0, iyy=0,015 Wel,zz=6,298E-06 Weff,zz=6,298E-06
It=0, Izz=0, izz=0,015 Wpl,yy=7,808E-06 Av,y=3,200E-04
Iw=0, Iyz=0, h=0,04 Wpl,zz=7,808E-06 Av,z=3,072E-04
E=210000000, fy=275000, fu=430000, Wpl,zz=7,808E-06 Av,z=3,072E-04

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
1,5	6,227	0,	0,	0,	0,	-0,004

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.2.9.1 (6n))

D/C Ratio: 0,039 = 0,039 < 0,95 OK
= (Ned/NRd) (EC3 6.2.9.1 (6n))

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag	
Axial	6,253	158,4	158,4	34466,792	116,022	1,	
	Npl,Rd	Nu,Rd					
	158,4	178,33					
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	c	0,49	116,022	1,168	1,42	0,449	71,138
MajorB (y-y)	c	0,49	116,022	1,168	1,42	0,449	71,138
Minor (z-z)	c	0,49	116,022	1,168	1,42	0,449	71,138
MinorB (z-z)	c	0,49	116,022	1,168	1,42	0,449	71,138
Torsional TF	c	0,49	116,022	1,168	1,42	0,449	71,138

MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med,span Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity	
Major (y-y)	0,	0,	2,147	2,147	2,147	2,147	
Minor (z-z)	0,	0,	2,147	2,147	2,147	2,147	
	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
LTB	d	0,76	0,165	0,5	1,	0,	78,791
	kw	C1	C2	C3			
Factors	1,	1,884	0,	0,941			
	za	zs	zg	zz	zj		
	0,02	0,	0,02	0,	0,		
	kyy	kyz	kzy	kzz			
Factors	1,	0,6	0,6	1,			
	Ved Force	Vpl.Rd Capacity	Ved/Vpl.Rd Ratio	rho Factor			
Major (z)	0,	48,775	0,	1,			
Minor (y)	0,	50,807	0,	1,			

SHEAR DESIGN

	Ved Force	Ted Torsion	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check
Major (z)	0,	0,004	48,775	0,	OK
Minor (y)	0,	0,004	50,807	0,	OK
	Vpl,Rd Capacity	Eta Factor	LambdaBar Ratio	Chi Factor	
Minor (y)	48,775	1,2	0,1	1,2	
Major (y)	50,807	1,2	0,	1,	

Figura 192 - Dimensionamento no "SAP2000" - Tarugo 5.8

c) 3º Método de Dimensionamento - Software “SemiComp”

SEMICOMP Member Design							
Cross-section type		Square hollow section		Partial factors γ_M			
Finishing		Hot finished (EN 10210-2)		$\gamma_{M0} =$		1,00	
Select from library (optional)		SHS 40 x 4		$\gamma_{M1} =$		1,00	
Cross-section data				Material			
H =	40,0	[mm]	Steel grade	S275			
B =	40,0	[mm]	$f_y =$	275,0	N/mm ²		
T =	4,0	[mm]	$E =$	210000,0	N/mm ²		
A [cm ²]	I_{yy} [cm ⁴]	I_{zz} [cm ⁴]	$W_{el,y}$ [cm ³]	$W_{el,z}$ [cm ³]	$W_{pl,y}$ [cm ³]	$W_{pl,z}$ [cm ³]	
5,59	11,83	11,83	5,91	5,91	7,44	7,44	
Boundary conditions				I_t [cm ⁴]		I_w [cm ⁶]	
$L_{Beam} =$	1,500	m	<input checked="" type="checkbox"/> Torsion restrained	0,00		0,00	
$n_{fork} =$	0	[-]	<input type="checkbox"/> strong Axis buckling restrained				
				<input type="checkbox"/> weak Axis Buckling restrained			
Loading in z-x-plane				Loading in y-x-plane			
$N_{Ed} =$	6,25	kN	$q_{y,Ed}^{(*)} =$	0,00	kN/m		
$q_{z,Ed}^{(*)} =$	0,00	kN/m	$M_{z,left,Ed} =$	0,00	kNm		
$M_{y,left,Ed} =$	0,00	kNm	$M_{z,right,Ed} =$	0,00	kNm		
$M_{y,right,Ed} =$	0,00	kNm	$P_{v,Ed}^{(*)} =$	0,00	kN		
$P_{z,Ed}^{(*)} =$	0,00	kN					
Distance of Loading to shear center							
$z_{Si} =$	0,00	mm					
				Calculate Forces!			
$M_{cr} =$	0,00	kNm	<input checked="" type="radio"/> Enter M_{cr} manually				
$M_{cr,0} =$	0,00	kNm	<input type="radio"/> Use LTBeam				
Specify path of LTBeam.exe file:				Note: LTBeam is a tool developed by CTICM to calculate the lateral torsional buckling moment of beams. You can download it for free at www.cticm.com .			
C:\Program Files (x86)\LTBeam_v1010\LTBeam.exe							
Definition of axes							

Figura 193 - Folha 1 de 2 - Dimensionamento no “SemiComp” - Tarugo 5.8

SEMICOMP Cross-Section Check

Choose method EN 1993-1-1 (elastic Resistance) ▾

$N_{Ed} =$ 6,230 kN

$M_{y,Ed} =$ 0,000 kNm

$M_{z,Ed} =$ 0,000 kNm

$V_{z,Ed} =$ 0,000 kN

$V_{y,Ed} =$ 0,000 kN

Perform cross-section checks

Reference values for classification

$c/t_w =$ 7,000

$\alpha_{web} =$ 0,000

$\psi_{web} =$ 1,000

$\varepsilon =$ 0,924

$c/t_f =$ 7,000

$\alpha_{flange} =$ 0,000

$\psi_{flange} =$ 1,000

$\varepsilon_{mod, c/3/4} =$ NaN

Boundaries

Class 1 Class 2 Class 3

$c/t_w \leq c/t_{w, max} =$ NaN NaN 38,825

$c/t_f \leq c/t_{f, max} =$ NaN NaN 38,825

Cross section class = 1

Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations.

$M_{pl,y,Rd} =$ 2,05 kNm

$M_{el,y,Rd} =$ 1,63 kNm

$M_{pl,z,Rd} =$ 2,05 kNm

$M_{el,z,Rd} =$ 1,63 kNm

$V_{pl,z,Rd} =$ 44,36 kN

$V_{pl,y,Rd} =$ 44,36 kN

$N_{Rd} =$ 153,68 kN

EN 1993-1-1, 6.2.3 / 6.2.4

Tension or compression

$U_{(6.5)/(6.9)} =$ 0,041 $\leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.5

Bending moment

$U_{strong A.} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

$U_{weak A.} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.6

Shear

$U_{z-plastic} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

$U_{y-plastic} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

$U_{z-elastic} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

$U_{y-elastic} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

$h_w/t_w =$ 8,000 $\leq 72\varepsilon/\eta =$ 55,465 ok

EN 1993-1-1, 6.2.9

Bending and axial force

$U_{(6.41)/(6.42)} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

$UF =$ 0,000

Comment: Shear Interaction is not considered within this software tool. If the utilization for shear is higher than 0.5, an additional check for shear interaction is necessary.

Figura 194 - Folha 2 de 2 - Dimensionamento no "SemiComp" - Tarugo 5.8

d) Comparação de resultados dos três procedimentos

Tabela 111 - Quadro comparativo - Tarugo 5.8

Rácios de ELU ou Parâmetro	Rotina de		Δ (%)	Rotina de	
	Cálculo	"SAP2000"		"SemiComp"	Δ (%)
		"Excel"			
Esforço Axial de Tração	0,04	0,04	4,1	0,04	0,0

Conclusão

Em baixo constam os rácios de dimensionamento dos tarugos das madres do sector 8 dos alçados da torre, obtidos pela folha de cálculo em "Excel" e pelo "SAP2000" bem como as diferenças percentuais registadas.

Tabela 112 - Dimensionamento dos tarugos dos alçados da torre - Sector 8

Tarugos Sector 8	Nº "SAP2000"	Combinação Condicionante	Perfil	Rácio "Excel"	Rácio "SAP2000"	Δ (%)
1	2875	ELU(W)_SC_I_T-	SHS 40x40x4	0,007	0,006	10,1%
2	2822	ELU(W)_SC_I_T-	SHS 40x40x4	0,016	0,016	0,5%
3	2823	ELU(W)_SC_T-	SHS 40x40x4	0,025	0,024	4,3%
4	2824	ELU(W)_SC_T-	SHS 40x40x4	0,033	0,032	2,8%
5	2825	ELU(W)_SC_T-	SHS 40x40x4	0,041	0,039	4,1%
6	2827	ELU(W)_SC_I_T-	SHS 40x40x4	0,044	0,043	2,6%
7	2826	ELU(W)_SC_T-	SHS 40x40x4	0,046	0,044	3,5%

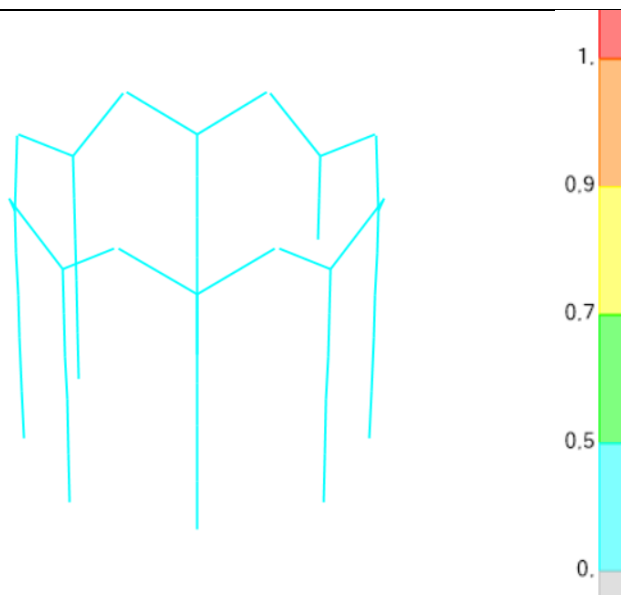


Figura 195 - Rácios de dimensionamento

Travamentos dos alçados laterais da torre metálica

Estados Limites Últimos

Junta-se como exemplo o cálculo da barra interior de travamento 5.

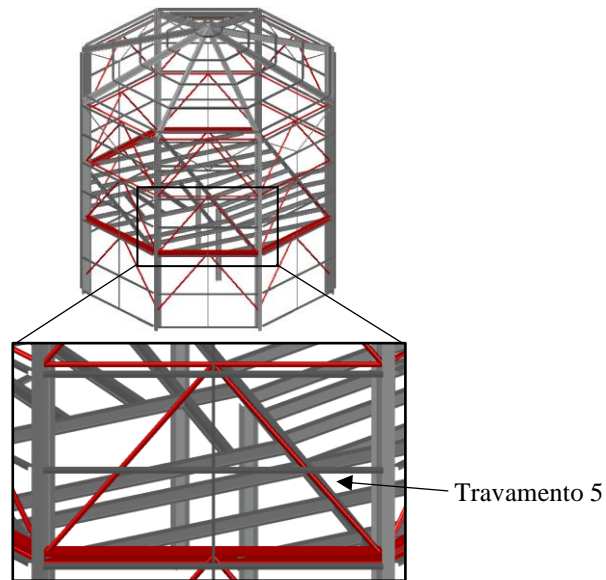


Figura 196 - Travamentos dos alçados laterais

- **Esforços de cálculo**

Na figura indica-se o diagrama de esforços axiais de compressão para a barra em estudo.

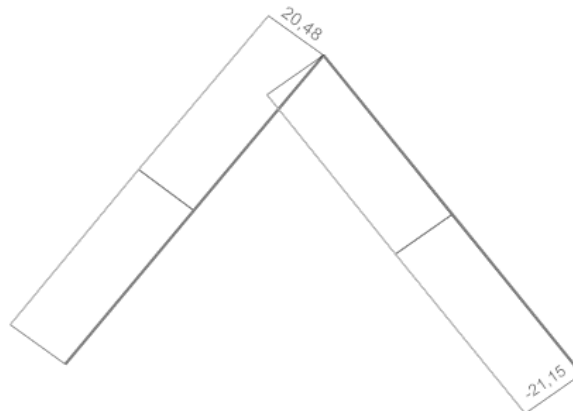


Figura 197 - Diagrama de esforços axiais

a) 1º Método de Dimensionamento - Rotina de cálculo em “Excel”

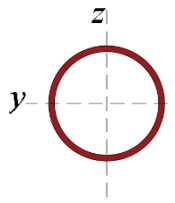
Relatório de Dimensionamento de Elementos Metálicos			
1- Características do Elemento			
Função Estrutural do Elemento: Travamentos Alçados Laterais da Torre			
Tipo de Elemento: Coluna			
Comprimento do Elemento= 3,78 m			
Número do Elemento no modelo SAP: 2485			
Combinação Condicionante: ELU(W)_SC_T-			
Coeficientes Parciais de Segurança γ_{Mi} : $\gamma_{M0}=1,00$ $\gamma_{M1}=1,00$ $\gamma_{M2}=1,25$			
2- Esforços de Cálculo Atuantes			
Secção Apoio Esquerdo	Secção do Meio Vão	Secção Apoio Direito	
$N_{Ed} = -21,15$ kN	$N_{Ed} = -21,15$ kN	$N_{Ed} = -21,15$ kN	
$V_{y,Ed} = 0$ kN	$V_{y,Ed} = 0$ kN	$V_{y,Ed} = 0$ kN	
$V_{z,Ed} = 0$ kN	$V_{z,Ed} = 0$ kN	$V_{z,Ed} = 0$ kN	
$M_{y,Ed} = 0$ kN.m	$M_{y,Ed} = 0$ kN.m	$M_{y,Ed} = 0$ kN.m	
$M_{z,Ed} = 0$ kN.m	$M_{z,Ed} = 0$ kN.m	$M_{z,Ed} = 0$ kN.m	
3- Propriedades do Material			
Classe do Aço: S275 H	$f_y = 275$ N/mm ²	$G = 81000$ N/mm ²	
	$f_u = 430$ N/mm ²	$E = 210000$ N/mm ²	
4- Propriedades Geométricas da Secção Transversal			
Perfil: CHS 60,3x4	$D = 60,3$ mm	$t = 4$ mm	
$A = 7,07$ cm ²	$A_v = 4,50$ cm ²	$I = 28,17$ cm ⁴	
$i = 2,00$ cm	$W_{pl} = 12,70$ cm ³	$W_{el} = 9,34$ cm ³	
$I_t = 56,06$ cm ⁴	$I_w = 0,00 \times 10^{-3}$ cm ⁶	$y_0 = 0,00$ mm	
$z_0 = 0,00$ mm			
5- Classificação da Secção Transversal			
$\epsilon: 0,92$	Secção em Flexão e/ou Compressão		
	Classe 1	Classe 2	Classe 3
$D/t: 15,08 \leq$	42,73	59,82	76,91
	Classe Adotada: 1		
6- Esforços Resistentes de Cálculo			
$N_{pl,Rd} = 194,6$ kN	$N_{u,Rd} = -$ kN	$N_{net,Rd} = -$ kN	
$N_{t,Rd} = 194,6$ kN	$N_{c,Rd} = 194,6$ kN	$V_{c,y,Rd} = 71,5$ kN	
$V_{c,z,Rd} = 71,5$ kN	$M_{c,y,Rd} = 3,5$ kN.m	$M_{c,z,Rd} = 3,5$ kN.m	
$M_{y,V,Rd} = 3,5$ kN.m	$M_{z,V,Rd} = 3,5$ kN.m	$M_{N,y,Rd} = 3,4$ kN.m	
$M_{N,z,Rd} = 3,4$ kN.m	$M_{NV,y,Rd} = 3,4$ kN.m	$M_{NV,z,Rd} = 3,4$ kN.m	
$N_{b,y,Rd} = 36,9$ kN	$N_{b,z,Rd} = 36,9$ kN	$N_{b,T,Rd} = 194,6$ kN	
$M_{b,Rd} = 3,5$ kN.m			

Figura 198 - Folha 1 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em “Excel” - Travamento 5.2

7- Resistência da Secção Transversal		Secção Apoio Direito	
NP EN 1993-1-1, 6.2.3 - Tração			
$N_{Ed}/N_{t,Rd} =$	$\leq 1,0$	-	(1)
NP EN 1993-1-1, 6.2.4 - Compressão			
$N_{Ed}/N_{c,Rd} =$	0,11 $\leq 1,0$	OK	(2)
NP EN 1993-1-1, 6.2.5 - Momento Fletor			
$M_{y,Ed}/M_{c,y,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	(3)
$M_{z,Ed}/M_{c,z,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	(4)
NP EN 1993-1-1, 6.2.6 - Esforço Transverso			
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (5)
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (6)
$\tau_{y,Ed}/(f_y/3^{0,5}\gamma_{M0}) =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y (7)
$\tau_{z,Ed}/(f_y/3^{0,5}\gamma_{M0}) =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z (8)
Encurvadura por Esforço Transverso ($h_w/t_w \leq 72\varepsilon/\eta$): Desprezar Em que $\eta = 1,0$			
NP EN 1993-1-1, 6.2.8 - Flexão com Esforço Transverso			
$V_{z,Ed}/V_{c,z,Rd} =$	0,00 $\leq 0,5$	Esforço Transverso sem significado	
$M_{y,Ed}/M_{y,v,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (9)
$V_{y,Ed}/V_{c,y,Rd} =$	0,00 $\leq 0,5$	Esforço Transverso sem significado	
$M_{z,Ed}/M_{z,v,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (10)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y (11)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z (12)
NP EN 1993-1-1, 6.2.9 - Flexão Composta			
$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (13)
$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (14)
$\sigma_{Ed}/f_y =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo y-y (15)
$\sigma_{Ed}/f_y =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 Eixo z-z (16)
NP EN 1993-1-1, 6.2.10 - Flexão Composta Desviada com Esforço Transverso			
$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^a + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^b =$	0,00 $\leq 1,0$	OK	Classe 1 e 2 (17)
$(\sigma_{Ed}/f_y)^2 + 3(\tau_{Ed}/f_y)^2 =$	$\leq 1,0$	-	Classe 3 (18)

Figura 199 - Folha 2 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em "Excel" - Travamento 5.2

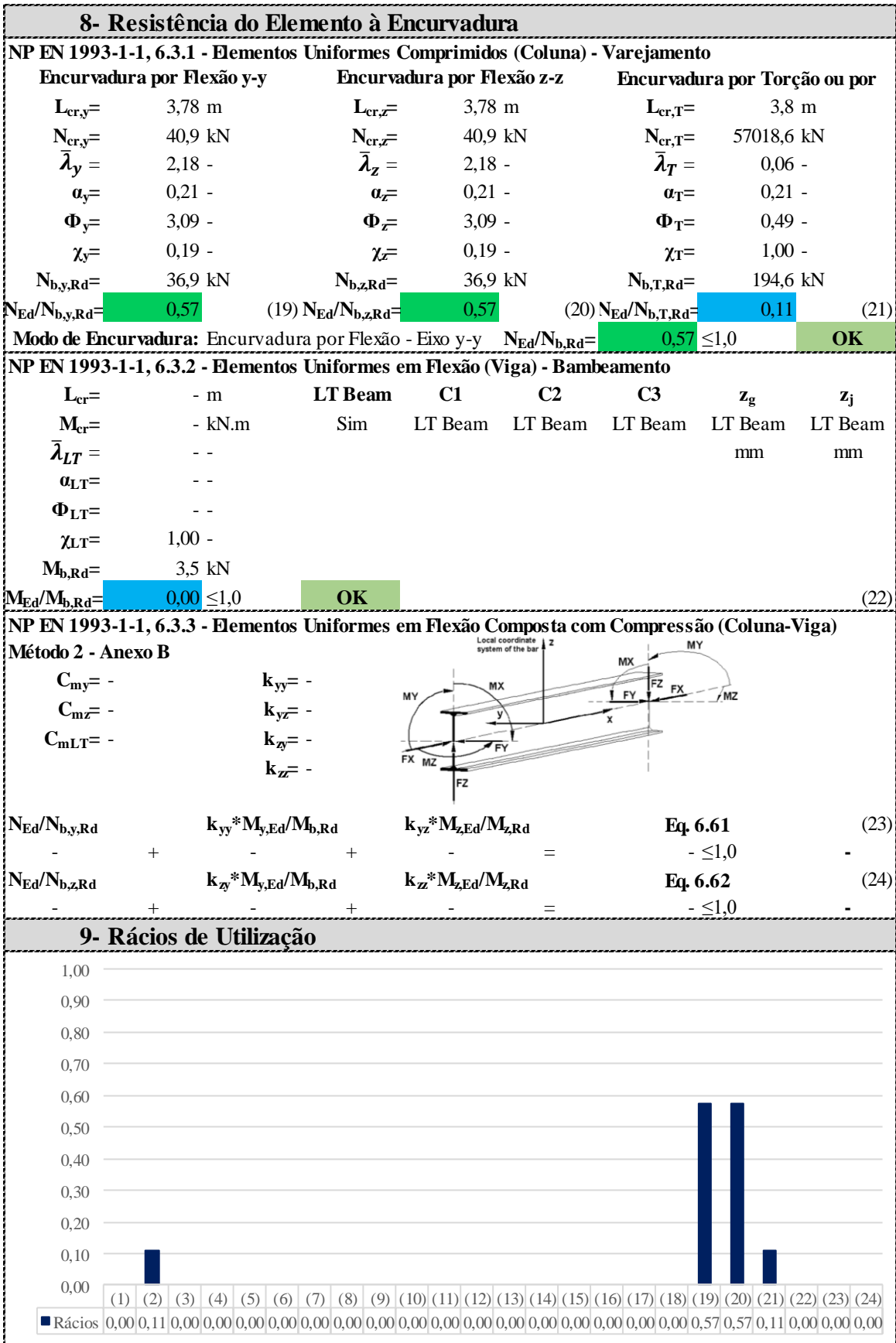


Figura 200 - Folha 3 de 3 do relatório de dimensionamento na rotina de cálculo em "Excel" - Travamento 5.2

b) 2º Método de Dimensionamento - Software "SAP2000"

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : 2485 X Mid: -3,108 Combo: ELU(W)_SC_T- Design Type: Brace
Length: 3,778 Y Mid: -4,731 Shape: CHS 60,3X4 Frame Type: DCH-MRF
Loc : 3,778 Z Mid: 37,05 Class: Class 1 Rolled : No

Country=CEN Default Combination=Eq. 6.10 Reliability=Class 2
Interaction=Method 2 (Annex B) MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No
Consider Torsion? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes
Ignore Seismic Code? No

GammaM0=1, GammaM1=1, GammaM2=1,25
q=1,5 Omega=1, GammaOV=1,1
An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75 D/C Lim=0,95

Aeff=7,075E-04 eNy=0, eNz=0, Wel,yy=9,344E-06 Weff,yy=9,344E-06
A=7,075E-04 Iyy=0, iyy=0,02 Wel,zz=9,344E-06 Weff,zz=9,344E-06
It=0, Izz=0, izz=0,02 Wpl,yy=1,270E-05 Av,y=4,504E-04
Iw=0, Iyz=0, h=0,06 Wpl,zz=1,270E-05 Av,z=4,504E-04
E=210000000, fy=275000, fu=430000, Wpl,zz=1,270E-05 Av,z=4,504E-04

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
3,778	-21,155	0,	0,	0,084	0,	-9,293E-04

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.3.3(4)-6.61)

D/C Ratio: $0,679 = \frac{0,644 + \sqrt{(0,035)^2 + (0,)^2}}{0,95} < 0,95$ OK

$$= \frac{Ned / (\text{Chi}_y \cdot N_{Rk} / \text{GammaM1}) + \sqrt{[(k_{yy} (My, Ed + NEd) eNy) / (\text{Chi}_{LT} \cdot M_y, Rk / \text{GammaM1})]^2 + (k_{yz} (M_z, Ed + NEd) eNz) / (M_z, Rk / \text{GammaM1})^2}}{0,95}$$
 (EC3 6.3.3(4)-6.61)

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd				
	Force	Capacity	Capacity				
Axial	-21,155	194,559	194,559				
	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag		
	194,559	219,038	57143,154	40,913	1,		
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	c	0,49	40,913	2,181	3,363	0,169	32,848
MajorB (y-y)	c	0,49	40,913	2,181	3,363	0,169	32,848
Minor (z-z)	c	0,49	40,913	2,181	3,363	0,169	32,848
MinorB (z-z)	c	0,49	40,913	2,181	3,363	0,169	32,848
Torsional TF	c	0,49	40,913	2,181	3,363	0,169	32,848

MOMENT DESIGN

	Med	Med,span	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd
	Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity
Major (y-y)	0,	0,08	3,493	3,493	3,493	3,493
Minor (z-z)	0,	0,	3,493	3,493	3,493	3,493

	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
LTB	d	0,76	0,269	0,563	0,947	0,	48,21

Factors	kw	C1	C2	C3		
	1,	1,132	0,459	0,525		
	za	zs	zg	zz	zj	
	0,03	0,	0,03	0,	0,	

Factors	kyy	kyz	kzy	kzz
	1,439	0,909	0,864	1,515

	Ved	Vpl.Rd	Ved/Vpl.Rd	rho
	Force	Capacity	Ratio	Factor
Major (z)	0,084	71,511	0,001	1,
Minor (y)	0,	71,511	0,	1,

SHEAR DESIGN

	Ved	Ted	Vc,Rd	Stress	Status
	Force	Torsion	Capacity	Ratio	Check
Major (z)	0,084	0,	71,511	0,001	OK
Minor (y)	0,	0,	71,511	0,	OK

	Vpl,Rd	Eta	LambdaBar	Chi
	Capacity	Factor	Ratio	Factor
Minor (y)	71,511	1,2	0,	1,
Major (y)	71,511	1,2	0,	1,

Figura 201 - Dimensionamento no "SAP2000" - Travamento 5.2

c) 3º Método de Dimensionamento - Software "SemiComp"

SEMICOMP Member Design

Cross-section type Circular hollow section ▼

Finishing Hot finished (EN 10210-2) ▼

Select from library (optional) CHS 60,3 x 4 ▼

Partial factors γ_M

$\gamma_{M0} = 1,00$

$\gamma_{M1} = 1,00$

Cross-section data

D = 60,3 [mm]

T = 4,0 [mm]

Material

Steel grade S275 ▼

$f_y = 275,0$ N/mm²

$E = 210000,0$ N/mm²

A [cm ²]	I_{yy} [cm ⁴]	I_{zz} [cm ⁴]	$W_{el,y}$ [cm ³]	$W_{el,z}$ [cm ³]	$W_{pl,y}$ [cm ³]	$W_{pl,z}$ [cm ³]
7,07	28,17	28,17	9,34	9,34	12,70	12,70

Boundary conditions

$L_{Beam} = 3,780$ m

$n_{fork} = 0$ [-]

Torsion restrained

strong Axis buckling restrained

weak Axis Buckling restrained

I_t [cm⁴]

I_w [cm⁶]

0,00 0,00

Loading in z-x-plane

$N_{Ed} = -21,15$ kN

$q_{z,Ed}^{(*)} = 0,00$ kN/m

$M_{y,left,Ed} = 0,00$ kNm

$M_{y,right,Ed} = 0,00$ kNm

$P_{z,Ed}^{(*)} = 0,00$ kN

Distance of Loading to shear center

$z_{S1} = 0,00$ mm

Loading in y-x-plane

$q_{y,Ed}^{(*)} = 0,00$ kN/m

$M_{z,left,Ed} = 0,00$ kNm

$M_{z,right,Ed} = 0,00$ kNm

$P_{y,Ed}^{(*)} = 0,00$ kN

(*)

Calculate Forces!

$M_{cr} = 0,00$ kNm Enter M_{cr} manually

$M_{cr,0} = 0,00$ kNm Use LTBeam

Specify path of LTBeam.exe file:

C:\Program Files (x86)\LTBeam_v1010\LTBeam.ex

Note: LTBeam is a tool developed by CTICM to calculate the lateral torsional buckling moment of beams. You can download it for free at www.cticm.com.

Definition of axes

Figura 202 - Folha 1 de 3 - Dimensionamento no "SemiComp" - Travamento 5.2

SEMICOMP Cross-Section Check

Choose method EN 1993-1-1 (elastic Resistance) ▾

$N_{Ed} =$ -21,150 kN	$V_{z,Ed} =$ 0,000 kN	<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; display: inline-block;">Perform cross-section checks</div>
$M_{y,Ed} =$ 0,000 kNm	$V_{y,Ed} =$ 0,000 kN	
$M_{z,Ed} =$ 0,000 kNm		

Reference values for classification

$c/t_w =$ 15,075	$\alpha_{web} =$ NaN	$\psi_{web} =$ NaN	$\varepsilon =$ 0,924
$c/t_f =$ 15,075	$\alpha_{flange} =$ NaN	$\psi_{flange} =$ NaN	$\varepsilon_{mod,cl3/4} =$ NaN

Boundaries

	Class 1	Class 2	Class 3
$c/t_w \leq c/t_{w, max} =$	42,727	59,818	76,909
$c/t_f \leq c/t_{f, max} =$	42,727	59,818	76,909

Cross section class = 1

Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations.

$M_{pl,y,Rd} =$ 3,49 kNm	$M_{pl,z,Rd} =$ 3,49 kNm	$V_{pl,z,Rd} =$ 71,51 kN
$M_{el,y,Rd} =$ 2,57 kNm	$M_{el,z,Rd} =$ 2,57 kNm	$V_{pl,y,Rd} =$ 71,51 kN
$N_{Rd} =$ 194,56 kN		

EN 1993-1-1, 6.2.3 / 6.2.4

Tension or compression

$U_{(6.5)/(6.9)} =$ 0,109 $\leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.5

Bending moment

$U_{strong A.} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

$U_{weak A.} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

EN 1993-1-1, 6.2.6

Shear

$U_{z-plastic} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

$U_{y-plastic} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

$U_{z-elastic} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

$U_{y-elastic} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

$h_w/t_w =$ 0,000 $\leq T2e/\eta =$ 0,000 ok

EN 1993-1-1, 6.2.9

Bending and axial force

$U_{(6.41)/(6.42)} =$ 0,000 $\leq 1,0$ ok

$UF =$ 0,000

Comment: Shear Interaction is not considered within this software tool. If the utilization for shear is higher that 0.5, an additional check for shear interaction is necessary.

Figura 203 - Folha 2 de 3 - Dimensionamento no "SemiComp" - Travamento 5.2

SEMICOMP Member Check

Choose method for member check

Method 2 (EN 1993-1-1 Annex B) ▾

Choose method for cross-section resistance

EN 1993-1-1:2010-12 ▾

Perform member design check

Section classification for member design check (based on 1. order cross-section forces)

Reference values for classification in the worst section along the member

$c/t_w = 15,075$ $\alpha_{web} = NaN$ $\psi_{web} = NaN$ $\varepsilon = 0,924$
 $c/t_f = 15,075$ $\alpha_{flange} = NaN$ $\psi_{flange} = NaN$

Boundaries

	Class 1	Class 2	Class 3
$c/t_w \leq c/t_{w, max}$	42,727	59,818	76,909
$c/t_f \leq c/t_{f, max}$	42,727	59,818	76,909

Member class = 1

Note: This tool is only applicable to Class 1 to 3. For Class 4 elastic cross-section values are used for all calculations. The user should check if parts of member are Class 4 in the "Additional info"-sheet.

Member Check

$N_{Rd} = 194,559$ kN	$M_{pl,y,Rd} = 3,493$ kNm	$N_{Ed} = -21,150$ kN
$M_{y,Rd} = 3,493$ kNm	$M_{pl,z,Rd} = 3,493$ kNm	$M_{y,Ed,max} = 0,000$ kNm
$M_{z,Rd} = 3,493$ kNm	$M_{el,y,Rd} = 2,570$ kNm	$M_{z,Ed,max} = 0,000$ kNm
	$M_{el,z,Rd} = 2,570$ kNm	

Strong axis buckling	Weak axis buckling	Lateral torsional buckling
$L_{cr,y} = 3,780$ m	$L_{cr,z} = 3,780$ m	$M_{cr} = inf.$ kNm
$N_{cr,y} = 40,866$ kN	$N_{cr,z} = 40,866$ kN	$\alpha_{LT} = 0,00$ [-]
$\alpha_y = 0,21$ [-]	$\alpha_z = 0,21$ [-]	$\lambda_{LT} = 0,000$ [-]
$\lambda_y = 2,182$ [-]	$\lambda_z = 2,182$ [-]	$\chi_{LT,mod} = 1,000$ [-]
$\chi_y = 0,190$ [-]	$\chi_z = 0,190$ [-]	$f_{mod} = 0,000$ [-]

EN 1993-1-1, 6.3.3

Uniform member in bending and axial compression

Eq. (6.61): $U = 0,573 \leq 1,0$ **ok**

Eq. (6.62): $U = 0,573 \leq 1,0$ **ok**

Global interaction factors

$C_{my} = 0,000$ [-]	$k_{yy} = 0,000$
$C_{mz} = 0,000$ [-]	$k_{yz} = 0,000$
$C_{mLT} = 0,000$ [-]	$k_{zy} = 0,000$
	$k_{zz} = 0,000$

Cross-section check at each end of the member

Left end:	$U = 0,109 \leq 1,0$ ok	$UF = 0,109$
Right end:	$U = 0,109 \leq 1,0$ ok	$UF = 0,109$

Additional member checks

EN 1993-1-1, 6.3.1

Strong axis flexural buckling check

Eq. (6.46): $N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0,573 \leq 1,0$ **ok**

Weak axis flexural buckling check

Eq. (6.46): $N_{Ed}/N_{b,Rd} = 0,573 \leq 1,0$ **ok**

EN 1993-1-1, 6.3.2

Lateral torsional buckling

Eq. (6.54): $M_{Ed}/M_{b,Rd} = 0,000 \leq 1,0$ **ok**

Figura 204 - Folha 3 de 3 - Dimensionamento no "SemiComp" - Tratamento 5.2

d) Comparação de resultados dos três procedimentos

Tabela 113 - Quadro comparativo - Travamento 5.2

Rádios de ELU ou Parâmetro	Rotina de Cálculo "Excel"	"SAP2000"	Δ (%)	"SemiComp"	Δ (%)	
Esforço Axial de Compressão	0,11	0,11	0,0	0,11	0,0	
Encurvadura em colunas	Eixo y-y	0,57	0,68	18,4	0,57	0,0
	Eixo z-z	0,57	0,68	18,4	0,57	0,0

Conclusão

Em baixo constam os rácios de dimensionamento dos travamentos do sector 2 da torre, obtidos pela folha de cálculo em "Excel" e pelo "SAP2000" bem como as diferenças percentuais registadas.

Tabela 114 - Dimensionamento dos tarugos dos alçados da torre - Sector 8

Travamentos Sector 2	Nº "SAP2000"	Combinação Condicionante	Perfil	Rácio "Excel"	Rácio "SAP2000"	Δ (%)
1	2483	ELU(W)_SC_T-	CHS73X5,6	0,436	0,527	20,9%
2	2482	ELU(W)_SC_T-	CHS73X5,6	0,436	0,527	20,9%
3	2481	ELU(T-)_SC_I	HEB200	0,050	0,061	22,0%
4	2484	ELU(W)_SC_T-	CHS60,3X4	0,573	0,679	18,4%
5	2485	ELU(W)_SC_T-	CHS60,3X4	0,573	0,679	18,4%
6	2488	ELU(W)_T+	CHS73X4	0,218	0,250	14,7%
7	2486	ELU(T-)_SC	CHS60,3X4	0,114	0,153	34,4%
8	2487	ELU(T-)_SC	CHS60,3X4	0,114	0,153	34,4%
9	2489	ELU(T-)	CHS60,3X4	0,072	0,085	18,1%

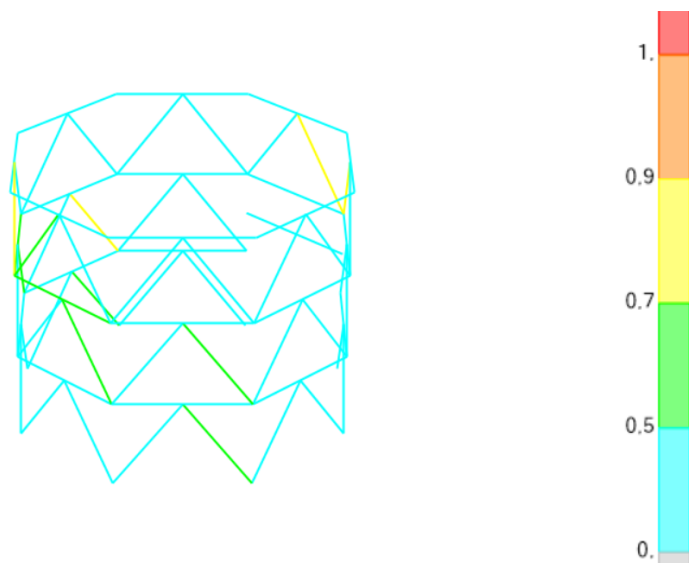
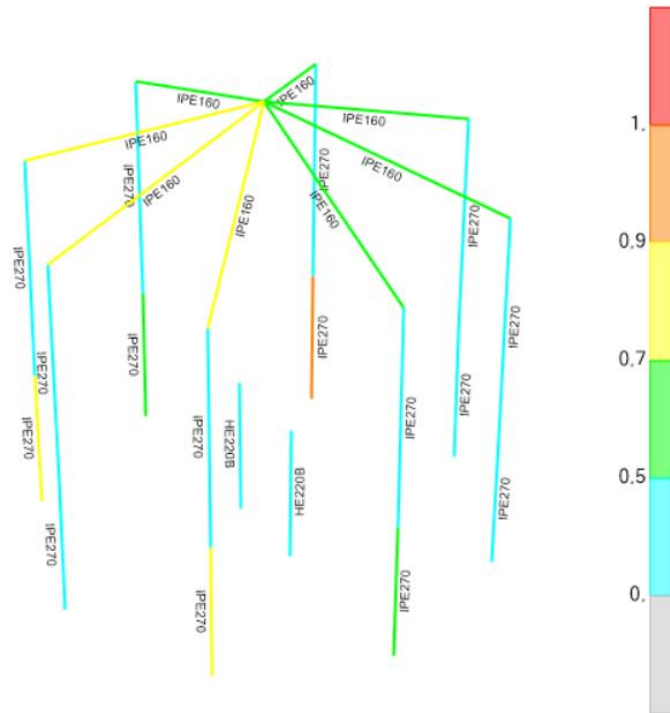


Figura 205 - Rádios de dimensionamento

Pórticos da Torre Metálica

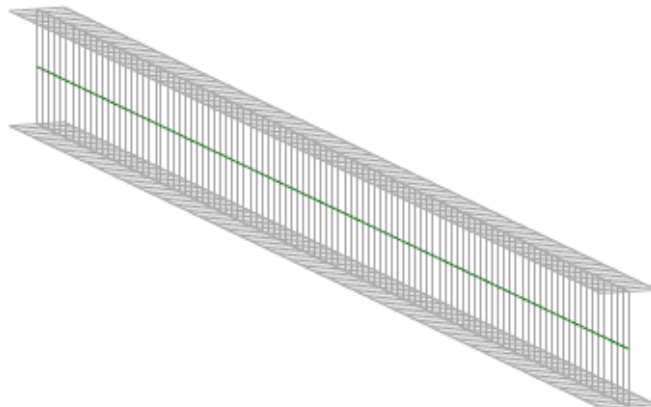


Apresentam-se, seguida e respetivamente, os momentos críticos calculados no *software* “*LTBeamN*” para o pilar 1 do pórtico entre os sectores 5 e 6 da torre metálica e para a travessa 4 do pórtico entre os sectores 7 e 8.

LTBeamN

v 1.0.1

CALCULATION SHEET



I - PARAMETERS**I.1 - General parameters**

Projected total length :	$L = 4 \text{ m}$
Initial discretization of the beam :	$n_{el} = 100 \text{ elements}$

I.2 - Material

Name :	Steel
Young modulus :	$E = 210000 \text{ MPa}$
Shear modulus :	$G = 80769 \text{ MPa}$
Poisson factor :	$\nu = 0,3$
Density :	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I.3 - Sections

Alignment of sections :	Top
-------------------------	-----

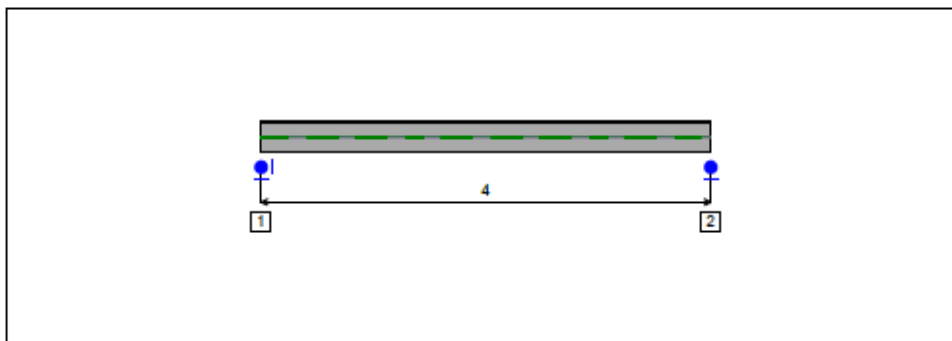


Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : IPE 270

Abscissa from the left end of the beam :

x = 0 m

Type :

In catalogue (OTUA)

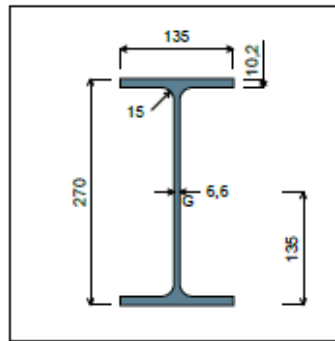


Figure 2 : Section No. 1 (IPE 270).

Main geometrical properties :

z_G	= 0 cm
z_G	= 13,5 cm
I_y	= 5789,8 cm ⁴
I_z	= 419,87 cm ⁴
I_t	= 15,73 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 70849 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 45,95 cm ²	$A_{V,z}$	= 22,14 cm ²
$A_{V,y}$	= 27,54 cm ²	$W_{el,z}$	= 62,2 cm ³
$W_{el,y,sup}$	= 428,87 cm ³	$W_{pl,z}$	= 96,95 cm ³
$W_{el,y,inf}$	= 428,87 cm ³		
$W_{pl,y}$	= 484 cm ³		

Stiffness relaxations :

(i)	: Continuous
v'	: Continuous
(i')	: Continuous
w'	: Continuous

- Section No. 2 : IPE 270

Abscissa from the left end of the beam :

$x = 4 \text{ m}$

Type :

In catalogue (OTUA)

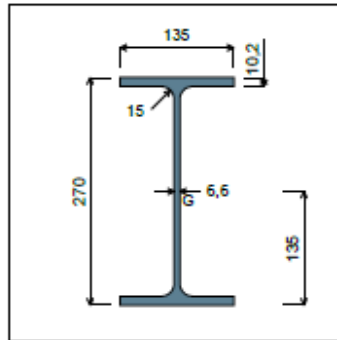


Figure 3 : Section No. 2 (IPE 270).

Main geometrical properties :

z_G	= 0 cm
z_G	= 13,5 cm
I_y	= 5789,8 cm ⁴
I_z	= 419,87 cm ⁴
I_t	= 15,73 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 70849 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 45,95 cm ²	$A_{v,z}$	= 22,14 cm ²
$A_{v,y}$	= 27,54 cm ²	$W_{el,z}$	= 62,2 cm ³
$W_{el,y,sup}$	= 428,87 cm ³	$W_{pl,z}$	= 96,95 cm ³
$W_{el,y,inf}$	= 428,87 cm ³		
$W_{pl,y}$	= 484 cm ³		

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

1.4 - Lateral restraints

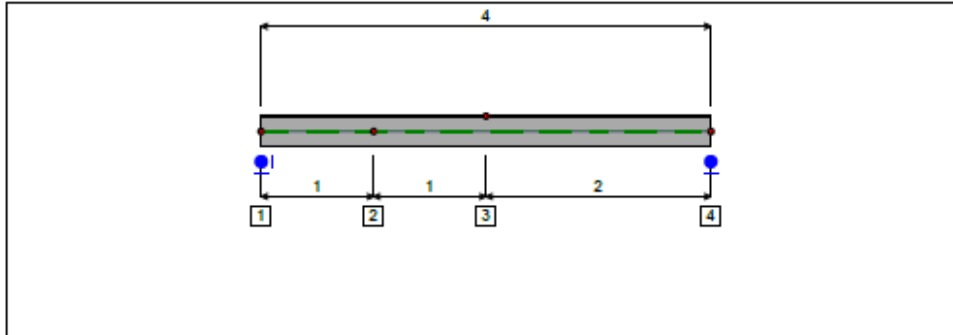


Figure 4 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v	: Fixed
θ	: Fixed
v'	: Fixed
θ'	: Fixed

- Restraint No. 2 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 1$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v	: Fixed
θ	: Fixed
v'	: Free
θ'	: Free

- Restraint No. 3 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 2$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 13,5$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
θ : Fixed
v' : Free
θ' : Free

- *Restraint No. 4* :

Type : Punctual

Abscissa from the left end of the beam : x = 4 m

Vertical position from the shear centre : z = 0 cm

Restraint conditions :

v : Fixed
θ : Fixed
v' : Free
θ' : Free

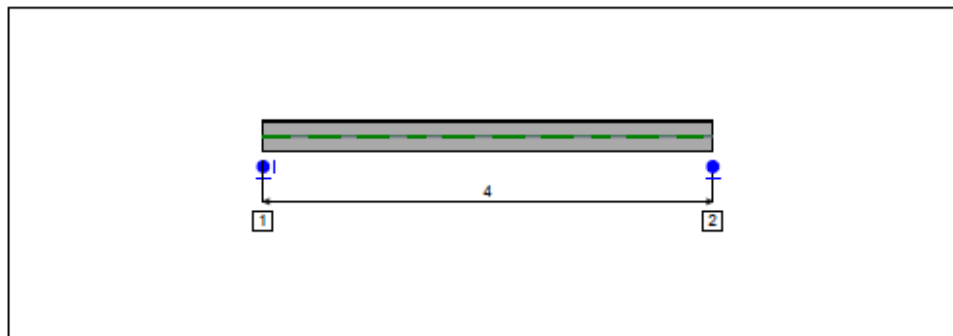
1.5 - Supports

Figure 5: Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

u : Fixed

w : Fixed

w' : Free

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 4$ m

Support conditions :

u : Free

w : Fixed

w' : Free

1.6 - Loads

Type of loading : Internal

- Moment diagram :

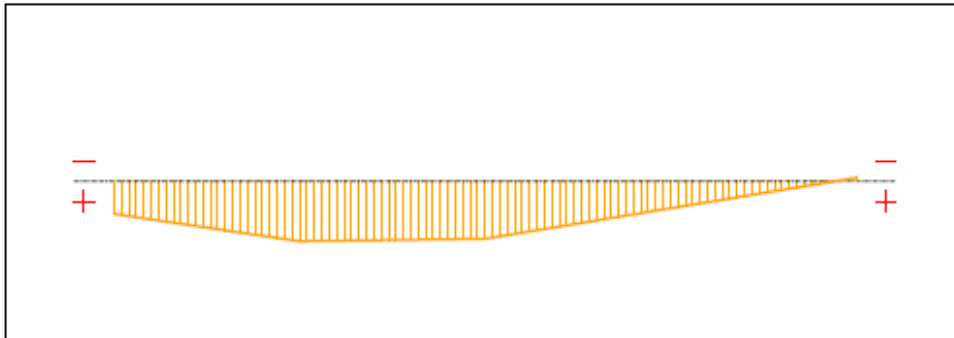


Figure 6 : Moment diagram.

Active : Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	8,63
1	15,94
2	15,24
4	-0,95

- Axial force diagram :

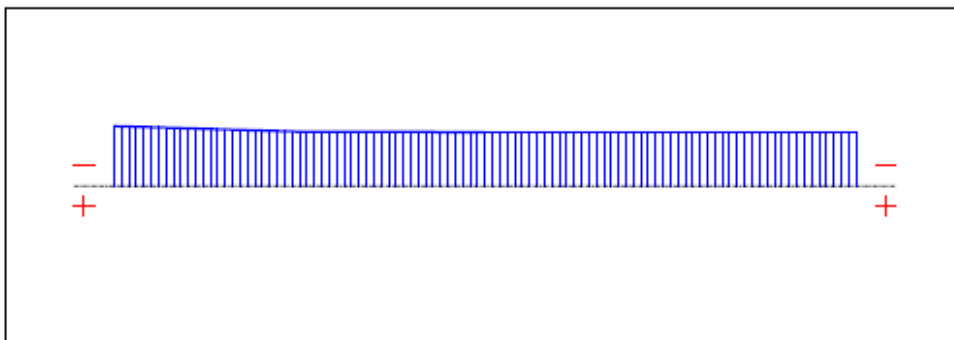


Figure 7 : Axial force diagram.

Active :

Yes

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	-308,12
1	-279,08
2	-276,9
4	-276,9

- Eccentric concentrated loads :

Table 3 : Eccentric concentrated loads.

x(m)	z ⁽¹⁾ (cm)	F _z (kN)	Active
1	0	-8,29	Yes
2	0	-7,31	Yes

(¹) Vertical position from the shear centre

- Eccentric distributed loads :

No load has been defined.

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1
 Blocked moment diagram : No
 Blocked axial force diagram : No

II.1 - LTB modes

Table 4 : LTB modes.

Mode	λ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	11,68	186,19	1	-3592,3	0

II.2 - Mode shapes

- Mode 1

Table 5 : Mode 1.

Mode	λ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	11,68	186,19	1	-3592,3	0

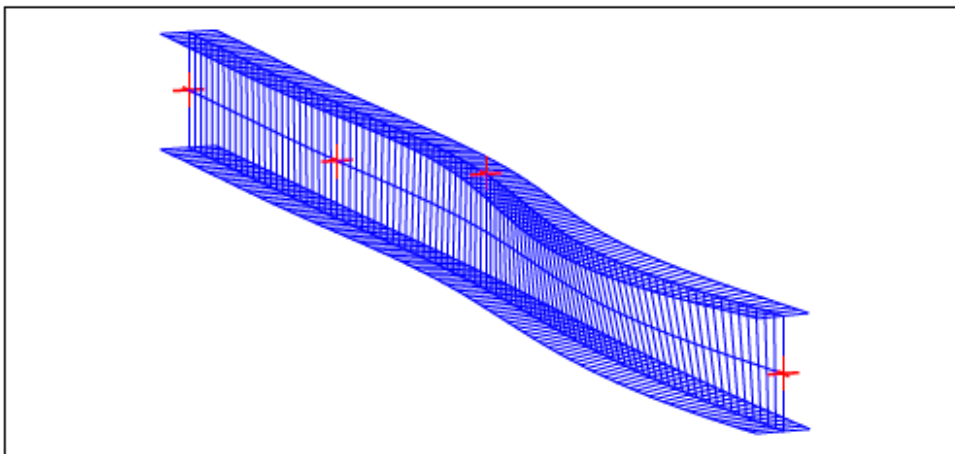


Figure 8 : Mode shape in 3D (Mode 1).

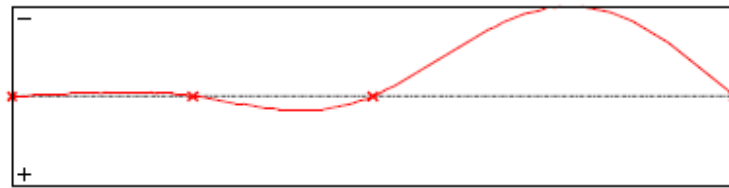


Figure 9 : Lateral displacement component of the shear centre (Mode 1).

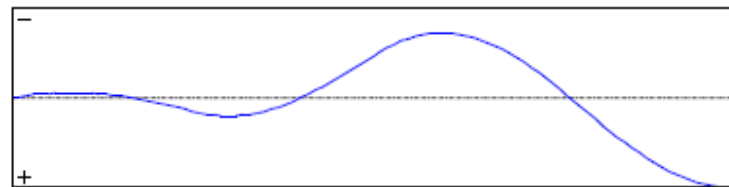


Figure 10 : Rotation in lateral flexure component of the shear centre (Mode 1).

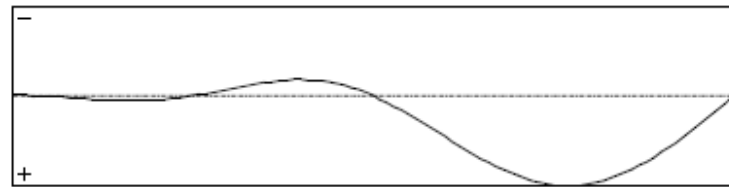


Figure 11 : Longitudinal rotation (torsion) component of the shear centre (Mode 1).

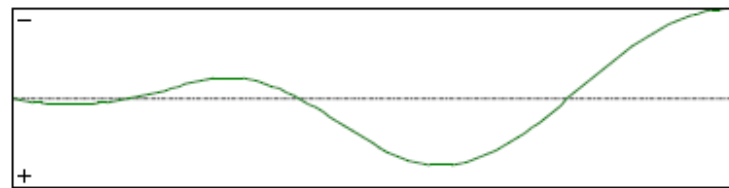


Figure 12 : Warping component of the shear centre (Mode 1).

Table 6 : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	ϕ [rd]	ϕ' [rd/m]
0	-5,312E-28	-4,463E-26	4,638E-27	2,768E-23
0,04	-4,361E-4	-2,141E-4	1,437E-5	7,054E-4
0,08	-0,0017	-4,037E-4	5,535E-5	0,0013
0,12	-0,0036	-5,674E-4	1,196E-4	0,0019
0,16	-0,0062	-7,041E-4	2,036E-4	0,0023
0,2	-0,0092	-8,128E-4	3,037E-4	0,0027
0,24	-0,0126	-8,928E-4	4,161E-4	0,0029
0,28	-0,0163	-9,433E-4	5,37E-4	0,0031
0,32	-0,0202	-9,642E-4	6,624E-4	0,0032
0,36	-0,024	-9,551E-4	7,884E-4	0,0031
0,4	-0,0278	-9,162E-4	9,11E-4	0,003
0,44	-0,0313	-8,476E-4	0,001	0,0028
0,48	-0,0345	-7,5E-4	0,0011	0,0024
0,52	-0,0373	-6,24E-4	0,0012	0,002
0,56	-0,0395	-4,703E-4	0,0013	0,0015
0,6	-0,041	-2,903E-4	0,0013	8,992E-4
0,64	-0,0417	-8,497E-5	0,0014	2,224E-4
0,68	-0,0416	1,441E-4	0,0014	-5,289E-4
0,72	-0,0406	3,953E-4	0,0013	-0,0013
0,76	-0,0384	6,668E-4	0,0012	-0,0022
0,8	-0,0352	9,568E-4	0,0011	-0,0032
0,84	-0,0308	0,0013	9,924E-4	-0,0041
0,88	-0,0251	0,0016	8,066E-4	-0,0052
0,92	-0,0181	0,0019	5,799E-4	-0,0062
0,96	-0,0097	0,0023	3,111E-4	-0,0072
1	-2,298E-27	0,0026	-2,095E-26	-0,0083
1,04	0,0111	0,0029	-3,522E-4	-0,0093
1,08	0,0233	0,0032	-7,383E-4	-0,01
1,12	0,0364	0,0034	-0,0011	-0,0105
1,16	0,05	0,0035	-0,0016	-0,0108
1,2	0,0639	0,0035	-0,002	-0,0109
1,24	0,0778	0,0034	-0,0024	-0,0107
1,28	0,0914	0,0033	-0,0029	-0,0103
1,32	0,1044	0,0031	-0,0033	-0,0096
1,36	0,1165	0,0029	-0,0036	-0,0088
1,4	0,1274	0,0026	-0,004	-0,0077
1,44	0,1369	0,0022	-0,0042	-0,0064

Table 6 (Next) : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	ϕ [rd]	ϕ' [rd/m]
1,48	0,1447	0,0017	-0,0045	-0,0049
1,52	0,1505	0,0012	-0,0046	-0,0033
1,56	0,1541	6,169E-4	-0,0047	-0,0015
1,6	0,1554	-1,157E-5	-0,0047	5,108E-4
1,64	0,154	-6,889E-4	-0,0047	0,0028
1,68	0,1498	-0,0014	-0,0045	0,0048
1,72	0,1426	-0,0022	-0,0043	0,0071
1,76	0,1324	-0,003	-0,004	0,0094
1,8	0,1189	-0,0038	-0,0035	0,0118
1,84	0,102	-0,0046	-0,003	0,0142
1,88	0,0818	-0,0055	-0,0024	0,0166
1,92	0,058	-0,0064	-0,0017	0,0189
1,96	0,0308	-0,0073	-8,945E-4	0,0212
2	-6,305E-25	-0,0081	-4,632E-26	0,0235
2,04	-0,0342	-0,009	9,808E-4	0,0255
2,08	-0,0717	-0,0097	0,002	0,0275
2,12	-0,112	-0,0104	0,0032	0,0292
2,16	-0,1549	-0,011	0,0044	0,0307
2,2	-0,2	-0,0115	0,0056	0,0319
2,24	-0,2469	-0,0119	0,0069	0,033
2,28	-0,2952	-0,0122	0,0083	0,0337
2,32	-0,3446	-0,0125	0,0096	0,0342
2,36	-0,3947	-0,0126	0,011	0,0345
2,4	-0,4451	-0,0126	0,0124	0,0345
2,44	-0,4953	-0,0125	0,0137	0,0342
2,48	-0,545	-0,0123	0,0151	0,0336
2,52	-0,5939	-0,0121	0,0164	0,0328
2,56	-0,6414	-0,0117	0,0177	0,0317
2,6	-0,6874	-0,0112	0,019	0,0304
2,64	-0,7313	-0,0107	0,0201	0,0288
2,68	-0,7729	-0,0101	0,0213	0,027
2,72	-0,8118	-0,0094	0,0223	0,025
2,76	-0,8478	-0,0086	0,0233	0,0228
2,8	-0,8806	-0,0078	0,0241	0,0204
2,84	-0,9098	-0,0069	0,0249	0,0179
2,88	-0,9353	-0,0059	0,0256	0,0152
2,92	-0,9568	-0,0049	0,0261	0,0124

Table 6 (Next) : Mode 1.

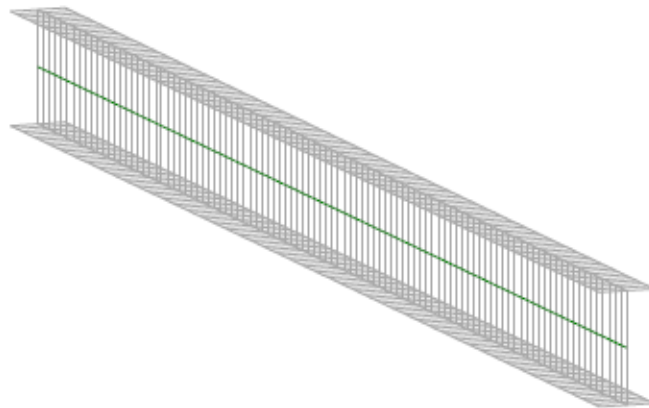
x [m]	v [cm]	v' [rad]	θ [rad]	θ' [rad/m]
2,96	-0,9742	-0,0038	0,0265	0,0095
3	-0,9873	-0,0027	0,0269	0,0064
3,04	-0,9959	-0,0016	0,0271	0,0034
3,08	-1	-4,45E-4	0,0271	2,574E-4
3,12	-0,9995	7,184E-4	0,0271	-0,0029
3,16	-0,9942	0,0019	0,0269	-0,006
3,2	-0,9843	0,0031	0,0266	-0,0092
3,24	-0,9697	0,0042	0,0262	-0,0123
3,28	-0,9505	0,0054	0,0256	-0,0153
3,32	-0,9267	0,0065	0,0249	-0,0183
3,36	-0,8984	0,0076	0,0242	-0,0212
3,4	-0,8658	0,0087	0,0232	-0,024
3,44	-0,8289	0,0097	0,0222	-0,0267
3,48	-0,788	0,0107	0,0211	-0,0293
3,52	-0,7432	0,0117	0,0199	-0,0317
3,56	-0,6948	0,0125	0,0186	-0,0339
3,6	-0,6429	0,0134	0,0172	-0,036
3,64	-0,588	0,0141	0,0157	-0,038
3,68	-0,5301	0,0148	0,0141	-0,0397
3,72	-0,4697	0,0154	0,0125	-0,0413
3,76	-0,4069	0,016	0,0108	-0,0428
3,8	-0,3422	0,0164	0,0091	-0,0438
3,84	-0,2757	0,0168	0,0073	-0,0447
3,88	-0,208	0,0171	0,0055	-0,0455
3,92	-0,1392	0,0173	0,0037	-0,046
3,96	-0,0698	0,0174	0,0019	-0,0463
4	2,773E-27	0,0175	8,718E-28	-0,0465

Travessa 4 - Sectores 7/8

LTBeamN

v 1.0.1

CALCULATION SHEET



I - PARAMETERS**I.1 - General parameters**

Projected total length :	$L = 6,47 \text{ m}$
Initial discretization of the beam :	$n_{el} = 100 \text{ elements}$

I.2 - Material

Name :	Steel
Young modulus :	$E = 210000 \text{ MPa}$
Shear modulus :	$G = 80769 \text{ MPa}$
Poisson factor :	$\nu = 0,3$
Density :	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I.3 - Sections

Alignment of sections :	Top
-------------------------	-----

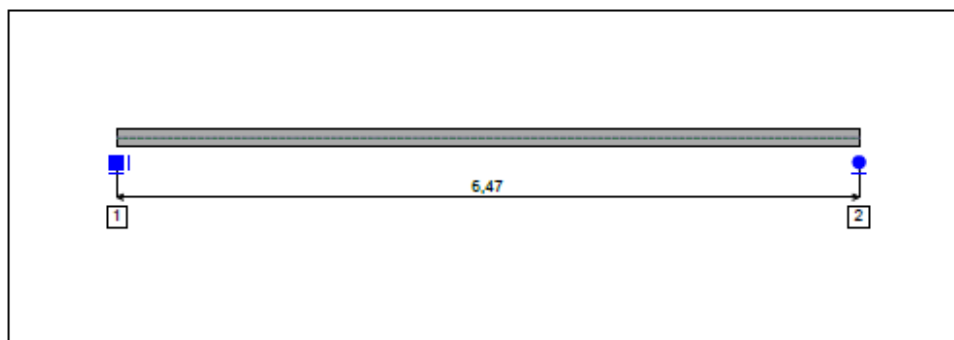


Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : IPE 160

Abscissa from the left end of the beam :

x = 0 m

Type :

In catalogue (OTUA)

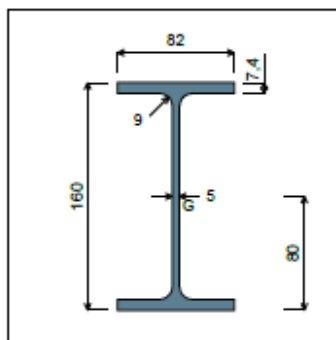


Figure 2 : Section No. 1 (IPE 160).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 8 cm
I_y	= 869,29 cm ⁴
I_z	= 68,31 cm ⁴
I_t	= 3,579 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 3977,1 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 20,09 cm ²	A_{Vz}	= 9,657 cm ²
A_{Vy}	= 12,14 cm ²	$W_{el,z}$	= 16,66 cm ³
$W_{el,y,sup}$	= 108,66 cm ³	$W_{pl,z}$	= 26,1 cm ³
$W_{el,y,inf}$	= 108,66 cm ³		
$W_{pl,y}$	= 123,86 cm ³		

Stiffness relaxations :

i)	: Continuous
v'	: Continuous
i'	: Continuous
w'	: Continuous

- Section No. 2 : IPE 160

Abscissa from the left end of the beam :

$x = 6,47 \text{ m}$

Type :

In catalogue (OTUA)

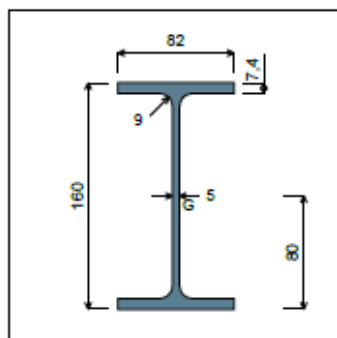


Figure 3 : Section No. 2 (IPE 160).

Main geometrical properties :

z_G	= 0 cm
z_G	= 8 cm
I_y	= 889,29 cm ⁴
I_z	= 68,31 cm ⁴
I_t	= 3,579 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 3977,1 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 20,09 cm ²	$A_{y,z}$	= 9,657 cm ²
$A_{y,y}$	= 12,14 cm ²	$W_{el,z}$	= 16,66 cm ³
$W_{el,y,sup}$	= 108,66 cm ³	$W_{pl,z}$	= 26,1 cm ³
$W_{el,y,inf}$	= 108,66 cm ³		
$W_{pl,y}$	= 123,86 cm ³		

Stiffness relaxations :

ξ	: Continuous
ν'	: Continuous
ξ'	: Continuous
w'	: Continuous

1.4 - Lateral restraints

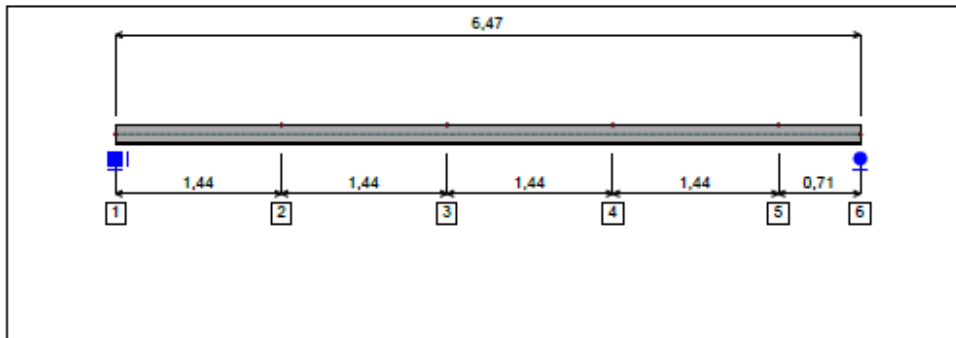


Figure 4 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Punctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Fixed
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Punctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 1,44$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 8$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Free
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 3 :

Type : Punctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 2,88$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 8$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Free
 v' : Free
 θ' : Free

- *Restraint No. 4 :*

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 4,32$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 8$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Free
 v' : Free
 θ' : Free

- *Restraint No. 5 :*

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 5,76$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 8$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Free
 v' : Free
 θ' : Free

- *Restraint No. 6 :*

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 6,47$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed
 θ : Fixed
 v' : Free
 θ' : Free

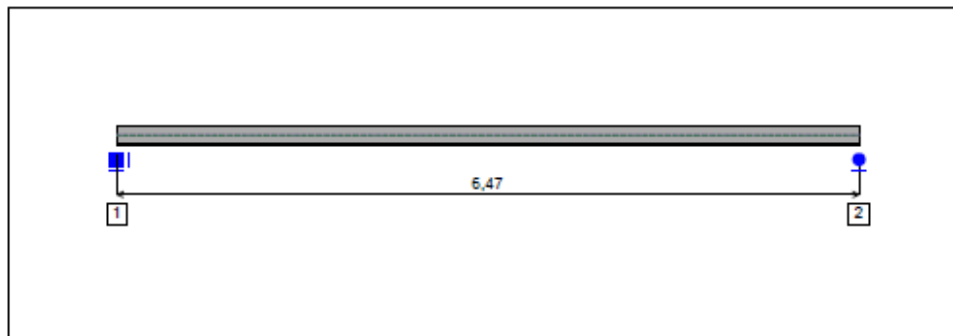
1.5 - Supports

Figure 5: Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

u : Fixed

w : Fixed

w' : Fixed

- Support No. 2 :

Abscissa from the left end of the beam : $x = 6,47$ m

Support conditions :

u : Free

w : Fixed

w' : Free

1.6 - Loads

Type of loading :

External

The weight of the beam is not taken into account.

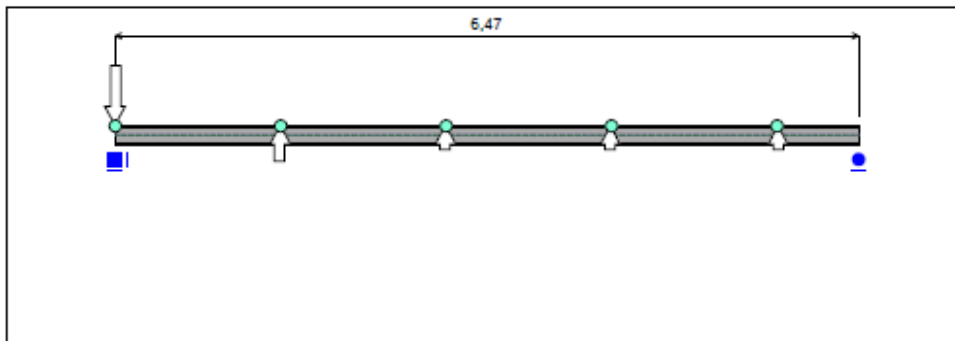


Figure 6 : Profile in long with loads.

- Concentrated loads :

Table 1 : Concentrated loads.

x(m)	z ^(*) (cm)	F _x (kN)	F _z (kN)	M _y (kN.m)	Active
0	8	0	-15,9	0	Yes
1,44	8	0	9,91	0	Yes
2,88	8	0	6,76	0	Yes
4,32	8	0	3,82	0	Yes
5,76	8	0	1	0	Yes

(*) Vertical position from the shear centre

- Distributed loads :

No load has been defined.

II - RESULTS OF 2D GLOBAL ANALYSIS

II.1 - Sign conventions

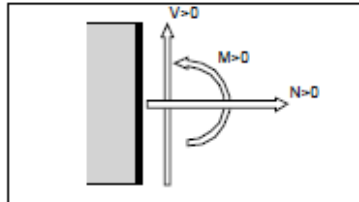


Figure 7 : Sign conventions.

- N > 0 : for tension normal force
- M > 0 : when the upper fiber is compressed
- w > 0 : upward displacement

M, N, V sollicitations in a section are actions of the right side on the left side.

II.2 - Diagrams of internal forces in global coordinates

1st order elastic analysis

In-plane buckling analysis :

Not applicable

- $|M|_{\max} = 22,26 \text{ kN.m (x = 0 m)}$
- $|V|_{\max} = 16,28 \text{ kN (x = 1,423 m)}$
- $|N|_{\max} = 0 \text{ kN (x = 0 m)}$
- $|w|_{\max} = 1,905 \text{ cm (x = 3,559 m)}$

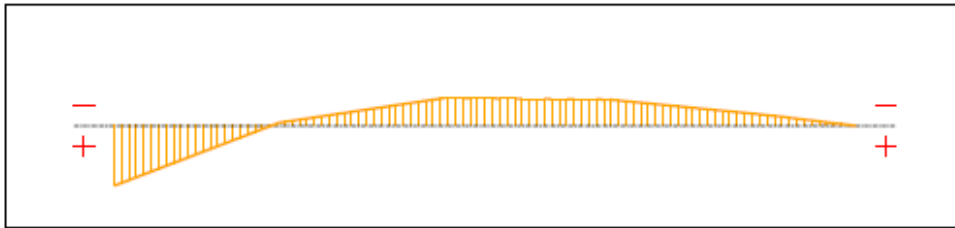


Figure 8 : Moment diagram.

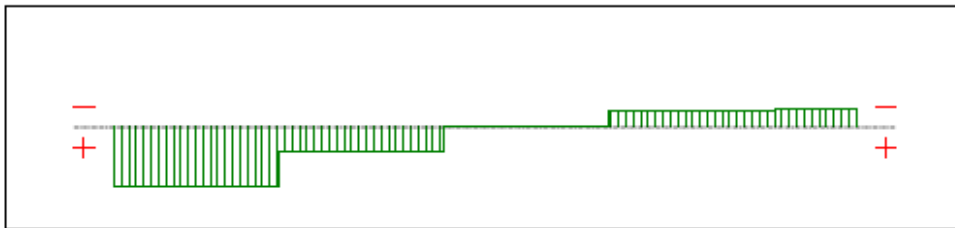


Figure 9 : Shear force diagram.

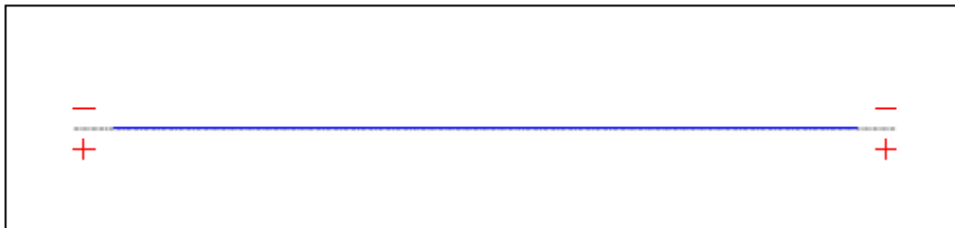


Figure 10 : Axial force diagram.

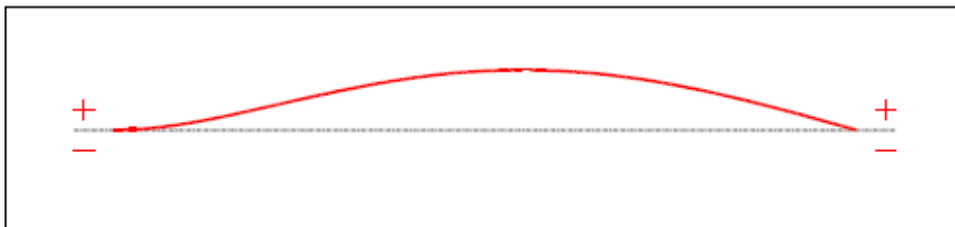


Figure 11 : Deflection.

Table 2 : Results of 2D global analysis.

x(m)	N(kN)	V(L)(kN)	V(R)(kN)	M(kN.m)	w (mm)
0	0	-	16,28	22,26	0
0,0647	0	16,28	16,28	21,21	0,2512
0,1294	0	16,28	16,28	20,16	0,9888
0,1941	0	16,28	16,28	19,1	2,189
0,2588	0	16,28	16,28	18,05	3,826
0,3235	0	16,28	16,28	17	5,878
0,3882	0	16,28	16,28	15,94	8,319
0,4529	0	16,28	16,28	14,89	11,13
0,5176	0	16,28	16,28	13,84	14,28
0,5823	0	16,28	16,28	12,78	17,74
0,647	0	16,28	16,28	11,73	21,5
0,7117	0	16,28	16,28	10,68	25,53
0,7764	0	16,28	16,28	9,626	29,8
0,8411	0	16,28	16,28	8,573	34,29
0,9058	0	16,28	16,28	7,52	38,98
0,9705	0	16,28	16,28	6,467	43,85
1,035	0	16,28	16,28	5,414	48,86
1,1	0	16,28	16,28	4,361	53,99
1,165	0	16,28	16,28	3,308	59,23
1,229	0	16,28	16,28	2,255	64,54
1,294	0	16,28	16,28	1,202	69,9
1,359	0	16,28	16,28	0,1487	75,29
1,423	0	16,28	16,28	-0,9043	80,69
1,44	0	16,28	16,28	-1,174	82,07
1,44	0	16,28	6,365	-1,174	82,07
1,488	0	6,365	6,365	-1,481	86,06
1,553	0	6,365	6,365	-1,892	91,4
1,618	0	6,365	6,365	-2,304	96,7
1,682	0	6,365	6,365	-2,716	101,94

Table 2 (Next) : Results of 2D global analysis.

x(m)	N(kN)	V(L)(kN)	V(R)(kN)	M(kN.m)	w (mm)
1,747	0	6,365	6,365	-3,128	107,12
1,812	0	6,365	6,365	-3,54	112,23
1,878	0	6,365	6,365	-3,952	117,28
1,941	0	6,365	6,365	-4,363	122,2
2,006	0	6,365	6,365	-4,775	127,03
2,07	0	6,365	6,365	-5,187	131,78
2,135	0	6,365	6,365	-5,599	136,37
2,2	0	6,365	6,365	-6,011	140,85
2,265	0	6,365	6,365	-6,423	145,2
2,329	0	6,365	6,365	-6,834	149,39
2,394	0	6,365	6,365	-7,246	153,43
2,459	0	6,365	6,365	-7,658	157,3
2,523	0	6,365	6,365	-8,07	161
2,588	0	6,365	6,365	-8,482	164,51
2,653	0	6,365	6,365	-8,894	167,83
2,717	0	6,365	6,365	-9,305	170,95
2,782	0	6,365	6,365	-9,717	173,85
2,847	0	6,365	6,365	-10,13	176,52
2,88	0	6,365	6,365	-10,34	177,81
2,88	0	6,365	-0,3948	-10,34	177,81
2,912	0	-0,3948	-0,3948	-10,33	178,97
2,978	0	-0,3948	-0,3948	-10,3	181,18
3,041	0	-0,3948	-0,3948	-10,28	183,15
3,106	0	-0,3948	-0,3948	-10,25	184,89
3,17	0	-0,3948	-0,3948	-10,23	186,39
3,235	0	-0,3948	-0,3948	-10,2	187,66
3,3	0	-0,3948	-0,3948	-10,17	188,69
3,364	0	-0,3948	-0,3948	-10,15	189,49
3,429	0	-0,3948	-0,3948	-10,12	190,06

Table 2 (Next) : Results of 2D global analysis.

x(m)	N(kN)	V(L)(kN)	V(R)(kN)	M(kN.m)	w (mm)
3,494	0	-0,3948	-0,3948	-10,1	190,4
3,559	0	-0,3948	-0,3948	-10,07	190,5
3,623	0	-0,3948	-0,3948	-10,05	190,37
3,688	0	-0,3948	-0,3948	-10,02	190,02
3,753	0	-0,3948	-0,3948	-9,996	189,43
3,817	0	-0,3948	-0,3948	-9,97	188,61
3,882	0	-0,3948	-0,3948	-9,945	187,57
3,947	0	-0,3948	-0,3948	-9,919	186,29
4,011	0	-0,3948	-0,3948	-9,894	184,79
4,076	0	-0,3948	-0,3948	-9,868	183,07
4,141	0	-0,3948	-0,3948	-9,843	181,11
4,206	0	-0,3948	-0,3948	-9,817	178,93
4,27	0	-0,3948	-0,3948	-9,791	176,53
4,32	0	-0,3948	-0,3948	-9,772	174,52
4,32	0	-0,3948	-4,215	-9,772	174,52
4,335	0	-4,215	-4,215	-9,709	173,9
4,4	0	-4,215	-4,215	-9,436	171,05
4,464	0	-4,215	-4,215	-9,164	167,98
4,529	0	-4,215	-4,215	-8,891	164,7
4,594	0	-4,215	-4,215	-8,618	161,22
4,658	0	-4,215	-4,215	-8,346	157,54
4,723	0	-4,215	-4,215	-8,073	153,67
4,788	0	-4,215	-4,215	-7,8	149,61
4,853	0	-4,215	-4,215	-7,527	145,38
4,917	0	-4,215	-4,215	-7,255	140,97
4,982	0	-4,215	-4,215	-6,982	136,4
5,047	0	-4,215	-4,215	-6,709	131,67
5,111	0	-4,215	-4,215	-6,437	126,78
5,176	0	-4,215	-4,215	-6,164	121,74

Table 2 (Next) : Results of 2D global analysis.

x(m)	N(kN)	V(L)(kN)	V(R)(kN)	M(kN.m)	w (mm)
5,241	0	-4,215	-4,215	-5,891	116,57
5,305	0	-4,215	-4,215	-5,619	111,25
5,37	0	-4,215	-4,215	-5,346	105,81
5,435	0	-4,215	-4,215	-5,073	100,25
5,5	0	-4,215	-4,215	-4,8	94,57
5,564	0	-4,215	-4,215	-4,528	88,78
5,629	0	-4,215	-4,215	-4,255	82,89
5,694	0	-4,215	-4,215	-3,982	76,9
5,76	0	-4,215	-4,215	-3,703	70,65
5,76	0	-4,215	-5,215	-3,703	70,65
5,823	0	-5,215	-5,215	-3,374	64,65
5,888	0	-5,215	-5,215	-3,037	58,4
5,952	0	-5,215	-5,215	-2,699	52,09
6,017	0	-5,215	-5,215	-2,362	45,71
6,082	0	-5,215	-5,215	-2,024	39,28
6,147	0	-5,215	-5,215	-1,687	32,81
6,211	0	-5,215	-5,215	-1,35	26,29
6,276	0	-5,215	-5,215	-1,012	19,75
6,341	0	-5,215	-5,215	-0,6748	13,18
6,405	0	-5,215	-5,215	-0,3374	6,593
6,47	0	-5,215	-	0	0

III - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1
 Blocked moment diagram : No
 Blocked axial force diagram : No

III.1 - LTB modes

Table 3 : LTB modes.

Mode	λ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	4,094	91,14	0	0	0

III.2 - Mode shapes

- Mode 1

Table 4 : Mode 1.

Mode	λ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	4,094	91,14	0	0	0

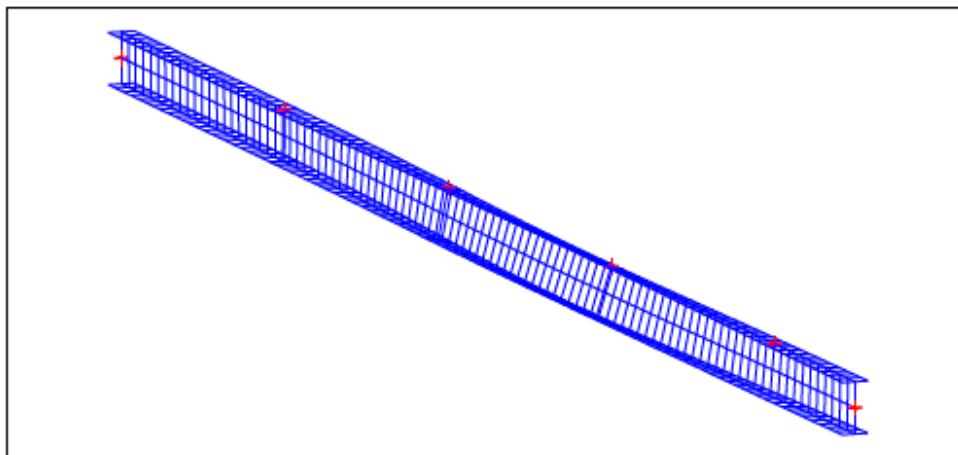


Figure 12 : Mode shape in 3D (Mode 1).

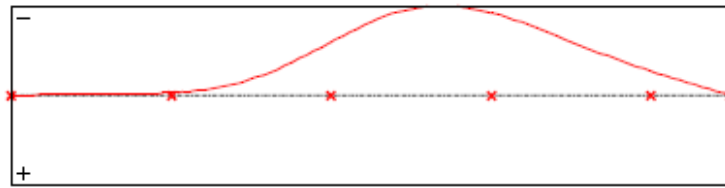


Figure 13 : Lateral displacement component of the shear centre (Mode 1).

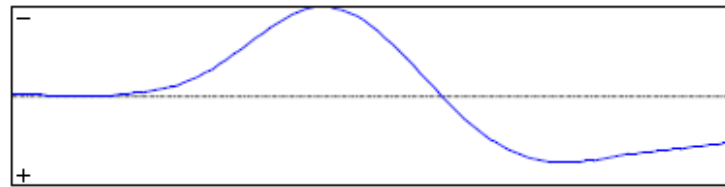


Figure 14 : Rotation in lateral flexure component of the shear centre (Mode 1).

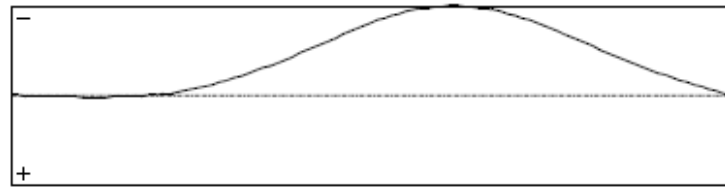


Figure 15 : Longitudinal rotation (torsion) component of the shear centre (Mode 1).

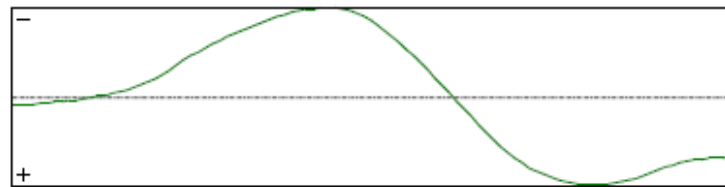


Figure 16 : Warping component of the shear centre (Mode 1).

Table 5 : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	ϕ [rd]	ϕ' [rd/m]
0	2,326E-29	-1,8E-4	1,294E-28	0,0052
0,0647	-0,0012	-1,758E-4	3,338E-4	0,0051
0,1294	-0,0023	-1,643E-4	6,619E-4	0,005
0,1941	-0,0033	-1,47E-4	9,788E-4	0,0048
0,2588	-0,0042	-1,256E-4	0,0013	0,0045
0,3235	-0,0049	-1,02E-4	0,0016	0,0041
0,3882	-0,0055	-7,805E-5	0,0018	0,0037
0,4529	-0,0059	-5,557E-5	0,002	0,0032
0,5176	-0,0062	-3,637E-5	0,0022	0,0026
0,5823	-0,0064	-2,218E-5	0,0024	0,0019
0,647	-0,0065	-1,461E-5	0,0025	0,0012
0,7117	-0,0066	-1,515E-5	0,0025	3,386E-4
0,7764	-0,0067	-2,509E-5	0,0025	-5,943E-4
0,8411	-0,0069	-4,552E-5	0,0024	-0,0016
0,9058	-0,0073	-7,731E-5	0,0023	-0,0028
0,9705	-0,008	-1,21E-4	0,0021	-0,0042
1,035	-0,0089	-1,769E-4	0,0017	-0,0057
1,1	-0,0103	-2,448E-4	0,0013	-0,0074
1,165	-0,0121	-3,241E-4	7,77E-4	-0,0094
1,229	-0,0145	-4,135E-4	9,498E-5	-0,0117
1,294	-0,0175	-5,111E-4	-7,438E-4	-0,0143
1,359	-0,0211	-6,142E-4	-0,0018	-0,0172
1,423	-0,0254	-7,19E-4	-0,003	-0,0206
1,44	-0,0266	-7,457E-4	-0,0033	-0,0215
1,488	-0,0304	-8,36E-4	-0,0044	-0,0242
1,553	-0,0364	-9,99E-4	-0,0061	-0,0275
1,618	-0,0435	-0,0012	-0,008	-0,0307
1,682	-0,0521	-0,0015	-0,0101	-0,0337
1,747	-0,0624	-0,0017	-0,0123	-0,0365
1,812	-0,0746	-0,0021	-0,0148	-0,0393
1,876	-0,0891	-0,0024	-0,0174	-0,0419
1,941	-0,1058	-0,0028	-0,0202	-0,0445
2,006	-0,125	-0,0032	-0,0232	-0,0469
2,07	-0,1467	-0,0036	-0,0263	-0,0493
2,135	-0,1709	-0,004	-0,0296	-0,0516
2,2	-0,1978	-0,0044	-0,033	-0,0538
2,265	-0,2272	-0,0047	-0,0365	-0,0559

Table 5 (Next) : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	ϕ [rd]	ϕ' [rd/m]
2,329	-0,2591	-0,0051	-0,0402	-0,0579
2,394	-0,2934	-0,0055	-0,044	-0,0597
2,459	-0,3299	-0,0058	-0,0479	-0,0614
2,523	-0,3683	-0,0061	-0,0519	-0,0628
2,588	-0,4085	-0,0063	-0,0561	-0,064
2,653	-0,45	-0,0065	-0,0602	-0,0649
2,717	-0,4926	-0,0066	-0,0645	-0,0656
2,782	-0,5358	-0,0067	-0,0687	-0,066
2,847	-0,5793	-0,0067	-0,073	-0,0661
2,88	-0,6014	-0,0067	-0,0752	-0,066
2,912	-0,6224	-0,0066	-0,0773	-0,0659
2,976	-0,6647	-0,0065	-0,0815	-0,0651
3,041	-0,7059	-0,0063	-0,0857	-0,0637
3,106	-0,7455	-0,006	-0,0897	-0,0618
3,17	-0,7833	-0,0057	-0,0937	-0,0594
3,235	-0,8189	-0,0053	-0,0974	-0,0565
3,3	-0,8519	-0,0049	-0,101	-0,0531
3,364	-0,8822	-0,0044	-0,1043	-0,0493
3,429	-0,9093	-0,004	-0,1073	-0,0451
3,494	-0,9332	-0,0034	-0,1101	-0,0405
3,559	-0,9538	-0,0029	-0,1126	-0,0357
3,623	-0,9704	-0,0023	-0,1147	-0,0306
3,688	-0,9835	-0,0017	-0,1165	-0,0254
3,753	-0,9928	-0,0011	-0,118	-0,0199
3,817	-0,9983	-5,535E-4	-0,1191	-0,0143
3,882	-1	2,854E-5	-0,1198	-0,0087
3,947	-0,998	5,972E-4	-0,1202	-0,003
4,011	-0,9923	0,0011	-0,1202	0,0028
4,076	-0,9832	0,0017	-0,1199	0,0085
4,141	-0,9708	0,0022	-0,1191	0,0142
4,206	-0,9554	0,0026	-0,118	0,0198
4,27	-0,9372	0,003	-0,1166	0,0253
4,32	-0,9216	0,0033	-0,1152	0,0296
4,335	-0,9166	0,0034	-0,1147	0,0308
4,4	-0,8939	0,0037	-0,1126	0,036
4,464	-0,8693	0,0039	-0,1101	0,0406
4,529	-0,8429	0,0042	-0,1073	0,0448


Table 5 (Next) : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	ϕ [rd]	ϕ' [rd/m]
4,594	-0,815	0,0044	-0,1043	0,0485
4,658	-0,7859	0,0046	-0,1011	0,0518
4,723	-0,7557	0,0047	-0,0976	0,0546
4,788	-0,7247	0,0048	-0,094	0,0571
4,853	-0,6932	0,0049	-0,0902	0,0592
4,917	-0,6612	0,005	-0,0864	0,0609
4,982	-0,6291	0,005	-0,0824	0,0622
5,047	-0,597	0,005	-0,0783	0,0633
5,111	-0,565	0,0049	-0,0742	0,064
5,176	-0,5334	0,0049	-0,07	0,0644
5,241	-0,5021	0,0048	-0,0659	0,0645
5,305	-0,4714	0,0047	-0,0617	0,0643
5,37	-0,4413	0,0046	-0,0576	0,0639
5,435	-0,4117	0,0045	-0,0534	0,0632
5,5	-0,3828	0,0044	-0,0494	0,0622
5,564	-0,3545	0,0043	-0,0454	0,061
5,629	-0,3267	0,0043	-0,0415	0,0595
5,694	-0,2993	0,0042	-0,0377	0,0577
5,76	-0,2716	0,0042	-0,034	0,0555
5,823	-0,2455	0,0041	-0,0305	0,0534
5,888	-0,219	0,0041	-0,0271	0,0515
5,952	-0,1929	0,004	-0,0238	0,0499
6,017	-0,1673	0,0039	-0,0207	0,0485
6,082	-0,1422	0,0038	-0,0176	0,0473
6,147	-0,1175	0,0038	-0,0145	0,0464
6,211	-0,0933	0,0037	-0,0116	0,0456
6,276	-0,0696	0,0036	-0,0088	0,045
6,341	-0,0462	0,0036	-0,0057	0,0446
6,405	-0,023	0,0036	-0,0029	0,0443
6,47	1,011E-28	0,0036	-9,289E-28	0,0442

XIX. ANEXO XIX - DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES METÁLICAS

Asnas da Cobertura


“Chapa de topo” tipo - Cordões inferiores e superiores



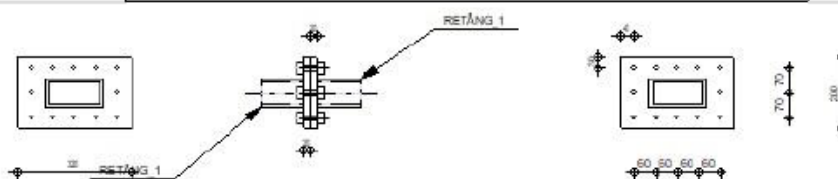
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2021

Cálculo da conexão da placa de emenda final da seção oca

EN 1993-1-8:2005/AC:2009 + SN044a



Relação
0,86



GERAL

Nº de conexão: 1
 Nome da conexão: Cordão Superior nº8

VIGA DIREITA

Seção: RETÂNG_1
 $h_1 = 80$ [mm] Altura da seção da viga
 $b_1 = 160$ [mm] Largura da seção da viga
 $t_1 = 10$ [mm] Espessura da alma da seção da viga
 $A_1 = 4400$ [mm²] Área de seção transversal da viga
 Material: S275
 $f_{y1} = 275,00$ [MPa] Resistência
 $f_{u1} = 430,00$ [MPa] Resistência à tensão

VIGA ESQUERDA

Seção: RETÂNG_1
 $h_2 = 80$ [mm] Altura da seção da viga
 $b_2 = 160$ [mm] Largura da seção da viga
 $t_2 = 10$ [mm] Espessura da alma da seção da viga
 $A_2 = 4400$ [mm²] Área de seção transversal da viga
 Material: S275
 $f_{y2} = 275,00$ [MPa] Resistência
 $f_{u2} = 430,00$ [MPa] Resistência à tensão

PLACA

$l_p = 320$ [mm] Comprimento da placa
 $h_p = 200$ [mm] Altura da placa
 $t_p = 20$ [mm] Espessura da placa
 Material: S275
 $f_{yp} = 275,00$ [MPa] Resistência do projeto
 $f_{up} = 430,00$ [MPa] Resistência à tensão

PARAFUSOS

Categoria da conexão E
 Classe = 8.8 Classe do parafuso
 $d = 16$ [mm] Diâmetro do parafuso
 $d_o = 18$ [mm] Diâmetro da abertura do parafuso
 $A_s = 157$ [mm²] Área efetiva da seção de um parafuso
 $A_v = 201$ [mm²] Área de seção do parafuso
 $f_{y0} = 640,00$ [MPa] Resistência de produtividade do parafuso

Classe =	8.8	Classe do parafuso
$f_{ub} =$	800,00 [MPa]	Resistência do parafuso à tração
$n_H =$	5	Número de colunas de parafusos
$e_{2H} =$	40 [mm]	A distância entre a aresta vertical de uma placa
$p_2 =$	60 [mm]	Espaçamento horizontal
$n_V =$	3	Número de linhas de parafusos
$e_{1V} =$	30 [mm]	A distância entre a aresta horizontal de uma placa
$p_1 =$	70 [mm]	Espaçamento vertical

SOLDAS

$a_w =$ 7 [mm]

FATORES DE MATERIAL

$\gamma_{M0} =$	1,00	Fator de segurança parcial	[2.2]
$\gamma_{M1} =$	1,00	Fator de segurança parcial	[2.2]
$\gamma_{M2} =$	1,25	Fator de segurança parcial	[2.2]
$\gamma_{M3} =$	1,25	Fator de segurança parcial	[2.2]

CARGAS

Caso: Cálculos manuais.

ESTADO LIMITE DEFINITIVO

$N_{Ed1} =$ 567,00 [kN] Força axial
 $N_{Ed2} =$ 567,00 [kN] Força axial

Somente forças axiais são levadas em conta para a verificação da conexão

RESULTADOS

OUT: Resultados para um lado de conexão (geometria e cargas são simétricas)

VERIFICAÇÃO DE CONEXÃO APARAFUSADA E

FALHA DO PARAFUSO

$F_{t,Rd} =$	90,43 [kN]	Resistência de um parafuso à tensão
$B_{p,Rd} =$	329,08 [kN]	Projeto de resistência ao cisalhamento de punção da cabeça do parafuso e da porca $B_{p,Rd} =$
$N_{Ed} \leq n_b \cdot F_{t,Rd}$	567,00 < 1085,18	verificado (0,52)
$N_{Ed} \leq n_b \cdot B_{p,Rd}$	567,00 < 3948,91	verificado (0,14)

FALHA DO PARAFUSO COM ESCOAMENTO NA PLACA FINAL

Parâmetros de cálculo de acordo com NCCI: SN044a

$e_2 =$	40 [mm]	A distância entre a aresta vertical de uma placa	
$e_1 =$	40 [mm]	A distância entre a aresta vertical de uma seção	
$b' =$	42 [mm]	Coefficiente	
$\delta =$	0,74	Coefficiente	
$K =$	9,70 [mm ² /kN]	Coefficiente	
$e_{eff} =$	40 [mm]	Distância efetiva	
$\alpha =$	0,86	Coefficiente	$\alpha = \max[0.0; (((K \cdot F_{t,Rd}) / t_p^2) - 1)$
$P_r =$	47,25 [kN]	Força de tração do projeto por parafuso	
$t_{min} =$	16 [mm]	Espessura mínima necessária da placa de extremidade	
$t_{max} =$	21 [mm]	Espessura mínima necessária da placa de extremidade	
$N_{RdV} =$	323,91 [kN]	Projeto de resistência à tração da emenda	

Parâmetros de cálculo de acordo com NCCI: SN044a

$e_2 =$	30	[mm]	A distância entre a aresta horizontal de uma placa	
$e_1 =$	30	[mm]	A distância entre a aresta horizontal de uma seção	
$b' =$	32	[mm]	Coefficiente	
$\delta =$	0,70		Coefficiente	
$K =$	8,62	[mm ² /kN]	Coefficiente	
$e_{eff} =$	30	[mm]	Distância efetiva	
$\alpha =$	0,74		Coefficiente	$\alpha = \max[0.0; (((K \cdot F_{t,Rd})/t_p^2)$
$P_T =$	47,25	[kN]	Força de tração do projeto por parafuso	
$t_{min} =$	15	[mm]	Espessura mínima necessária da placa de extremidade	
$t_{max} =$	20	[mm]	Espessura mínima necessária da placa de extremidade	
$N_{RdH} =$	337,47	[kN]	Projeto de resistência à tração da emenda	
$N_{Rd} =$	661,37	[kN]	Resistência à tensão	$N_{Rd} = N_{RdV} + N_{RdH}$
$N_{Ed} \leq N_{Rd}$	567,00	<	661,37	verificado (0,86)

SEÇÃO

$N_{t,Rd} =$	1210,00	[kN]	Capacidade de tensão	$N_{t,Rd} = A_t \cdot f_y$
$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$	567,00	<	1210,00	verificado (0,47)

SOLDAS

SOLDAS DE CONCORDÂNCIA CONECTANDO UMA PLACA COM A BARRA

$A_w =$	3360	[mm ²]	Área da solda	$A_w = 2 \cdot (h_1 + b_1) \cdot a_w$
$\sigma =$	168,75	[MPa]	Tensão normal em uma solda	N_{Ed}/A_w
$\sigma_{\perp} =$	119,32	[MPa]	Tensão perpendicular normal na solda	$\sigma_{\perp} = \sigma/\sqrt{2}$
$ \sigma_{\perp} \leq 0.9 \cdot f_u/\gamma_{M2}$	119,32	<	309,60	verificado (0,39)
$\tau_{\perp} =$	119,32	[MPa]	Tensão tangencial perpendicular	$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp}$
$\beta_w =$	0,85		Coefficiente de correlação	[Tabela 4.1]
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2} \leq f_u/(\beta_w \cdot \gamma_{M2})$	238,65	<	404,71	verificado (0,59)

A conexão está em conformidade com a norma.	Relação	0,86
--	----------------	-------------

“Chapa de topo” tipo - Diagonais

	<p>Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2021</p> <p>Cálculo da conexão da placa de emenda final da seção oca</p> <p>EN 1993-1-8:2005/AC:2009 + SN044a</p>	
		<p>Relação</p> <p>0,18</p>

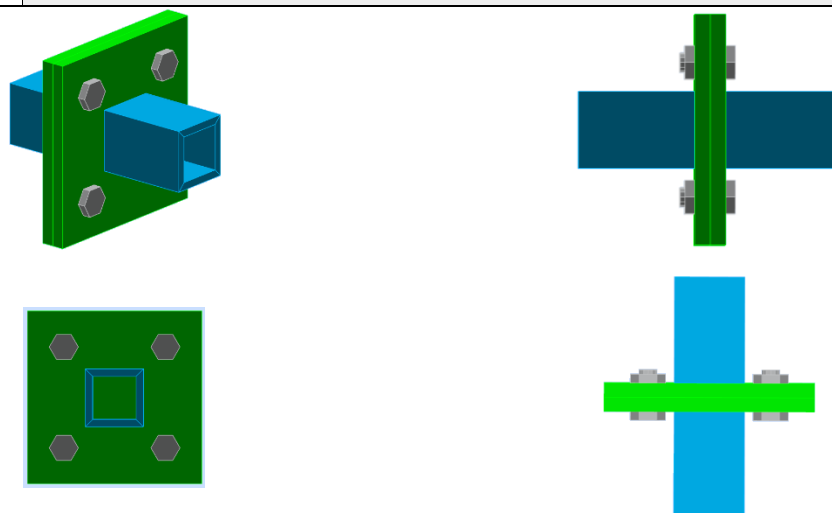
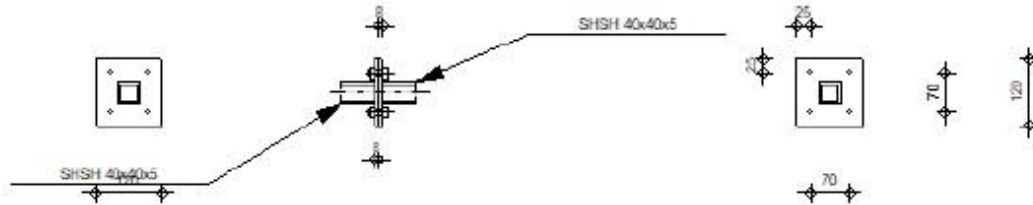


Figura 206 - Exemplo de uma ligação tipo



GERAL

Nº de conexão: 3
Nome da conexão: Diagonal nº8

VIGA DIREITA

Seção: SHSH 40x40x5
 $h_1 = 40$ [mm] Altura da seção da viga
 $b_1 = 40$ [mm] Largura da seção da viga
 $t_1 = 5$ [mm] Espessura da alma da seção da viga
 $A_1 = 673$ [mm²] Área de seção transversal da viga
Material: S275
 $f_{y1} = 275,00$ [MPa] Resistência
 $f_{u1} = 430,00$ [MPa] Resistência à tensão

VIGA ESQUERDA

Seção: SHSH 40x40x5
 $h_2 = 40$ [mm] Altura da seção da viga
 $b_2 = 40$ [mm] Largura da seção da viga
 $t_2 = 5$ [mm] Espessura da alma da seção da viga
 $A_2 = 673$ [mm²] Área de seção transversal da viga
Material: S275
 $f_{y2} = 275,00$ [MPa] Resistência
 $f_{u2} = 430,00$ [MPa] Resistência à tensão

PLACA

$l_p = 120$ [mm] Comprimento da placa
 $h_p = 120$ [mm] Altura da placa
 $t_p = 8$ [mm] Espessura da placa
Material: S275
 $f_{yp} = 275,00$ [MPa] Resistência do projeto
 $f_{up} = 430,00$ [MPa] Resistência à tensão

PARAFUSOS

Categoria da conexão E
Classe = 8.8 Classe do parafuso
 $d = 10$ [mm] Diâmetro do parafuso
 $d_0 = 11$ [mm] Diâmetro da abertura do parafuso
 $A_s = 58$ [mm²] Área efetiva da seção de um parafuso
 $A_v = 79$ [mm²] Área de seção do parafuso
 $f_{v0} = 640,00$ [MPa] Resistência de produtividade do parafuso

Classe =	8.8	Classe do parafuso
f_{ub} =	800,00 [MPa]	Resistência do parafuso à tração
n_H =	2	Número de colunas de parafusos
e_{2H} =	25 [mm]	A distância entre a aresta vertical de uma placa
p_2 =	70 [mm]	Espaçamento horizontal
n_V =	2	Número de linhas de parafusos
e_{1V} =	25 [mm]	A distância entre a aresta horizontal de uma placa
p_1 =	70 [mm]	Espaçamento vertical

SOLDAS

a_w = 4 [mm]

FATORES DE MATERIAL

γ_{M0} =	1,00	Fator de segurança parcial	[2.2]
γ_{M1} =	1,00	Fator de segurança parcial	[2.2]
γ_{M2} =	1,25	Fator de segurança parcial	[2.2]
γ_{M3} =	1,25	Fator de segurança parcial	[2.2]

CARGAS

Caso: Cálculos manuais.

ESTADO LIMITE DEFINITIVO

N_{Ed1} =	-31,00 [kN]	Força axial
N_{Ed2} =	-31,00 [kN]	Força axial

Somente forças axiais são levadas em conta para a verificação da conexão

RESULTADOS

OUT: Resultados para um lado de conexão (geometria e cargas são simétricas)

SEÇÃO

$N_{c,Rd}$ =	185,08 [kN]	Capacidade de compressão	$N_{c,Rd} = A_f \cdot f_y$
$ N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$	$ -31,00 < 185,08$	verificado	(0,17)

SOLDAS

SOLDAS DE CONCORDÂNCIA CONECTANDO UMA PLACA COM A BARRA

A_w =	588 [mm ²]	Área da solda	$A_w = 2 \cdot (h_1 + b_1 + r_1 \cdot (\pi - 4)) \cdot a_w$
σ =	-52,68 [MPa]	Tensão normal em uma solda	N_{Ed} / A_w
σ_{\perp} =	-37,25 [MPa]	Tensão perpendicular normal na solda	$\sigma_{\perp} = \sigma / \sqrt{2}$
$ \sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$	$ -37,25 < 309,60$	verificado	(0,12)
τ_{\perp} =	-37,25 [MPa]	Tensão tangencial perpendicular	$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp}$
β_w =	0,85	Coefficiente de correlação	[Tabela 4.1]
$\sqrt{ \sigma_{\perp} ^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$	$74,50 < 404,71$	verificado	(0,18)

A conexão está em conformidade com a norma.	Relação	0,18
--	---------	------

Vigas do Pavimento Metálico

Ligação das vigas secundárias às vigas principais

As ligações das vigas secundárias às principais foram calculadas com a ajuda de uma folha de cálculo em “Excel” considerando que funcionam como simplesmente apoiadas. Na figura indicam-se os pormenores das secções junto dos apoios que são soldadas nas almas e que garantem o funcionamento como ligações rotuladas.

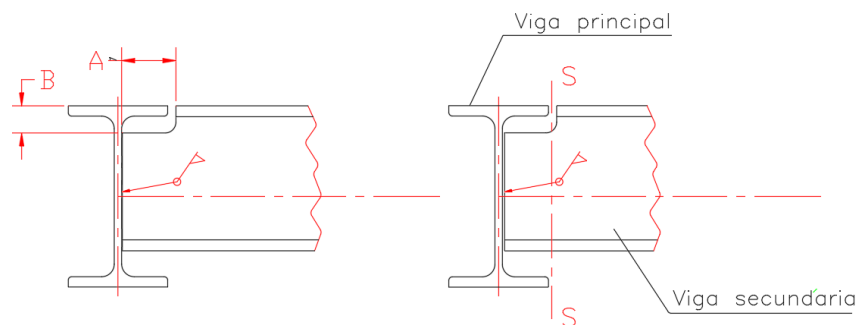


Figura 207 - Pormenor de ligação soldada nas vigas do pavimento

Tabela 115 - Dimensionamento das ligações das vigas

Viga Secundária	Perfil	Combinação Condicionante	Secção	Viga Principal	A [mm]	B [mm]	a [mm]	l [mm]	$F_{w,Rd}$ [kN]	$F_{w,Ed}$ [kN]	Rácio	A_{vz} [mm ²]	τ_{Ed} [N/mm ²]	τ_{adm} [N/mm ²]	Rácio
4	IPE100	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB200	28	13	3	74	52	-19	0,37	223	87	159	0,55
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB320											
5	IPE100	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB340	28	13	3	74	52	-10	0,19	223	44	159	0,27
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB200											
6	IPE100	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB200	28	13	3	74	52	-7	0,14	223	33	159	0,21
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB320											
7	IPE100	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB200	28	13	3	74	52	-11	0,21	223	49	159	0,31
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB320											



Viga Secundária	Perfil	Combinação Condicionante	Secção	Viga Principal	A [mm]	B [mm]	a [mm]	l [mm]	F _{w,Rd} [kN]	F _{w,Ed} [kN]	Rácio	A _{vz} [mm ²]	τ _{Ed} [N/mm ²]	τ _{adm} [N/mm ²]	Rácio
8	IPE100	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB200	28	13	3	74	52	-16	0,30	223	71	159	0,44
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB320											
9	IPE100	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB200	28	13	3	74	52	-16	0,30	223	71	159	0,44
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB320											
10	IPE100	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB200	28	13	3	74	52	-11	0,21	223	49	159	0,31
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB320											
11	IPE100	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB200	28	13	3	74	52	-7	0,14	223	33	159	0,21
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB320											
12	IPE100	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB340	28	13	3	74	52	-7	0,14	223	33	159	0,21
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB200											
13	IPE100	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB340	28	13	3	74	52	-11	0,21	223	49	159	0,31
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB200											
14	IPE100	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB340	28	13	3	74	52	-16	0,30	223	71	159	0,44
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB200											
15	IPE100	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB200	28	13	3	74	52	-22	0,43	223	101	159	0,63
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB220											
16	IPE100	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB220	28	13	3	74	52	-22	0,43	223	101	159	0,63
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB200											
17	IPE200	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB320	49	20	4	160	146	-47	0,32	625	75	159	0,47
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB220											
18	IPE200	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB220	49	20	4	160	146	-47	0,32	625	75	159	0,47
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB340											
19	IPE180	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB320	45	17	4	146	127	-41	0,32	542	75	159	0,48
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB220											
20	IPE180	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB220	45	17	4	146	127	-38	0,30	542	69	159	0,44
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB340											
21	IPE160	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB320	41	16	4	128	104	-27	0,26	447	60	159	0,38
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB220											

Viga Secundária	Perfil	Combinação Condicionante	Secção	Viga Principal	A [mm]	B [mm]	a [mm]	l [mm]	F _{w,Rd} [kN]	F _{w,Ed} [kN]	Rácio	A _{vz} [mm ²]	τ _{Ed} [N/mm ²]	τ _{adm} [N/mm ²]	Rácio
22	IPE100	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	IPE200	28	13	3	74	52	-16	0,31	223	71	159	0,45
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	IPE160											
23	IPE200	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB320	49	20	4	160	146	-47	0,32	625	76	159	0,48
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB220											
24	IPE140	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	IPE220	36	14	3	112	86	-36	0,41	369	96	159	0,61
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	IPE200											
25	IPE100	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	IPE220	28	13	3	74	52	-14	0,28	223	64	159	0,41
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	IPE200											
26	IPE100	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	IPE220	28	13	3	74	52	-12	0,22	223	52	159	0,33
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	IPE200											
27	IPE140	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	IPE220	36	14	3	112	86	-31	0,36	369	83	159	0,52
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	IPE200											
28	IPE220	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB320	54	22	4	177	171	-48	0,28	730	66	159	0,42
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB220											
29	IPE180	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB220	45	17	4	146	127	32	0,26	542	60	159	0,38
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB340											
30	IPE180	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB220	45	17	4	146	127	-37	0,29	542	68	159	0,43
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB340											
31	IPE160	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB220	41	16	4	128	104	-30	0,29	447	68	159	0,43
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB340											
32	IPE180	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB220	45	17	4	146	127	-35	0,27	542	64	159	0,40
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB340											
33	IPE200	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB220	49	20	4	160	146	-43	0,30	625	69	159	0,43
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB340											
34	IPE180	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB220	45	17	4	146	127	-35	0,28	542	65	159	0,41
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB340											
35	IPE180	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB220	45	17	4	146	127	-38	0,30	542	70	159	0,44
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB340											

Viga Secundária	Perfil	Combinação Condicionante	Secção	Viga Principal	A [mm]	B [mm]	a [mm]	l [mm]	F _{w,Rd} [kN]	F _{w,Ed} [kN]	Rácio	A _{vz} [mm ²]	τ _{Ed} [N/mm ²]	τ _{adm} [N/mm ²]	Rácio
36	IPE200	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB220	49	20	4	160	146	-50	0,34	625	80	159	0,50
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB340			4	160	146	50	0,34	625	80	159	0,50
37	IPE200	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB320	49	20	4	160	146	-50	0,34	625	80	159	0,50
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB220			4	160	146	50	0,34	625	80	159	0,50
38	IPE200	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB220	49	20	4	160	146	-50	0,34	625	80	159	0,50
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB340			4	160	146	50	0,34	625	80	159	0,50
39	IPE200	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB320	49	20	4	160	146	-50	0,34	625	80	159	0,50
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB220			4	160	146	50	0,34	625	80	159	0,50
40	IPE200	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB220	49	20	4	160	146	-56	0,38	625	90	159	0,56
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB200			4	160	146	56	0,38	625	90	159	0,56
41	IPE180	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB200	45	17	4	146	127	-43	0,34	542	79	159	0,49
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB220			4	146	127	43	0,34	542	79	159	0,49
42	IPE100	ELU(SC)_W_I_T+	Esq	HEB200	28	13	3	74	52	-15	0,29	223	68	159	0,43
		ELU(SC)_W_I_T+	Dir	HEB220			3	74	52	15	0,29	223	68	159	0,43

Pórticos da Torre Metálica

Ligação tipo das vigas principais aos montantes

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2021 Cálculo da conexão viga - coluna (mesa) EN 1993-1-8:2005/AC:2009	 Relação 0,95
---	--	---

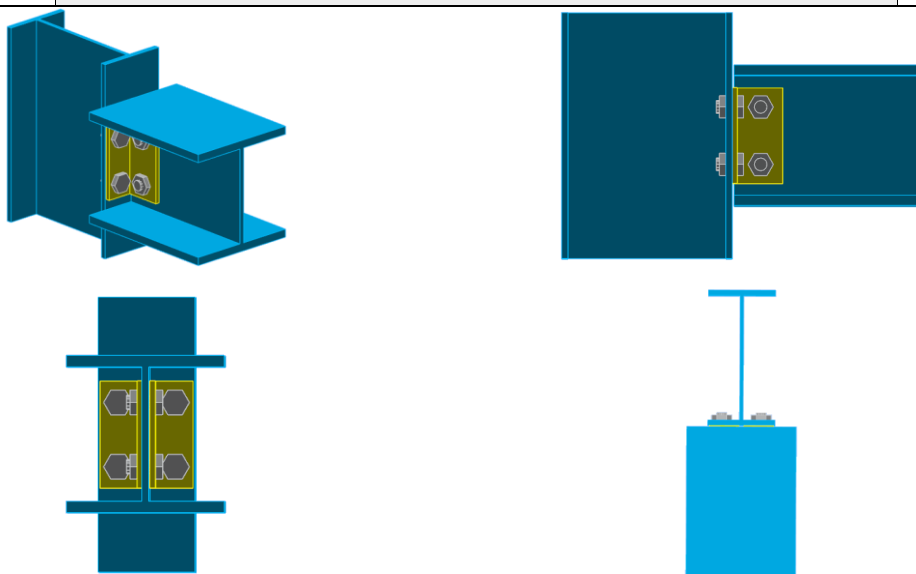
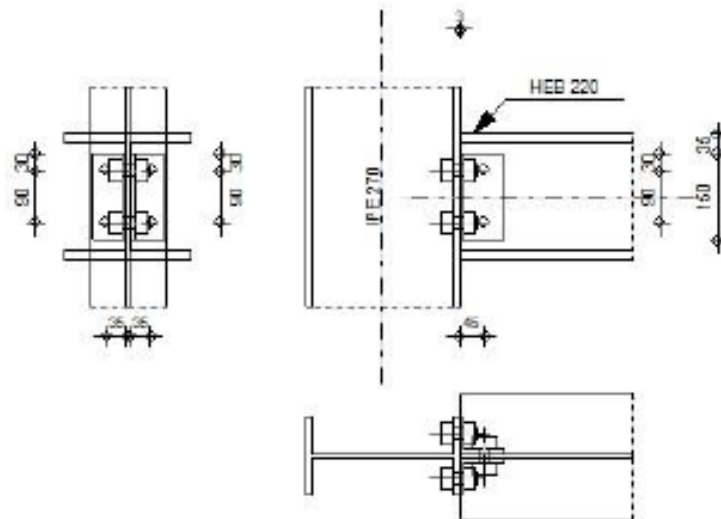


Figura 208 - Ligação da viga principal aos montantes



GERAL

Nº de conexão: 4
Nome da conexão: Viga-coluna (mesa)

GEOMETRIA

COLUNA

Seção: IPE 270

$\alpha = -90,0$ [Deg] Âng. de inclinação
 $h_c = 270$ [mm] Altura da seção da coluna
 $b_{fc} = 135$ [mm] Largura da seção da coluna
 $t_{wc} = 7$ [mm] Espessura da alma da seção da coluna
 $t_{fc} = 10$ [mm] Espessura da mesa da seção da coluna
 $r_c = 15$ [mm] Raio de concordância de seção da coluna
 $A_c = 4590$ [mm²] Área de seção transversal do pilar
 $I_{yc} = 57900000$ [mm⁴] Momento de inércia da seção do pilar

Material: S275

$f_{yc} = 275,00$ [MPa] Resistência do projeto
 $f_{uc} = 430,00$ [MPa] Resistência à tensão

VIGA

Seção: HEB 220

$\alpha = 0,0$ [Deg] Âng. de inclinação
 $h_b = 220$ [mm] Altura da seção da viga
 $b_b = 220$ [mm] Largura da seção da viga
 $t_{wb} = 10$ [mm] Espessura da alma da seção da viga
 $t_{fb} = 16$ [mm] Espessura da mesa da seção da viga
 $r_b = 18$ [mm] Raio de concordância da seção da viga
 $A_b = 9100$ [mm²] Área de seção transversal da viga
 $I_{yb} = 80910000$ [mm⁴] Momento de inércia da seção da viga

Material: S275

$f_{yk} = 275,00$ [MPa] Resistência do projeto

$f_{uk} = 430,00$ [MPa] Resistência à tensão

ÂNGULO

Seção: UNAP 80x60x8

$h_k = 80$ [mm] Altura da seção do ângulo

$b_k = 60$ [mm] Largura da seção do ângulo

$t_k = 8$ [mm] Espessura da mesa da seção do ângulo

$r_k = 8$ [mm] Raio de concordância da alma da seção do ângulo

$l_k = 150$ [mm] Comprimento do ângulo

Material: S275

$f_{yk} = 275,00$ [MPa] Resistência do projeto

$f_{uk} = 430,00$ [MPa] Resistência à tensão

PARAFUSOS

PARAFUSOS CONECTANDO A COLUNA E O ÂNGULO

O plano de cisalhamento passa através da parte NÃO ROSQUEADA do parafuso.

Classe = 10.9 Classe do parafuso

$d = 20$ [mm] Diâmetro do parafuso

$d_o = 22$ [mm] Diâmetro da abertura do parafuso

$A_s = 245$ [mm²] Área efetiva da seção de um parafuso

$A_v = 314$ [mm²] Área de seção do parafuso

$f_{ub} = 1000,00$ [MPa] Resistência à tensão

$k = 1$ Número de colunas de parafusos

$w = 2$ Número de linhas de parafusos

$e_1 = 30$ [mm] Nível do primeiro parafuso

$p_1 = 90$ [mm] Espaçamento vertical

PARAFUSOS CONECTANDO O ÂNGULO À VIGA

O plano de cisalhamento passa através da parte NÃO ROSQUEADA do parafuso.

Classe = 10.9 Classe do parafuso

$d = 20$ [mm] Diâmetro do parafuso

$d_o = 22$ [mm] Diâmetro da abertura do parafuso

$A_s = 245$ [mm²] Área efetiva da seção de um parafuso

$A_v = 314$ [mm²] Área de seção do parafuso

$f_{ub} = 1000,00$ [MPa] Resistência à tensão

$k = 1$ Número de colunas de parafusos

$w = 2$ Número de linhas de parafusos

$e_1 = 30$ [mm] Nível do primeiro parafuso

$p_1 = 90$ [mm] Espaçamento vertical

FATORES DE MATERIAL

$\gamma_{M0} = 1,00$ Fator de segurança parcial [2.2]

$\gamma_{M2} = 1,25$ Fator de segurança parcial [2.2]

CARGAS

Caso: Cálculos manuais.

$N_{b,Ed} = 47,00$ [kN] Força axial

$V_{b,Ed} = 135,00$ [kN] Força de cisalhamento

$M_{b,Ed} = 0,00$ [kN*m] Momento fletor

RESULTADOS

PARAFUSOS CONECTANDO A COLUNA E O ÂNGULO

CAPACIDADES DOS PARAFUSOS

$F_{v,Rd} = 150,80$ [kN] Resistência do parafuso ao cisalhamento na parte sem rosca de um parafuso $F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_v \cdot m / \gamma_{M2}$
 $F_{t,Rd} = 176,40$ [kN] Resistência de um parafuso à tensão $F_{t,Rd} = 0.9 \cdot f_u \cdot A_s / \gamma_{M2}$

Apoio do parafuso na mesa da coluna

Direção x

$k_{1x} = 2,50$ Coeficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$ $k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1x} > 0.0$ $2,50 > 0,00$ **verificado**

$\alpha_{bx} = 0,42$ Coeficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bx} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bx} > 0.0$ $0,42 > 0,00$ **verificado**

$F_{b,Rd1x} = 73,76$ [kN] Resistência portante de um único parafuso $F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d^2 \cdot b / \gamma_{M2}$

Direção z

$k_{1z} = 1,83$ Coeficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$ $k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1z} > 0.0$ $1,83 > 0,00$ **verificado**

$\alpha_{bz} = 1,00$ Coeficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bz} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bz} > 0.0$ $1,00 > 0,00$ **verificado**

$F_{b,Rd1z} = 128,55$ [kN] Resistência portante de um único parafuso $F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d^2 \cdot b / \gamma_{M2}$

Apoio do parafuso no ângulo

Direção x

$k_{1x} = 2,12$ Coeficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$ $k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1x} > 0.0$ $2,12 > 0,00$ **verificado**

$\alpha_{bx} = 0,38$ Coeficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bx} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bx} > 0.0$ $0,38 > 0,00$ **verificado**

$F_{b,Rd2x} = 44,16$ [kN] Resistência portante de um único parafuso $F_{b,Rd2x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d^2 \cdot b / \gamma_{M2}$

Direção z

$k_{1z} = 1,48$ Coeficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$ $k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1z} > 0.0$ $1,48 > 0,00$ **verificado**

$\alpha_{bz} = 0,45$ Coeficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bz} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bz} > 0.0$ $0,45 > 0,00$ **verificado**

$F_{b,Rd2z} = 37,07$ [kN] Resistência portante de um único parafuso $F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d^2 \cdot b / \gamma_{M2}$

FORÇAS ATUANTES EM PARAFUSOS NA CONEXÃO DA COLUNA COM O ÂNGULO

Cisalhamento do parafuso

$e = 40$ [mm] Distância entre o centroide de um grupo de parafusos de um ângulo e o centro da alma da viga

$M_0 = 2,68$ [kN*m] Momento fletor real

$F_{Vz} = 33,75$ [kN] Força do componente em um parafuso devido à influência da força de cisalhamento

$F_{Mx} = 29,81$ [kN] Força componente no parafuso devido ao impacto do momento

$F_{x,Ed} = 29,81$ [kN] Força total do projeto em um parafuso na direção x

$F_{z,Ed} = 33,75$ [kN] Força de projeto total em um parafuso na direção z

$F_{Ed} = 45,03$ [kN] Força de cisalhamento resultante no parafuso

$F_{Rdx} = 44,16$ [kN] Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção x

$F_{Rdz} = 37,07$ [kN] Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção z

$|F_{x,Ed}| \leq F_{Rdx}$ $|29,81| < 44,16$ **verificado** (0,68)

$|F_{z,Ed}| \leq F_{Rdz}$ $|33,75| < 37,07$ **verificado** (0,91)

$F_{Ed} \leq F_{v,Rd}$ $45,03 < 150,80$ **verificado** (0,30)

Tração do parafuso

$e = 50$ [mm] Distância entre o centroide de um grupo de parafusos e o centro da mesa da coluna

$M_{0t} = 3,38$ [kN*m] Momento fletor real

$F_{t,Ed} = 49,33$ [kN] Força de tração no parafuso mais externo

$F_{t,Ed} = M_{0t} \cdot z_m$

$F_{L,Ed} \leq F_{L,Rd}$	49,33 < 176,40	verificado	(0,28)
Ação simultânea de uma força de tração e uma força de cisalhamento no parafuso			
$F_{V,Ed} = 45,03$ [kN]	Força de cisalhamento resultante no parafuso	$F_{V,Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$	
$F_{V,Ed}/F_{V,Rd} + F_{L,Ed}/(1.4 \cdot F_{L,Rd}) \leq 1.0$	0,50 < 1,00	verificado	(0,50)

PARAFUSOS CONECTANDO O ÂNGULO À VIGA

CAPACIDADES DOS PARAFUSOS

$F_{V,Rd} = 301,59$ [kN] Resistência do parafuso ao cisalhamento na parte sem rosca de um parafuso $F_{V,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A$

Apoio do parafuso na viga

Direção x

$k_{1x} = 2,50$	Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$	2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bx} = 0,64$	Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bx} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$	0,64 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd1x} = 103,98$ [kN]	Resistência portante de um único parafuso	$F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d^2 / \gamma_{M2}$

Direção z

$k_{1z} = 2,50$	Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$	2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bz} = 0,98$	Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$	0,98 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd1z} = 160,92$ [kN]	Resistência portante de um único parafuso	$F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d^2 / \gamma_{M2}$

Apoio do parafuso no ângulo

Direção x

$k_{1x} = 2,12$	Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$	2,12 > 0,00	verificado
$\alpha_{bx} = 0,53$	Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bx} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$	0,53 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd2x} = 123,65$ [kN]	Resistência portante de um único parafuso	$F_{b,Rd2x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d^2 / \gamma_{M2}$

Direção z

$k_{1z} = 2,50$	Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$	2,50 > 0,00	verificado
$\alpha_{bz} = 0,45$	Coefficiente para o cálculo de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$	0,45 > 0,00	verificado
$F_{b,Rd2z} = 125,09$ [kN]	Resistência portante de um único parafuso	$F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d^2 / \gamma_{M2}$

FORÇAS ATUANTES NOS PARAFUSOS DA CONEXÃO DO ÂNGULO COM A VIGA

Cisalhamento do parafuso

$e = 50$ [mm]	Distância entre o centroide de um grupo de parafusos e o centro da mesa da coluna		
$M_0 = 6,76$ [kN·m]	Momento fletor real		
$F_{Nx} = 23,50$ [kN]	Força do componente em um parafuso devido à influência da força longitudinal		
$F_{Vz} = 67,50$ [kN]	Força do componente em um parafuso devido à influência da força de cisalhamento		
$F_{Mx} = 75,15$ [kN]	Componente de força em um parafuso devido a influência do momento na direção x		
$F_{Mz} = 0,00$ [kN]	Força do componente em um parafuso devido à influência do momento ao redor do eixo z		
$F_{x,Ed} = 98,65$ [kN]	Força total do projeto em um parafuso na direção x		
$F_{z,Ed} = 67,50$ [kN]	Força de projeto total em um parafuso na direção z		
$F_{Ed} = 119,53$ [kN]	Força de cisalhamento resultante no parafuso		
$F_{Rdx} = 103,98$ [kN]	Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção x		
$F_{Rdz} = 125,09$ [kN]	Capacidade de projeto efetiva de um parafuso na direção z		
$ F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	98,65 < 103,98	verificado	(0,95)
$ F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	67,50 < 125,09	verificado	(0,54)
$F_{Ed} \leq F_{V,Rd}$	119,53 < 301,59	verificado	(0,40)

VERIFICAÇÃO DA SEÇÃO DEVIDO AO ROMPIMENTO DO BLOCO (FORÇA AXIAL)

ÂNGULO

$A_{\text{rel}} =$	544 [mm ²]	Área líquida da seção em tração
$A_{\text{sv}} =$	384 [mm ²]	Área da seção em cisalhamento
$V_{\text{eff,Rd}} =$	248,10 [kN]	Capacidade do projeto de uma seção enfraquecida por aberturas $V_{\text{eff,Rd}} = f_u \cdot A_{\text{rel}} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{\text{sv}} / \gamma_{M0}$
$ 0,5 \cdot N_{b,Ed} \leq V_{\text{eff,Rd}}$	23,50 < 248,10	verificado (0,09)

VIGA

$A_{\text{rel}} =$	646 [mm ²]	Área líquida da seção em tração
$A_{\text{sv}} =$	589 [mm ²]	Área da seção em cisalhamento
$V_{\text{eff,Rd}} =$	315,74 [kN]	Capacidade do projeto de uma seção enfraquecida por aberturas $V_{\text{eff,Rd}} = f_u \cdot A_{\text{rel}} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{\text{sv}} / \gamma_{M0}$
$ N_{b,Ed} \leq V_{\text{eff,Rd}}$	47,00 < 315,74	verificado (0,15)

VERIFICAÇÃO DA SEÇÃO DEVIDO AO ROMPIMENTO DO BLOCO (FORÇA DE CISALHAMENTO)

ÂNGULO

$A_{\text{rel}} =$	192 [mm ²]	Área líquida da seção em tração
$A_{\text{sv}} =$	696 [mm ²]	Área da seção em cisalhamento
$V_{\text{eff,Rd}} =$	143,53 [kN]	Capacidade do projeto de uma seção enfraquecida por aberturas $V_{\text{eff,Rd}} = 0,5 \cdot f_u \cdot A_{\text{rel}} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{\text{sv}} / \gamma_{M0}$
$ 0,5 \cdot V_{b,Ed} \leq V_{\text{eff,Rd}}$	67,50 < 143,53	verificado (0,47)

VIGA

$A_{\text{rel}} =$	295 [mm ²]	Área líquida da seção em tração
$A_{\text{sv}} =$	1159 [mm ²]	Área da seção em cisalhamento
$V_{\text{eff,Rd}} =$	234,67 [kN]	Capacidade do projeto de uma seção enfraquecida por aberturas $V_{\text{eff,Rd}} = 0,5 \cdot f_u \cdot A_{\text{rel}} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{\text{sv}} / \gamma_{M0}$
$ V_{b,Ed} \leq V_{\text{eff,Rd}}$	135,00 < 234,67	verificado (0,58)

VERIFICAÇÃO DA SEÇÃO DE ÂNGULO ENFRAQUECIDO POR ABERTURAS

$A_t =$	704 [mm ²]	Área da zona de tensão da seção bruta
$A_{t,net} =$	528 [mm ²]	Área líquida da seção em tração
$0,9 \cdot (A_{t,net}/A_t) \geq (f_y \cdot \gamma_{M2}) / (f_u \cdot \gamma_{M0})$	0,68 < 0,80	
$W_{net} =$	27135 [mm ³]	Módulo elástico da seção
$M_{c,Rd,net} =$	7,46 [kN*m]	Resistência do projeto da seção em flexão $M_{c,Rd,net} = W_{net} \cdot f_{yp} / \gamma_{M0}$
$ M_{Ed} \leq M_{c,Rd,net}$	3,38 < 7,46	verificado (0,45)
$A_v =$	1200 [mm ²]	Área da seção efetiva quanto a cisalhamento $A_v = I_a \cdot t_{ba}$
$A_{v,net} =$	848 [mm ²]	Área líquida de uma seção efetiva quanto a cisalhamento $A_{v,net} = A_v - n_v \cdot d_o$
$V_{\mu,Rd} =$	190,53 [kN]	Resistência plástica do projeto para cisalhamento $V_{\mu,Rd} = (A_v \cdot f_y) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$
$ 0,5 \cdot V_{b,Ed} \leq V_{\mu,Rd}$	67,50 < 190,53	verificado (0,35)

VERIFICAÇÃO DE UMA SEÇÃO DE VIGA ENFRAQUECIDA POR ABERTURAS

$A_t =$	1311 [mm ²]	Área da zona de tensão da seção bruta
$A_{t,net} =$	893 [mm ²]	Área líquida da seção em tração
$0,9 \cdot (A_{t,net}/A_t) \geq (f_y \cdot \gamma_{M2}) / (f_u \cdot \gamma_{M0})$	0,61 < 0,80	
$W_{net} =$	68408 [mm ³]	Módulo elástico da seção
$M_{c,Rd,net} =$	18,81 [kN*m]	Resistência do projeto da seção em flexão $M_{c,Rd,net} = W_{net} \cdot f_{yp} / \gamma_{M0}$
$ M_{Ed} \leq M_{c,Rd,net}$	6,76 < 18,81	verificado (0,36)

$A_v = 2090$ [mm²] Área da seção efetiva quanto a cisalhamento
 $A_{v,Red} = 1672$ [mm²] Área líquida de uma seção efetiva quanto a cisalhamento $A_{v,Red} = A_v \cdot n_v \cdot d_0$
 $V_{pl,Rd} = 331,83$ [kN] Resistência plástica do projeto para cisalhamento $V_{pl,Rd} = (A_v \cdot f_y) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$
 $V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$ | 135,00 | < 331,83 | **verificado** | (0,41)



COMENTÁRIOS

A distância entre o parafuso e a borda vertical do ângulo na coluna é muito pequena 25 [mm] < 26 [mm]
 A distância entre o parafuso e a borda da parede do ângulo é muito pequena. 27 [mm] < 28 [mm]

A conexão está em conformidade com a norma.	Relação	0,95
--	----------------	-------------

Ligação tipo dos pilares à laje de betão

Recorreu-se também ao *software “Robot”* para o dimensionamento destas ligações.

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2021 Projeto da base da coluna engastada Eurocode 3: EN 1993-1-8:2005/AC:2009	 Relação 0,97
---	--	---

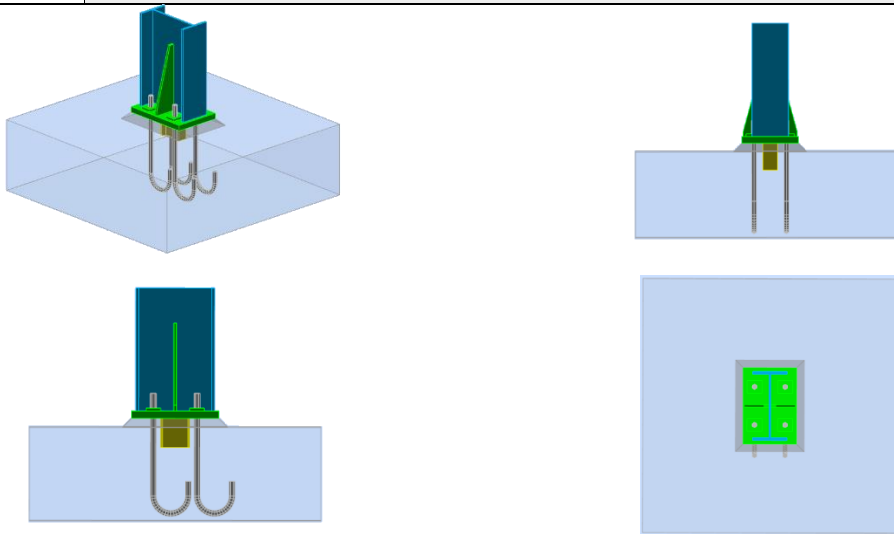


Figura 209 - Ligação dos montantes à laje de betão



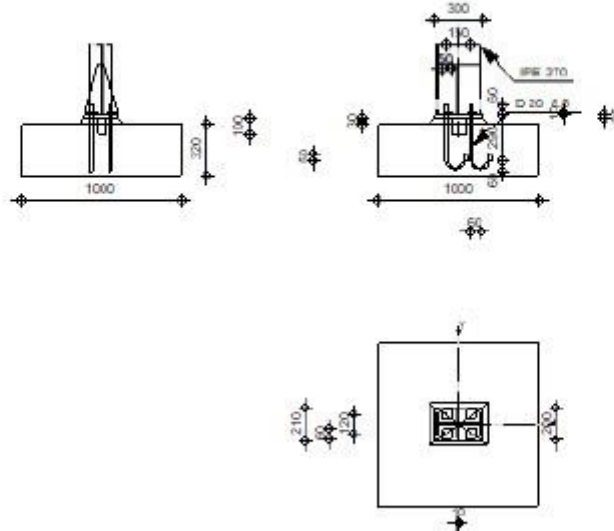
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2021

Projeto da base da coluna engastada

Eurocode 3: EN 1993-1-8:2005/AC:2009



Relação
0,97



GERAL

N° de conexão: 1

Nome da conexão: Base da coluna engastada

GEOMETRIA

COLUNA

Seção: IPE 270

$L_c = 5,00$ [m] Comprimento da coluna
 $\alpha = 0,0$ [Deg] Âng. de inclinação
 $h_c = 270$ [mm] Altura da seção da coluna
 $b_{tc} = 135$ [mm] Largura da seção da coluna
 $t_{wc} = 7$ [mm] Espessura da alma da seção da coluna
 $t_{tc} = 10$ [mm] Espessura da mesa da seção da coluna
 $r_c = 15$ [mm] Raio de concordância de seção da coluna
 $A_c = 4590$ [mm²] Área de seção transversal do pilar
 $I_{yc} = 57900000$ [mm⁴] Momento de inércia da seção do pilar

Material: S275

$f_{yc} = 275,00$ [MPa] Resistência

$f_{uc} = 430,00$ [MPa] Resistência de elasticidade de um material

BASE DA COLUNA

$l_{pd} = 300$ [mm] Comprimento

$b_{pd} = 210$ [mm] Largura

$t_{pd} = 25$ [mm] Espessura

Material: S275

$f_{ypd} = 275,00$ [MPa] Resistência

$f_{upd} = 430,00$ [MPa] Resistência de elasticidade de um material

ANCORAGEM

O plano de cisalhamento passa através da parte NÃO ROSQUEADA do parafuso.

Classe =	8.8	Classe da âncora
f_{yb} =	640,00 [MPa]	Força de limite de escoamento do material da âncora
f_{ub} =	800,00 [MPa]	Força de tração do material da âncora
d =	20 [mm]	Diâmetro do parafuso
A_s =	245 [mm ²]	Área efetiva da seção de um parafuso
A_v =	314 [mm ²]	Área de seção do parafuso
n_H =	2	Número de colunas de parafusos
n_V =	2	Número de linhas de parafusos
Espaçamento horizontal e_{H1} =	150 [mm]	
Espaçamento vertical e_{V1} =	120 [mm]	

Dimensões de âncora

L_1 =	60 [mm]
L_2 =	290 [mm]
L_3 =	120 [mm]
L_4 =	50 [mm]

Arruela

l_{wd} =	50 [mm]	Comprimento
b_{wd} =	60 [mm]	Largura
t_{wd} =	10 [mm]	Espessura

CUNHA

Seção:	ipe 100	
l_w =	100 [mm]	Comprimento
Material:	S275	
f_{yw} =	275,00 [MPa]	Resistência

ENRIJECEDOR

w_s =	200 [mm]	Largura
h_s =	300 [mm]	Altura
t_s =	10 [mm]	Espessura
d_1 =	20 [mm]	Corte
d_2 =	20 [mm]	Corte

FATORES DE MATERIAL

γ_{M0} =	1,00	Fator de segurança parcial
γ_{M2} =	1,25	Fator de segurança parcial
γ_C =	1,50	Fator de segurança parcial

SAPATA DISTRIBUÍDA

L =	1000 [mm]	Comprimento da sapata distribuída
B =	1000 [mm]	Largura da sapata distribuída
H =	320 [mm]	Altura da sapata distribuída

Concreto

Classe	C30	
f_{ck} =	30,00 [MPa]	Resistência característica à compressão

Camada de reboco

t_g =	30 [mm]	Espessura da camada de nivelção (reboco)
$f_{ck,g}$ =	12,00 [MPa]	Resistência característica à compressão
$C_{r,d}$ =	0,30	Coef. de fricção entre a placa de base e o concreto

SOLDAS

$a_p =$	4	[mm]	Placa da sapata da base do pilar
$a_w =$	4	[mm]	Cunha
$a_s =$	4	[mm]	Enrijecedores

CARGAS

Caso: Cálculos manuais.

$N_{l,Ed} =$	-308,12	[kN]	Força axial
$V_{l,Ed,y} =$	16,04	[kN]	Força de cisalhamento
$V_{l,Ed,z} =$	-7,31	[kN]	Força de cisalhamento
$M_{l,Ed,y} =$	8,63	[kN*m]	Momento fletor
$M_{l,Ed,z} =$	11,02	[kN*m]	Momento fletor

RESULTADOS

ZONA DE COMPRESSÃO

COMPRESSÃO DO CONCRETO

$f_{cd} =$	20,00	[MPa]	Resistência do projeto à compressão	EN 1992-1:[3.1.6.(1)]
$f_t =$	30,45	[MPa]	Resistência portante do projeto debaixo da placa de base	[6.2.5.(7)]
$c = t_p \sqrt{(f_{yp}/(3*f_t*\gamma_{Ma}))}$				
$c =$	43	[mm]	Largura adicional da zona de pressão do apoio	[6.2.5.(4)]
$b_{eff} =$	69	[mm]	Largura efetiva da zona de pressão do apoio debaixo da mesa	[6.2.5.(3)]
$l_{eff} =$	210	[mm]	Comprimento efetivo da zona de pressão do apoio debaixo da mesa	[6.2.5.(3)]
$A_{c0} =$	14401	[mm ²]	Área da junta entre a placa de base e a sapata	EN 1992-1:[6.7.(3)]
$A_{c1} =$	109035	[mm ²]	Área máxima de projeto da distribuição de carga	EN 1992-1:[6.7.(3)]
$F_{Rd} = A_{c0}*f_{cd}*\sqrt{(A_{c1}/A_{c0})} \leq 3*A_{c0}*f_{cd}$				
$F_{Rd} =$	792,51	[kN]	Resistência portante do concreto	EN 1992-1:[6.7.(3)]
$\beta_j =$	0,67		Fator de redução para compressão	[6.2.5.(7)]
$f_{jd} = \beta_j * F_{Rd} / (b_{eff} * l_{eff})$				
$f_{jd} =$	36,69	[MPa]	Resistência portante do projeto	[6.2.5.(7)]
$A_{c,n} =$	48018	[mm ²]	Área de pressão para compressão	[6.2.8.2.(1)]
$A_{c,y} =$	14401	[mm ²]	Área de pressão para curvatura My	[6.2.8.3.(1)]
$A_{c,z} =$	20924	[mm ²]	Área de pressão para curvatura Mz	[6.2.8.3.(1)]
$F_{c,Rd,i} = A_{c,i} * f_{jd}$				
$F_{c,Rd,n} =$	1761,71	[kN]	Resistência portante do concreto para compressão	[6.2.8.2.(1)]
$F_{c,Rd,y} =$	528,34	[kN]	Resistência portante do concreto para curvatura My	[6.2.8.3.(1)]
$F_{c,Rd,z} =$	767,67	[kN]	Resistência portante do concreto para curvatura Mz	[6.2.8.3.(1)]

ALMA E MESA E ALME DA COLUNA EM COMPRESSÃO

$CL =$	2,00		Classe da seção	EN 1993-1-1:[5.5.2]
$W_{pl,y} =$	488835	[mm ³]	Módulo plástico da seção	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]
$M_{c,Rd,y} =$	134,43	[kN*m]	Resistência do projeto da seção em flexão	EN1993-1-1:[6.2.5]
$h_{t,y} =$	260	[mm]	Distância entre os centroides das mesas	[6.2.6.7.(1)]
$F_{c,tc,Rd,y} = M_{c,Rd,y} / h_{t,y}$				
$F_{c,tc,Rd,y} =$	517,44	[kN]	Resistência da mesa e da alma comprimidas	[6.2.6.7.(1)]
$W_{pl,z} =$	190509	[mm ³]	Módulo plástico da seção	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]
$M_{c,Rd,z} =$	52,39	[kN*m]	Resistência do projeto da seção em flexão	EN1993-1-1:[6.2.5]
$h_{t,z} =$	93	[mm]	Distância entre os centroides das mesas	[6.2.6.7.(1)]
$F_{c,tc,Rd,z} = M_{c,Rd,z} / h_{t,z}$				
$F_{c,tc,Rd,z} =$	561,69	[kN]	Resistência da mesa e da alma comprimidas	[6.2.6.7.(1)]

RESISTÊNCIAS DE SAPATA DISTRIBUÍDA NA ZONA DE COMPRESSÃO

$N_{l,Rd} = F_{c,Rd,n}$				
$N_{l,Rd} =$	1761,71	[kN]	Resistência de uma sapata distribuída quanto à compressão axial	[6.2.8.2.(1)]
$F_{c,Rd,y} = \min(F_{c,Rd,y}, F_{c,tc,Rd,y})$				
$F_{c,Rd,y} =$	517,44	[kN]	Resistência da sapata distribuída na zona de compressão	[6.2.8.3]
$F_{c,Rd,z} = \min(F_{c,Rd,z}, F_{c,tc,Rd,z})$				
$F_{c,Rd,z} =$	561,69	[kN]	Resistência da sapata distribuída na zona de compressão	[6.2.8.3]

CONTROLE DE RESISTÊNCIA DA CONEXÃO

$N_{l,Ed} / N_{l,Rd} \leq 1,0$ (6.24)	$0,17 < 1,00$	verificado	(0,17)
$e_y = 28$ [mm]	Excentricidade da força axial		[6.2.8.3]
$Z_{c,y} = 116$ [mm]	Braço de alavanca $F_{c,Rd,y}$		[6.2.8.1.(2)]
$Z_{t,y} = 75$ [mm]	Braço de alavanca $F_{t,Rd,y}$		[6.2.8.1.(3)]
$M_{l,Rd,y} = 23,34$ [kN*m]	Resistência da conexão à flexão		[6.2.8.3]
$M_{l,Ed,y} / M_{l,Rd,y} \leq 1,0$ (6.23)	$0,37 < 1,00$	verificado	(0,37)
$e_z = 36$ [mm]	Excentricidade da força axial		[6.2.8.3]
$Z_{c,z} = 47$ [mm]	Braço de alavanca $F_{c,Rd,z}$		[6.2.8.1.(2)]
$Z_{t,z} = 60$ [mm]	Braço de alavanca $F_{t,Rd,z}$		[6.2.8.1.(3)]
$M_{l,Rd,z} = 22,74$ [kN*m]	Resistência da conexão à flexão		[6.2.8.3]
$M_{l,Ed,z} / M_{l,Rd,z} \leq 1,0$ (6.23)	$0,48 < 1,00$	verificado	(0,48)
$M_{l,Ed,y} / M_{l,Rd,y} + M_{l,Ed,z} / M_{l,Rd,z} \leq 1,0$	$0,85 < 1,00$	verificado	(0,85)

CISALHAMENTO

PRESSÃO DO APOIO DE UM PARAFUSO DE ANCORAGEM CONTRA A PLACA DE BASE

Força de cisalhamento $V_{l,Ed,y}$

$\alpha_{d,y} = 0,68$ Coef. dependente da posição do parafuso - na direção de cisalhamento [Tabela 3.4]

$\alpha_{b,y} = 0,68$ Coef. para cálculo da resistência $F_{1,vb,Rd}$ [Tabela 3.4]

$k_{1,y} = 2,50$ Coef. dependente da posição do parafuso - perpendicular à direção de cisalhamento [Tabela 3.4]

$F_{1,vb,Rd,y} = k_{1,y} \alpha_{b,y} f_{up} d^2 t_p / \gamma_{M2}$

$F_{1,vb,Rd,y} = 293,18$ [kN] Resistência do parafuso de ancoragem para a pressão do apoio contra a placa de base [6.2.2.(7)]

Força de cisalhamento $V_{l,Ed,z}$

$\alpha_{d,z} = 1,14$ Coef. dependente da posição do parafuso - na direção de cisalhamento [Tabela 3.4]

$\alpha_{b,z} = 1,00$ Coef. para cálculo da resistência $F_{1,vb,Rd}$ [Tabela 3.4]

$k_{1,z} = 2,50$ Coef. dependente da posição do parafuso - perpendicular à direção de cisalhamento [Tabela 3.4]

$F_{1,vb,Rd,z} = k_{1,z} \alpha_{b,z} f_{up} d^2 t_p / \gamma_{M2}$

$F_{1,vb,Rd,z} = 430,00$ [kN] Resistência do parafuso de ancoragem para a pressão do apoio contra a placa de base [6.2.2.(7)]

CISALHAMENTO DE UM PARAFUSO DA ÂNCORA

$\alpha_b = 0,25$ Coef. para cálculo da resistência $F_{2,vb,Rd}$ [6.2.2.(7)]

$A_{vb} = 314$ [mm²] Área de seção do parafuso [6.2.2.(7)]

$f_{ub} = 800,00$ [MPa] Força de tração do material da âncora [6.2.2.(7)]

$\gamma_{M2} = 1,25$ Fator de segurança parcial [6.2.2.(7)]

$F_{2,vb,Rd} = \alpha_b f_{ub} A_{vb} / \gamma_{M2}$

$F_{2,vb,Rd} = 49,86$ [kN] Resistência ao cisalhamento de um parafuso - sem braço de alavanca [6.2.2.(7)]

RESISTÊNCIA A DESLIZAMENTO

$C_{r,d} = 0,30$ Coef. de fricção entre a placa de base e o concreto [6.2.2.(6)]

$N_{c,Ed} = 308,12$ [kN] Força de compressão [6.2.2.(6)]

$F_{t,Rd} = C_{r,d} N_{c,Ed}$

$F_{t,Rd} = 92,44$ [kN] Resistência a deslizamento [6.2.2.(6)]

PRESSÃO DA CUNHA CONTRA O CONCRETO

$F_{v,Rd,wg,y} = 1.4 I_w b_{wy} f_{ct} / \gamma_c$

$F_{v,Rd,wg,y} = 280,00$ [kN] Resistência à pressão da cunha ao concreto

$F_{v,Rd,wg,z} = 1.4 I_w b_{wz} f_{ct} / \gamma_c$

$F_{v,Rd,wg,z} = 154,00$ [kN] Resistência à pressão da cunha ao concreto

CONTROLE DO CISALHAMENTO

$V_{l,Rd,y} = n_b \min(F_{1,vb,Rd,y}, F_{2,vb,Rd}) + F_{v,Rd,wg,y} + F_{t,Rd}$

$V_{l,Rd,y} = 571,89$ [kN] Resistência da conexão ao cisalhamento

$V_{l,Ed,y} / V_{l,Rd,y} \leq 1,0$ $0,03 < 1,00$ verificado (0,03)

$V_{l,Rd,z} = n_b \min(F_{1,vb,Rd,z}, F_{2,vb,Rd}) + F_{v,Rd,wg,z} + F_{t,Rd}$

$V_{l,Rd,z} = 445,89$ [kN] Resistência da conexão ao cisalhamento

$V_{l,Ed,z} / V_{l,Rd,z} \leq 1,0$ $0,02 < 1,00$ verificado (0,02)

$V_{l,Ed,y} / V_{l,Rd,y} + V_{l,Ed,z} / V_{l,Rd,z} \leq 1,0$ $0,04 < 1,00$ verificado (0,04)

VERIFICAÇÃO DE ENRIJECEDOR

Enrijecedor perpendicular à alma (no ponto intermediário da altura da alma do pilar)

$M_1 =$	9,95 [kN*m]	Momento fletor atuante sobre um enrijecedor	
$Q_1 =$	195,61 [kN]	Força de cisalhamento atuante sobre um enrijecedor	
$z_s =$	91 [mm]	Localização do eixo neutro (da base da placa)	
$I_s =$	63863021 [mm ⁴]	Momento de inércia de um enrijecedor	
$\sigma_a =$	10,20 [MPa]	Tensão normal na superfície de contato entre enrijecedor e placa	EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]
$\sigma_g =$	36,52 [MPa]	Tensão normal nas fibras superiores	EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]
$\tau =$	65,20 [MPa]	Tensão tangencial em um enrijecedor	EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]
$\sigma_z =$	113,40 [MPa]	Tensão equivalente na superfície de contato entre enrijecedor e placa	EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]
$\max(\sigma_a, \tau / (0,58), \sigma_z) / (f_{yp}/\gamma_{M0}) \leq 1,0$ (6.1)			0,41 < 1,00 verificado (0,41)

SOLDAS ENTRE A COLUNA E A PLACA DE BASE

$\sigma_{\perp} =$	71,12 [MPa]	Tensão normal em uma solda	[4.5.3.(7)]
$\tau_{\perp} =$	71,12 [MPa]	Tensão tangencial perpendicular	[4.5.3.(7)]
$\tau_{yII} =$	4,45 [MPa]	Tensão tangencial paralela a $V_{I,Ed,y}$	[4.5.3.(7)]
$\tau_{zII} =$	-3,66 [MPa]	Tensão tangencial paralela a $V_{I,Ed,z}$	[4.5.3.(7)]
$\beta_W =$	0,85	Coefficiente dependente da resistência	[4.5.3.(7)]
$\sigma_{\perp} / (0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2}) \leq 1,0$ (4.1)		0,23 < 1,00 verificado	(0,23)
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3,0 (\tau_{yII}^2 + \tau_{zII}^2))} / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2})) \leq 1,0$ (4.1)		0,35 < 1,00 verificado	(0,35)
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3,0 (\tau_{zII}^2 + \tau_{\perp}^2))} / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2})) \leq 1,0$ (4.1)		0,23 < 1,00 verificado	(0,23)

SOLDAS VERTICAIS DOS ENRIJECEDORES

Enrijecedor perpendicular à alma (no ponto intermediário da altura da alma do pilar)

$\sigma_{\perp} =$	58,61 [MPa]	Tensão normal em uma solda	[4.5.3.(7)]
$\tau_{\perp} =$	58,61 [MPa]	Tensão tangencial perpendicular	[4.5.3.(7)]
$\tau_{II} =$	81,51 [MPa]	Tensão tangencial paralela	[4.5.3.(7)]
$\sigma_z =$	183,50 [MPa]	Tensão equivalente total	[4.5.3.(7)]
$\beta_W =$	0,85	Coefficiente dependente da resistência	[4.5.3.(7)]
$\max(\sigma_{\perp}, \tau_{II} \cdot \sqrt{3}, \sigma_z) / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2})) \leq 1,0$ (4.1)			0,45 < 1,00 verificado (0,45)

SOLDAS TRANSVERSAIS DOS ENRIJECEDORES

Enrijecedor perpendicular à alma (no ponto intermediário da altura da alma do pilar)

$\sigma_{\perp} =$	178,80 [MPa]	Tensão normal em uma solda	[4.5.3.(7)]
$\tau_{\perp} =$	178,80 [MPa]	Tensão tangencial perpendicular	[4.5.3.(7)]
$\tau_{II} =$	93,40 [MPa]	Tensão tangencial paralela	[4.5.3.(7)]
$\sigma_z =$	392,49 [MPa]	Tensão equivalente total	[4.5.3.(7)]
$\beta_W =$	0,85	Coefficiente dependente da resistência	[4.5.3.(7)]
$\max(\sigma_{\perp}, \tau_{II} \cdot \sqrt{3}, \sigma_z) / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2})) \leq 1,0$ (4.1)			0,97 < 1,00 verificado (0,97)

RIGIDEZ DA CONEXÃO

Momento fletor $M_{I,Ed,y}$

$b_{eff} =$	69 [mm]	Largura efetiva da zona de pressão do apoio debaixo da mesa	[6.2.5.(3)]
$l_{eff} =$	210 [mm]	Comprimento efetivo da zona de pressão do apoio debaixo da mesa	[6.2.5.(3)]
$k_{13,y} = E_c \cdot \sqrt{(b_{eff} \cdot l_{eff})} / (1,275 \cdot E)$			
$k_{13,y} =$	12 [mm]	Coef. de rigidez do concreto comprimido	[Tabela 6.11]
$l_{eff} =$	218 [mm]	Comprimento efetivo para um parafuso para o modo 2	[6.2.6.5]
$m =$	52 [mm]	Distância de um parafuso à borda enrijecedora	[6.2.6.5]
$k_{15,y} = 0,425 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / (m^3)$			
$k_{15,y} =$	10 [mm]	Coef. de rigidez da placa de base em tração	[Tabela 6.11]
$L_b =$	235 [mm]	Profundidade efetiva de ancoragem	[Tabela 6.11]
$k_{16,y} = 1,6 \cdot A_b / L_b$			

$k_{15,y} = 2$ [mm]	Coef. de rigidez da ancoragem à tração	[Tabela 6.11]
$\lambda_{0,y} = 0,52$	Esbeltez da coluna	[5.2.2.5.(2)]
$S_{j,ni,y} = 65530,88$ [kN*m]	Rigidez rotacional inicial	[Tabela 6.12]
$S_{j,rq,y} = 71217,00$ [kN*m]	Resistência de uma conexão rígida	[5.2.2.5]
$S_{j,ni,y} < S_{j,rq,y}$	SEMIRRÍGIDO	[5.2.2.5.(2)]
Momento fletor $M_{L,Ed,z}$		
$k_{13,z} = E_c \cdot \sqrt{(A_{c,z})} / (1.275 \cdot E)$		
$k_{13,z} = 14$ [mm]	Coef. de rigidez do concreto comprimido	[Tabela 6.11]
$l_{ef} = 218$ [mm]	Comprimento efetivo para um parafuso para o modo 2	[6.2.6.5]
$m = 52$ [mm]	Distância de um parafuso à borda enrijecedora	[6.2.6.5]
$k_{15,z} = 0.425 \cdot l_{ef} \cdot t_b^3 / (m^3)$		
$k_{15,z} = 10$ [mm]	Coef. de rigidez da placa de base em tração	[Tabela 6.11]
$L_b = 235$ [mm]	Profundidade efetiva de ancoragem	[Tabela 6.11]
$k_{16,z} = 1.6 \cdot A_b / L_b$		
$k_{16,z} = 2$ [mm]	Coef. de rigidez da ancoragem à tração	[Tabela 6.11]
$\lambda_{0,z} = 1,93$	Esbeltez da coluna	[5.2.2.5.(2)]
$S_{j,ni,z} = 12830,81$ [kN*m]	Rigidez rotacional inicial	[6.3.1.(4)]
$S_{j,rq,z} = 5166,00$ [kN*m]	Resistência de uma conexão rígida	[5.2.2.5]
$S_{j,ni,z} \geq S_{j,rq,z}$	RÍGIDO	[5.2.2.5.(2)]

COMPONENTE MAIS FRACO:



ENRIJECEDOR - SOLDAS HORIZONTAIS

COMENTÁRIOS

O segmento L4 da ancoragem encurvada é muito pequeno. 50 [mm] $<$ 100 [mm]

A conexão está em conformidade com a norma.	Relação	0,97
--	---------	------

Ligação tipo dos pilares às travessas

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2021 Projeto de conexão viga-para-coluna engastada EN 1993-1-8:2005/AC:2009	
		Relação 0,62

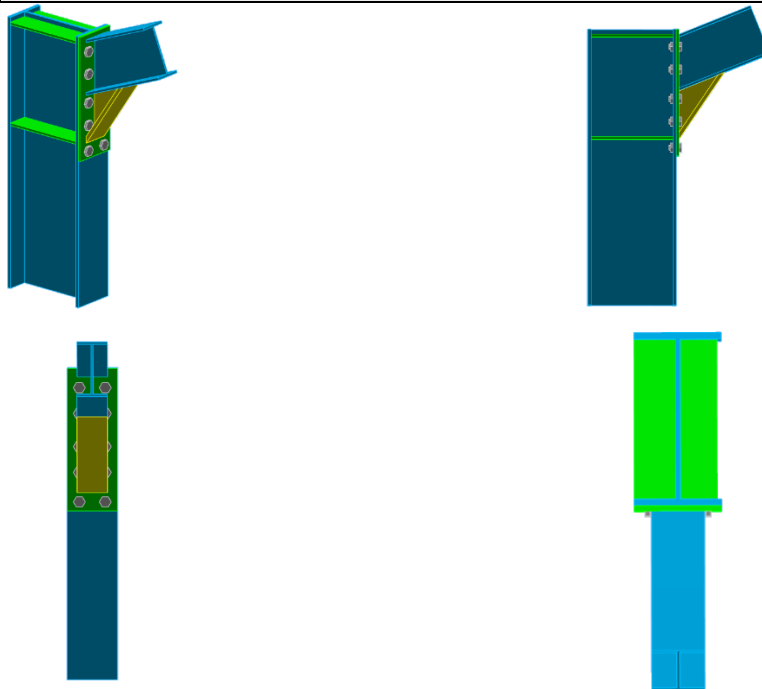


Figura 210 - Ligação dos montantes às travessas



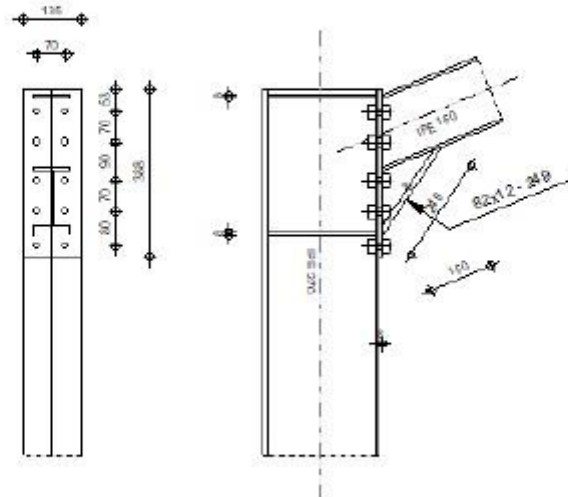
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2021

Projeto de conexão viga-para-coluna engastada

EN 1993-1-8:2005/AC:2009



Relação
0,62



GERAL

Nº de conexão: 1
Nome da conexão: conexão viga-pilar engastada

GEOMETRIA

COLUNA

Seção: IPE 270
 $\alpha = -90,0$ [Deg] Âng. de inclinação
 $h_c = 270$ [mm] Altura da seção da coluna
 $b_c = 135$ [mm] Largura da seção da coluna
 $t_{wc} = 7$ [mm] Espessura da alma da seção da coluna
 $t_c = 10$ [mm] Espessura da mesa da seção da coluna
 $r_c = 15$ [mm] Raio de concordância de seção da coluna
 $A_c = 4590$ [mm²] Área de seção transversal do pilar
 $I_{xc} = 57900000$ [mm⁴] Momento de inércia da seção do pilar
Material: S275
 $f_{yc} = 275,00$ [MPa] Resistência

VIGA

Seção: IPE 160
 $\alpha = 22,0$ [Deg] Âng. de inclinação
 $h_b = 160$ [mm] Altura da seção da viga
 $b_f = 82$ [mm] Largura da seção da viga
 $t_{wb} = 5$ [mm] Espessura da alma da seção da viga
 $t_b = 7$ [mm] Espessura da mesa da seção da viga
 $r_b = 9$ [mm] Raio de concordância da seção da viga
 $r_b = 9$ [mm] Raio de concordância da seção da viga
 $A_b = 2010$ [mm²] Área de seção transversal da viga

$\alpha = 22,0$ [Deg] Âng. de inclinação
 $I_{yb} = 8690000$ [mm⁴] Momento de inércia da seção da viga
 Material: S275
 $f_{yb} = 275,00$ [MPa] Resistência

PARAFUSOS

O plano de cisalhamento passa através da parte NÃO ROSQUEADA do parafuso.

$d = 16$ [mm] Diâmetro do parafuso
 Classe = 10.9 Classe do parafuso
 $F_{tRd} = 113,04$ [kN] Resistência à tensão de um parafuso
 $n_h = 2$ Número de colunas de parafusos
 $n_v = 5$ Número de linhas de parafusos
 $h_1 = 53$ [mm] Distância entre o primeiro parafuso e a borda superior da placa frontal
 Espaçamento horizontal $e_1 = 70$ [mm]
 Espaçamento vertical $p_1 = 70; 90; 70; 80$ [mm]

PLACA

$h_p = 388$ [mm] Altura da placa
 $b_p = 135$ [mm] Largura da placa
 $t_p = 8$ [mm] Espessura da placa
 Material: S275
 $f_{yp} = 275,00$ [MPa] Resistência

ENRIJECEDOR INFERIOR

$w_d = 82$ [mm] Largura da placa
 $t_d = 12$ [mm] Espessura da mesa
 $h_d = 150$ [mm] Altura da placa
 $t_wd = 8$ [mm] Espessura da alma
 $l_d = 150$ [mm] Comprimento da placa
 $\alpha = 56,0$ [Deg] Âng. de inclinação
 Material: S275
 $f_{ybu} = 275,00$ [MPa] Resistência

ENRIJECEDOR DA COLUNA

Superior

$h_{su} = 250$ [mm] Altura do enrijecedor
 $b_{su} = 64$ [mm] Largura do enrijecedor
 $t_{hu} = 8$ [mm] Espessura do enrijecedor
 Material: S275
 $f_{ysu} = 275,00$ [MPa] Resistência

Inferior

$h_{sd} = 250$ [mm] Altura do enrijecedor
 $b_{sd} = 64$ [mm] Largura do enrijecedor
 $t_{hd} = 8$ [mm] Espessura do enrijecedor
 Material: S275
 $f_{ysu} = 275,00$ [MPa] Resistência

SOLDAS DE CONCORDÂNCIA

$a_w = 5$ [mm] Solda da alma
 $a_r = 8$ [mm] Solda da mesa
 $a_s = 5$ [mm] Solda do enrijecedor
 $a_{td} = 5$ [mm] Solda horizontal

FATORES DE MATERIAL

$\gamma_{M0} =$	1,00	Fator de segurança parcial	[2.2]
$\gamma_{M1} =$	1,00	Fator de segurança parcial	[2.2]
$\gamma_{M2} =$	1,25	Fator de segurança parcial	[2.2]
$\gamma_{M3} =$	1,25	Fator de segurança parcial	[2.2]

CARGAS

Estado limite definitivo

Caso: Cálculos manuais.

$M_{b1,Ed} =$	20,47 [kN*m]	Momento fletor na viga direita
$V_{b1,Ed} =$	15,90 [kN]	Força de cisalhamento na viga direita
$N_{b1,Ed} =$	16,96 [kN]	Força axial na viga direita
$M_{c1,Ed} =$	20,47 [kN*m]	Momento fletor no pilar inferior
$V_{c1,Ed} =$	8,11 [kN]	Força de cisalhamento no pilar inferior
$N_{c1,Ed} =$	-277,00 [kN]	Força axial no pilar inferior

RESULTADOS

RESISTÊNCIAS DA VIGA

TRAÇÃO

$A_b =$	2010 [mm ²]	Área	EN1993-1-1:[6.2.3]
$N_{b,Rd} =$	$A_b f_{yb} / \gamma_{M0}$		
$N_{b,Rd} =$	552,75 [kN]	Resistência do projeto da seção à tração	EN1993-1-1:[6.2.3]

CISALHAMENTO

$A_{vb} =$	2167 [mm ²]	Área de cisalhamento	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$V_{cb,Rd} =$	$A_{vb} (f_{yb} / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}$		
$V_{cb,Rd} =$	343,99 [kN]	Resistência do projeto da seção ao cisalhamento	EN1993-1-1:[6.2.6.(2)]
$V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq$	1,0	0,05 < 1,00	verificado (0,05)

FLEXÃO - MOMENTO PLÁSTICO (SEM REFORÇOS)

$W_{plb} =$	124000 [mm ³]	Módulo plástico da seção	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]
$M_{b,pl,Rd} =$	$W_{plb} f_{yb} / \gamma_{M0}$		
$M_{b,pl,Rd} =$	34,10 [kN*m]	Resistência plástica da seção em flexão (sem enrijecedores)	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

FLEXÃO NA SUPERFÍCIE DE CONTATO COM A PLACA OU COM O ELEMENTO CONECTADO

$W_{pl} =$	421641 [mm ³]	Módulo plástico da seção	EN1993-1-1:[6.2.5]
$M_{cb,Rd} =$	$W_{pl} f_{yb} / \gamma_{M0}$		
$M_{cb,Rd} =$	115,95 [kN*m]	Resistência do projeto da seção em flexão	EN1993-1-1:[6.2.5]

MESA E ALMA - COMPRESSÃO

$M_{cb,Rd} =$	115,95 [kN*m]	Resistência do projeto da seção em flexão	EN1993-1-1:[6.2.5]
$h_f =$	308 [mm]	Distância entre os centroides das mesas	[6.2.6.7.(1)]
$F_{c,fb,Rd} =$	$M_{cb,Rd} / h_f$		
$F_{c,fb,Rd} =$	376,65 [kN]	Resistência da mesa e da alma comprimidas	[6.2.6.7.(1)]

ALMA OU MESA DO REFORÇO - COMPRESSÃO - NÍVEL DA MESA INFERIOR DA VIGA

Apoios:

$\beta =$	22,0 [Deg]	Ângulo entre a placa dianteira e a viga	
$\gamma =$	56,0 [Deg]	Ângulo de inclinação da placa de reforço	
$b_{eff,c,wb} =$	126 [mm]	Largura efetiva da alma em compressão	[6.2.6.2.(1)]
$A_{vb} =$	967 [mm ²]	Área de cisalhamento	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$\omega =$	0,80	Fator de redução para a interação com o cisalhamento	[6.2.6.2.(1)]
$\sigma_{com,Ed} =$	141,38 [MPa]	Tensão de compressão máxima na alma	[6.2.6.2.(2)]
$k_{wc} =$	1,00	Fator de redução condicionado pelas tensões de compressão	[6.2.6.2.(2)]
$F_{c,wb,Rd1} =$	$[\omega k_{wc} b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$		
$F_{c,wb,Rd1} =$	139,12 [kN]	Resistência da alma da viga	[6.2.6.2.(1)]
Flambagem:			
$d_{wb} =$	127 [mm]	Altura da alma comprimida	[6.2.6.2.(1)]
$\lambda_p =$	0,86	Esbeltez da placa de um elemento	[6.2.6.2.(1)]

$d_{wb} = 127$ [mm]	Altura da alma comprimida	[8.2.6.2.(1)]
$\rho = 0,89$	Fator de redução para a flambagem do elemento	[8.2.6.2.(1)]
$F_{c,wb,Rd2} = [\omega k_{wc} \rho_{\text{eff},c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M1}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$		
$F_{c,wb,Rd2} = 123,68$ [kN]	Resistência da alma da viga	[8.2.6.2.(1)]
Resistência final:		
$F_{c,wb,Rd,low} = \text{Min}(F_{c,wb,Rd1}, F_{c,wb,Rd2})$		
$F_{c,wb,Rd,low} = 123,68$ [kN]	Resistência da alma da viga	[8.2.6.2.(1)]

RESISTÊNCIAS DA COLUNA

PANEL DA ALMA - CISALHAMENTO

$M_{b1,Ed} = 20,47$ [kN*m]	Momento fletor (viga direita)	[5.3.(3)]
$M_{b2,Ed} = 0,00$ [kN*m]	Momento fletor (viga esquerda)	[5.3.(3)]
$V_{c1,Ed} = 8,11$ [kN]	Força de cisalhamento (coluna inferior)	[5.3.(3)]
$V_{c2,Ed} = 0,00$ [kN]	Força de cisalhamento (coluna superior)	[5.3.(3)]
$z = 239$ [mm]	Braço da alavanca	[8.2.5]
$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}) / z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}) / 2$		
$V_{wp,Ed} = 81,54$ [kN]	Força de cisalhamento no painel da alma	[5.3.(3)]
$A_{vs} = 2209$ [mm ²]	Área de cisalhamento da alma do pilar	EN1993-1-1:[8.2.6.(3)]
$A_{vc} = 2209$ [mm ²]	Área de cisalhamento	EN1993-1-1:[8.2.6.(3)]
$d_s = 350$ [mm]	Distância entre os centrioides dos enrijecedores	[8.2.6.1.(4)]
$M_{pl,t,Rd} = 0,97$ [kN*m]	Resistência plástica da mesa da coluna em flexão	[8.2.6.1.(4)]
$M_{pl,stu,Rd} = 0,59$ [kN*m]	Resistência plástica do enrijecedor transversal superior em flexão	[8.2.6.1.(4)]
$M_{pl,sti,Rd} = 0,59$ [kN*m]	Resistência plástica do enrijecedor transversal inferior em flexão	[8.2.6.1.(4)]
$V_{wp,Rd} = 0,9 (A_{vs} f_{yc} / \sqrt{3} \gamma_{M0}) + \text{Min}(4 M_{pl,t,Rd} / d_s, (2 M_{pl,t,Rd} + M_{pl,stu,Rd} + M_{pl,sti,Rd}) / d_s)$		
$V_{wp,Rd} = 324,62$ [kN]	Resistência do painel da alma do pilar em cisalhamento	[8.2.6.1]
$V_{wp,Ed} / V_{wp,Rd} \leq 1,0$	$0,25 < 1,00$	verificado (0,25)

ALMA - COMPRESSÃO TRANSVERSAL - NÍVEL DA MESA INFERIOR DA VIGA

Apoios:

$t_{wc} = 7$ [mm]	Espessura efetiva da alma do pilar	[8.2.6.2.(6)]
$b_{\text{eff},c,wc} = 186$ [mm]	Largura efetiva da alma em compressão	[8.2.6.2.(1)]
$A_{vc} = 2209$ [mm ²]	Área de cisalhamento	EN1993-1-1:[8.2.6.(3)]
$\omega = 0,84$	Fator de redução para a interação com o cisalhamento	[8.2.6.2.(1)]
$\sigma_{\text{com},Ed} = 99,17$ [MPa]	Tensão de compressão máxima na alma	[8.2.6.2.(2)]
$k_{wc} = 1,00$	Fator de redução condicionado pelas tensões de compressão	[8.2.6.2.(2)]
$A_s = 1027$ [mm ²]	Área do enrijecedor da alma	EN1993-1-1:[8.2.4]
$F_{c,wc,Rd1} = \omega k_{wc} b_{\text{eff},c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} + A_s f_{ys} / \gamma_{M0}$		
$F_{c,wc,Rd1} = 567,75$ [kN]	Resistência da alma do pilar	[8.2.6.2.(1)]
Flambagem:		
$d_{wc} = 220$ [mm]	Altura da alma comprimida	[8.2.6.2.(1)]
$\lambda_p = 1,05$	Esbeltez da placa de um elemento	[8.2.6.2.(1)]
$\rho = 0,77$	Fator de redução para a flambagem do elemento	[8.2.6.2.(1)]
$\lambda_s = 5,50$	Esbeltez do enrijecedor	EN1993-1-1:[8.3.1.2]
$\chi_s = 1,00$	Coefficiente de flambagem do enrijecedor	EN1993-1-1:[8.3.1.2]
$F_{c,wc,Rd2} = \omega k_{wc} \rho_{\text{eff},c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M1} + A_s \chi_s f_{ys} / \gamma_{M1}$		
$F_{c,wc,Rd2} = 503,14$ [kN]	Resistência da alma do pilar	[8.2.6.2.(1)]
Resistência final:		
$F_{c,wc,Rd,low} = \text{Min}(F_{c,wc,Rd1}, F_{c,wc,Rd2})$		
$F_{c,wc,Rd,low} = 503,14$ [kN]	Resistência da alma do pilar	[8.2.6.2.(1)]

PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DA CONEXÃO

COMPRIMENTOS EFETIVOS E PARÂMETROS - MESA DA COLUNA

Nr	m	m_x	e	e_x	p	$l_{\text{eff},op}$	$l_{\text{eff},no}$	$l_{\text{eff},1}$	$l_{\text{eff},2}$	$l_{\text{eff},op,g}$	$l_{\text{eff},no,g}$	$l_{\text{eff},1,g}$	$l_{\text{eff},2,g}$
1	20	-	33	-	70	124	134	124	134	132	109	109	109
2	20	-	33	-	80	124	119	119	119	160	80	80	80
3	20	-	33	-	80	124	119	119	119	160	80	80	80

Nr	m	m _x	e	e _x	p	l _{eff,op}	l _{eff,no}	l _{eff,1}	l _{eff,2}	l _{eff,op,g}	l _{eff,no,g}	l _{eff,1,g}	l _{eff,2,g}
4	20	-	33	-	70	124	129	124	129	132	104	104	104
5	20	-	33	-	72	124	142	124	142	134	119	119	119

COMPRIMENTOS EFETIVOS E PARAMETROS - PLACA DIANTEIRA

Nr	m	m _x	e	e _x	p	l _{eff,op}	l _{eff,no}	l _{eff,1}	l _{eff,2}	l _{eff,op,g}	l _{eff,no,g}	l _{eff,1,g}	l _{eff,2,g}
1	27	-	33	-	70	169	174	169	174	154	135	135	135
2	27	-	33	-	80	169	148	148	148	160	80	80	80
3	27	-	33	-	80	169	148	148	148	160	80	80	80
4	27	-	33	-	70	169	148	148	148	154	109	109	109
5	27	16	33	25	72	101	68	68	68	-	-	-	-

m – Distância entre o parafuso e a alma

m_x – Distância entre o parafuso e a mesa da viga

e – Distância entre o parafuso e a borda exterior

e_x – Distância entre o parafuso e a borda exterior horizontal

p – Distância entre parafusos

l_{eff,op} – Comprimento efetivo para um parafuso no modo de falha circular

l_{eff,no} – Comprimento efetivo para um parafuso no modo de falha não circular

l_{eff,1} – Comprimento efetivo para um parafuso para o modo 1

l_{eff,2} – Comprimento efetivo para um parafuso para o modo 2

l_{eff,op,g} – Comprimento efetivo para um grupo de parafusos no modo de falha circular

l_{eff,no,g} – Comprimento efetivo para um grupo de parafusos no modo de falha não circular

l_{eff,1,g} – Comprimento efetivo para um grupo de parafusos para o modo 1

l_{eff,2,g} – Comprimento efetivo para um grupo de parafusos para o modo 2

RESISTÊNCIA DA CONEXÃO À TRAÇÃO

$F_{t,Rd} = 113,04$ [kN] Resistência do parafuso a tensão [Tabela 3.4]

$B_{p,Rd} = 124,50$ [kN] Resistência do parafuso ao cisalhamento de punção [Tabela 3.4]

$N_{l,Rd} = \text{Min}(N_{tb,Rd}, n_v n_h F_{t,Rd}, n_v n_h B_{p,Rd})$

$N_{l,Rd} = 552,75$ [kN] Resistência da conexão à tração [6.2]

$N_{b1,Ed} / N_{l,Rd} \leq 1,0$ $0,03 < 1,00$ **verificado** (0,03)

RESISTÊNCIA DA CONEXÃO À FLEXÃO

$F_{t,Rd} = 113,04$ [kN] Resistência do parafuso a tensão [Tabela 3.4]

$B_{p,Rd} = 124,50$ [kN] Resistência do parafuso ao cisalhamento de punção [Tabela 3.4]

$F_{t,t,Rd}$ – resistência da mesa da coluna devida a flexão

$F_{t,wc,Rd}$ – resistência da alma do pilar devida a tensão

$F_{t,ep,Rd}$ – resistência da placa frontal devida a flexão

$F_{t,wb,Rd}$ – resistência da alma em tensão

$F_{t,t,Rd} = \text{Min}(F_{T,1,t,Rd}, F_{T,2,t,Rd}, F_{T,3,t,Rd})$ [6.2.6.4] , [Tab.6.2]

$F_{t,wc,Rd} = \omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0}$ [6.2.6.3.(1)]

$F_{t,ep,Rd} = \text{Min}(F_{T,1,ep,Rd}, F_{T,2,ep,Rd}, F_{T,3,ep,Rd})$ [6.2.6.5] , [Tab.6.2]

$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}$ [6.2.6.8.(1)]

RESISTÊNCIA DA LINHA DE PARAFUSOS Nº 1

$F_{t,Rd,comp}$ - Fórmula	$F_{t,Rd,comp}$	Componente
$F_{t,Rd} = \text{Min}(F_{t,Rd,comp})$	110,58	Resistência da linha de parafusos
$F_{t,t,Rd(1)} = 168,71$	168,71	Mesa da coluna - tração
$F_{t,wc,Rd(1)} = 207,01$	207,01	Alma do pilar - tração
$F_{t,ep,Rd(1)} = 110,58$	110,58	Placa dianteira - tração
$F_{t,wb,Rd(1)} = 231,91$	231,91	Alma da viga - tração
$B_{p,Rd} = 249,00$	249,00	Parafusos devido à punção de cisalhamento
$V_{wp,Rd}/\beta = 324,62$	324,62	Painel da alma - cortante
$F_{c,wc,Rd} = 503,14$	503,14	Alma do pilar - compressão
$F_{c,tb,Rd} = 376,65$	376,65	Mesa da viga - compressão
$F_{c,wb,Rd} = 123,68$	123,68	Alma da viga - compressão

RESISTÊNCIA DA LINHA DE PARAFUSOS Nº 2

F _{t2,Rd,comp} - Fórmula	F _{t2,Rd,comp}	Componente
$F_{t2,Rd} = \text{Min}(F_{t2,Rd,comp})$	13,10	Resistência da linha de parafusos
$F_{t,fc,Rd(2)} = 164,14$	164,14	Mesa da coluna - tração
$F_{t,wc,Rd(2)} = 200,78$	200,78	Alma do pilar - tração
$F_{t,ep,Rd(2)} = 97,04$	97,04	Placa dianteira - tração
$F_{t,wb,Rd(2)} = 203,50$	203,50	Alma da viga - tração
$B_{p,Rd} = 249,00$	249,00	Parafusos devido à punção de cisalhamento
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^1 F_{t,Rd} = 324,62 - 110,58$	214,04	Painel da alma - cortante
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^1 F_{t,Rd} = 503,14 - 110,58$	392,55	Alma do pilar - compressão
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^1 F_{t,Rd} = 378,85 - 110,58$	266,07	Mesa da viga - compressão
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^1 F_{t,Rd} = 123,88 - 110,58$	13,10	Alma da viga - compressão
$F_{t,fc,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{t,Rd} = 274,28 - 110,58$	163,70	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{t,Rd} = 288,28 - 110,58$	177,70	Alma do pilar - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{t,Rd} = 141,00 - 110,58$	30,41	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{t,Rd} = 295,69 - 110,58$	185,10	Alma da viga - tração - grupo

RESISTÊNCIA DA LINHA DE PARAFUSOS Nº 3

F _{t3,Rd,comp} - Fórmula	F _{t3,Rd,comp}	Componente
$F_{t3,Rd} = \text{Min}(F_{t3,Rd,comp})$	0,00	Resistência da linha de parafusos
$F_{t,fc,Rd(3)} = 164,14$	164,14	Mesa da coluna - tração
$F_{t,wc,Rd(3)} = 200,78$	200,78	Alma do pilar - tração
$F_{t,ep,Rd(3)} = 97,04$	97,04	Placa dianteira - tração
$F_{t,wb,Rd(3)} = 203,50$	203,50	Alma da viga - tração
$B_{p,Rd} = 249,00$	249,00	Parafusos devido à punção de cisalhamento
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^2 F_{t,Rd} = 324,62 - 123,68$	200,94	Painel da alma - cortante
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^2 F_{t,Rd} = 503,14 - 123,68$	379,45	Alma do pilar - compressão
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^2 F_{t,Rd} = 378,85 - 123,68$	252,97	Mesa da viga - compressão
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^2 F_{t,Rd} = 123,88 - 123,68$	0,00	Alma da viga - compressão
$F_{t,fc,Rd(3+2)} - \sum_1^2 F_{t,Rd} = 232,37 - 13,10$	219,27	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(3+2)} - \sum_1^2 F_{t,Rd} = 254,99 - 13,10$	241,89	Alma do pilar - tração - grupo
$F_{t,fc,Rd(3+2+1)} - \sum_1^2 F_{t,Rd} = 390,47 - 123,68$	266,78	Mesa da coluna - tração - grupo
$F_{t,wc,Rd(3+2+1)} - \sum_1^2 F_{t,Rd} = 359,88 - 123,68$	236,19	Alma do pilar - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum_1^2 F_{t,Rd} = 104,91 - 13,10$	91,80	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum_1^2 F_{t,Rd} = 220,00 - 13,10$	206,90	Alma da viga - tração - grupo
$F_{t,ep,Rd(3+2+1)} - \sum_1^2 F_{t,Rd} = 193,45 - 123,68$	69,76	Placa dianteira - tração - grupo
$F_{t,wb,Rd(3+2+1)} - \sum_1^2 F_{t,Rd} = 405,69 - 123,68$	282,00	Alma da viga - tração - grupo

Os parafusos remanescentes são inativos (não transferem cargas) porque a resistência de um dos componentes de conexão está esgotado ou os parafusos se situam abaixo do centro de rotação.

TABELA DE RESUMO DAS FORÇAS

Nr	h _j	F _{tj,Rd}	F _{t,fc,Rd}	F _{t,wc,Rd}	F _{t,ep,Rd}	F _{t,wb,Rd}	F _{t,Rd}	B _{p,Rd}
1	274	110,58	168,71	207,01	110,58	231,91	226,08	249,00
2	204	13,10	164,14	200,78	97,04	203,50	226,08	249,00
3	114	-	164,14	200,78	97,04	203,50	226,08	249,00
4	44	-	167,23	207,01	97,04	203,50	226,08	249,00
5	-36	-	171,58	207,01	73,86	-	226,08	249,00

RESISTÊNCIA DA CONEXÃO À FLEXÃO M_{j,Rd}

$$M_{j,Rd} = \sum h_j F_{tj,Rd}$$

$$M_{j,Rd} = 32,99 \text{ [kN}\cdot\text{m]} \quad \text{Resistência da conexão à flexão} \quad [6.2]$$

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,62 < 1,00 \quad \text{verificado} \quad (0,62)$$

RESISTÊNCIA DA CONEXÃO AO CISALHAMENTO

$$\alpha_v = 0,60 \quad \text{Coeficiente para o cálculo de } F_{v,Rd} \quad [\text{Tabela 3.4}]$$

$$\beta_{Lr} = 0,98 \quad \text{Coeficiente de redução para as conexões longas} \quad [3.8]$$

$$F_{v,Rd} = 94,40 \text{ [kN]} \quad \text{Resistência de um parafuso ao cisalhamento} \quad [\text{Tabela 3.4}]$$

$\alpha_v = 0,60$ Coeficiente para o cálculo de $F_{v,Rd}$ [Tabela 3.4]
 $F_{t,Rd,max} = 113,04$ [kN] Resistência de um parafuso à tensão [Tabela 3.4]
 $F_{b,Rd,int} = 110,08$ [kN] Resistência portante de um parafuso intermediário [Tabela 3.4]
 $F_{b,Rd,ext} = 107,43$ [kN] Resistência portante do parafuso mais externo [Tabela 3.4]

Nr	$F_{t,Rd,N}$	$F_{t,Ed,N}$	$F_{t,Rd,M}$	$F_{t,Ed,M}$	$F_{t,Ed}$	$F_{v,Rd}$
1	226,08	3,39	110,58	68,62	72,01	145,84
2	226,08	3,39	13,10	8,13	11,52	181,92
3	226,08	3,39	0,00	0,00	3,39	186,77
4	226,08	3,39	0,00	0,00	3,39	186,77
5	226,08	3,39	0,00	0,00	3,39	186,77

$F_{t,Rd,N}$ – Resistência da linha de parafusos para tensão simples
 $F_{t,Ed,N}$ – Força em uma linha de parafusos devido à força axial
 $F_{t,Rd,M}$ – Resistência da linha de parafusos para flexão simples
 $F_{t,Ed,M}$ – Força em uma linha de parafusos devido ao momento
 $F_{t,Ed}$ – Força de tração máxima em uma linha de parafusos
 $F_{v,Rd}$ – Resistência reduzida da linha de parafusos

$$F_{t,Ed,N} = N_{i,Ed} F_{t,Rd,N} / N_{i,Rd}$$

$$F_{t,Ed,M} = M_{i,Ed} F_{t,Rd,M} / M_{i,Rd}$$

$$F_{t,Ed} = F_{t,Ed,N} + F_{t,Ed,M}$$

$$F_{v,Rd} = \text{Min} (\eta_h F_{v,Ed} (1 - F_{t,Ed} / (1.4 \eta_h F_{t,Rd,max})), \eta_h F_{v,Rd}, \eta_h F_{b,Rd})$$

$$V_{j,Rd} = \eta_h \sum 1^n F_{v,Rd}$$

$V_{j,Rd} = 888,09$ [kN] Resistência da conexão ao cisalhamento [Tabela 3.4]

$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0$ $0,02 < 1,00$ **verificado** (0,02)

RESISTÊNCIA DA SOLDA

$A_w = 5937$ [mm²] Área de todas as soldas [4.5.3.2(2)]

$A_{wH} = 3280$ [mm²] Área das soldas horizontais [4.5.3.2(2)]

$A_{wV} = 2657$ [mm²] Área das soldas verticais [4.5.3.2(2)]

$I_{wy} = 74921542$ [mm⁴] Momento de inércia da disposição de soldas com relação ao eixo horizontal [4.5.3.2(5)]

$\sigma_{\perp,max} = \tau_{\perp,max} = 31,99$ [MPa] Tensão normal em uma solda [4.5.3.2(6)]

$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 28,06$ [MPa] Tensão na solda vertical [4.5.3.2(5)]

$\tau_{\parallel} = 5,98$ [MPa] Tensão tangente [4.5.3.2(5)]

$\beta_w = 0,85$ Coeficiente de correlação [4.5.3.2(7)]

$$\sqrt{(\sigma_{\perp,max}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp,max}^2))} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \quad 63,98 < 404,71 \quad \text{verificado} \quad (0,16)$$

$$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2))} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \quad 57,07 < 404,71 \quad \text{verificado} \quad (0,14)$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2} \quad 31,99 < 309,60 \quad \text{verificado} \quad (0,10)$$

RIGIDEZ DA CONEXÃO

$t_{wash} = 4$ [mm] Espessura da arruela [8.2.6.3.(2)]

$h_{head} = 12$ [mm] Altura da cabeça do parafuso [8.2.6.3.(2)]

$h_{nut} = 16$ [mm] Altura da porca do parafuso [8.2.6.3.(2)]

$L_p = 40$ [mm] Comprimento do parafuso [8.2.6.3.(2)]

$k_{10} = 6$ [mm] Coeficiente de rigidez dos parafusos [8.3.2.(1)]

RIGIDEZ DAS LINHAS DE PARAFUSOS

Nr	h_j	k_3	k_4	k_5	$k_{eff,j}$	$k_{eff,j} h_j$	$k_{eff,j} h_j^2$
					Soma	520	111382
1	274	2	14	3	1	263	72211
2	204	1	10	2	1	140	28540
3	114	1	10	2	1	78	8922
4	44	2	13	3	1	39	1709

$$k_{eff,j} = 1 / (\sum 3^5 (1 / k_{ij})) \quad [8.3.3.1.(2)]$$

$$z_{eq} = \sum k_{eff,j} h_j^2 / \sum k_{eff,j} h_j$$

$z_{eq} = 214$ [mm] Braço da força equivalente [8.3.3.1.(3)]

$k_{eq} = \sum k_{eqj} h_j / z_{eq}$	
$k_{eq} = 2$ [mm] Coeficiente de rigidez equivalente em uma disposição de parafusos	[6.3.3.1.(1)]
$A_{vc} = 2209$ [mm ²] Área de cisalhamento	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$\beta = 1,00$ Parâmetro de transformação	[5.3.(7)]
$z = 214$ [mm] Braço da alavanca	[6.2.5]
$k_1 = 4$ [mm] Coeficiente de rigidez do painel da alma do pilar sujeito a cisalhamento	[6.3.2.(1)]
$k_2 = \infty$ Coeficiente de rigidez da alma do pilar comprimida	[6.3.2.(1)]
$S_{j,ini} = E z_{eq}^2 / \sum (1 / k_1 + 1 / k_2 + 1 / k_{eq})$	[6.3.1.(4)]
$S_{j,ini} = 14098,84$ [kN*m] Rigidez rotacional inicial	[6.3.1.(4)]
$\mu = 1,00$ Coeficiente de rigidez de uma conexão	[6.3.1.(6)]
$S_j = S_{j,ini} / \mu$	[6.3.1.(4)]
$S_j = 14098,84$ [kN*m] Rigidez rotacional final	[6.3.1.(4)]
Classificação da conexão devido à rigidez.	
$S_{j,rig} = 2850,32$ [kN*m] Resistência de uma conexão rígida	[5.2.2.5]
$S_{j,rot} = 178,15$ [kN*m] Resistência de uma conexão rotulada	[5.2.2.5]
$S_{j,ini} \geq S_{j,rig}$ RÍGIDO	

COMPONENTE MAIS FRACO:

ALMA DA VIGA OU MESA DO REFORÇO - COMPRESSÃO

COMENTÁRIOS

O ângulo entre a mesa do reforço e a mesa da viga é maior que 45 graus $56,0$ [Deg] > $45,0$ [Deg]

A conexão está em conformidade com a norma.	Relação	0,62
--	---------	------

Nó Central Rotulado da Torre onde convergem todas as travessas

Este nó foi projetado de modo que em cada um dos pórticos que compõem a torre não haja transmissão de momentos fletores recorrendo unicamente a soldaduras localizadas nas almas dos perfis das travessas.

A geometria deste nó consta das peças desenhadas que acompanham este TFM.

XX. ANEXO XX - DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS DE BETÃO ARMADO

Torre Central de Alimentação

As paredes da torre foram dimensionadas a partir da mesma folha de cálculo em “Excel” utilizada no silo de retenção.

Os resultados obtidos foram comparados com os determinados no *software* “GaLa Reinforcement”.

Dimensionamento aos Estados Limites Últimos

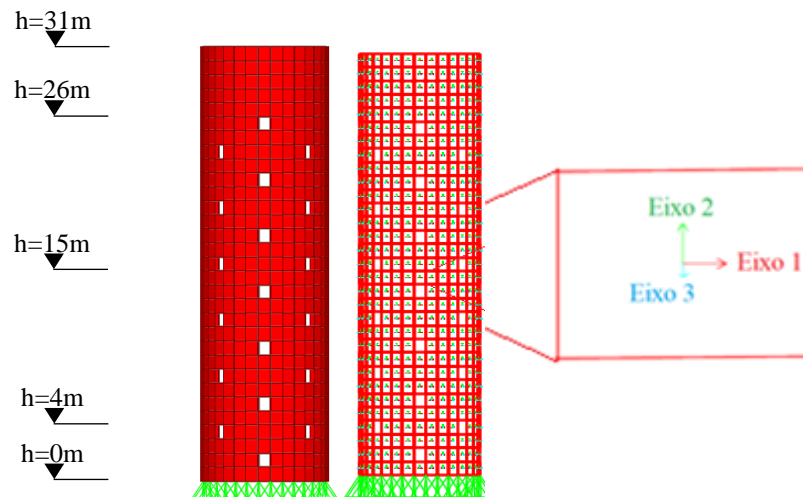


Figura 211 - Paredes da torre central - Cotas altimétricas e eixos locais das lajes

Na Figura 212 mostram-se as envolventes máximas e mínimas dos esforços referentes aos ELU nas paredes da torre:

- Esforços axiais de tração F_{11} , F_{22} e F_{12} [kN/m];
- Momentos fletores positivos e negativos M_{11} e M_{22} [kN.m/m];
- Momentos torsores positivos e negativos M_{12} ;
- Esforços transversos V_{13} e V_{23} [kN/m].

- Envolvente dos esforços para os ELU

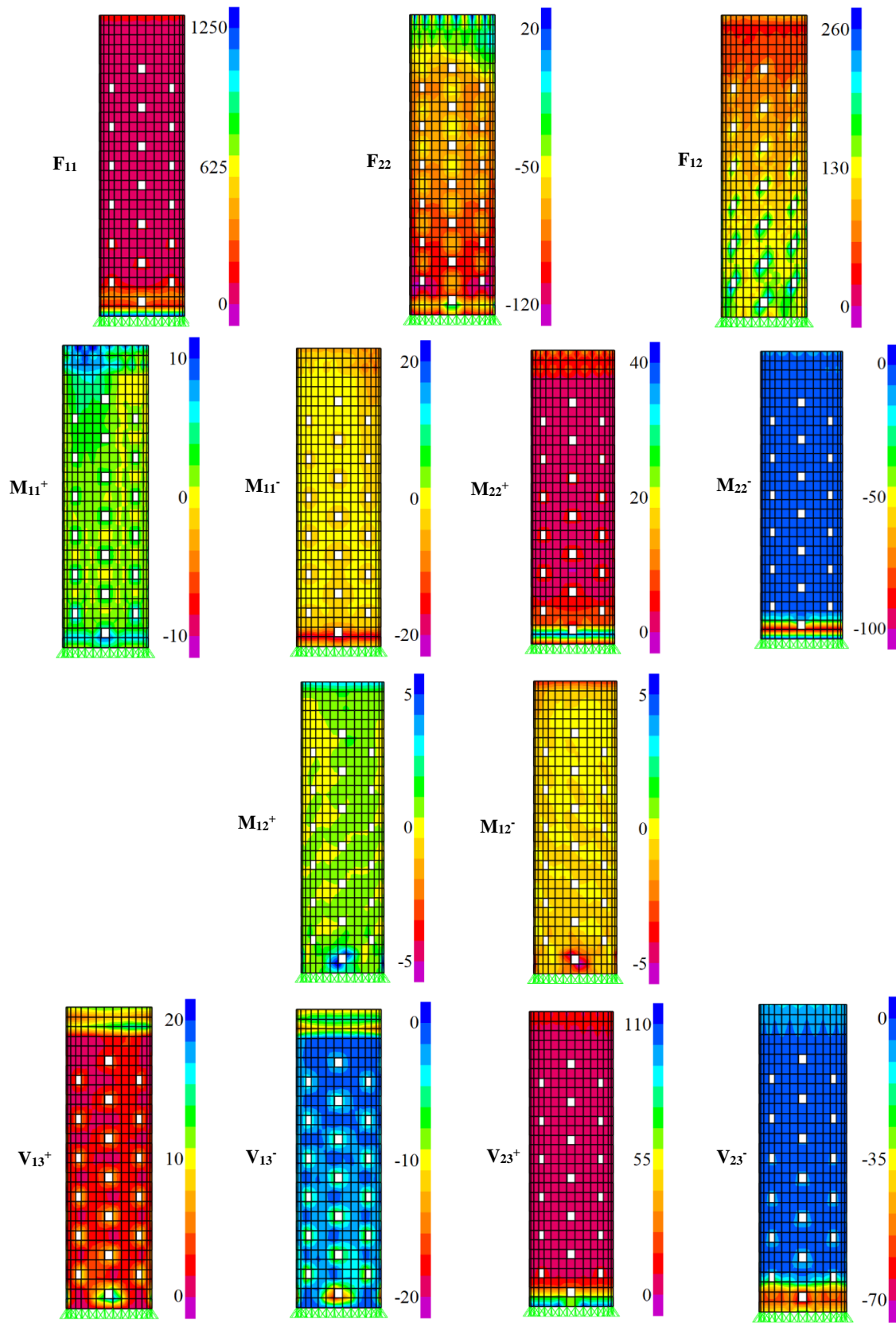


Figura 212 - Envolventes dos esforços

a) Folha de cálculo do dimensionamento das paredes

Tabela 116 - Armaduras circunferenciais segundo o eixo 1

Faixa horizontal	Combinação de Ações	b _t [cm]	h [cm]	d _{radiais} [cm]	A _{sh,min} [cm ² /m]	θ [°]	F ₁₁ [kN/m]	F ₁₂ [kN/m]	M ₁₁ [kN.m/m]	M ₁₂ [kN.m/m]	V ₁₃ [kN/m]	V ₂₃ [kN/m]	A _{s,cal} [cm ² /m]		Armadura		A _{s,adot} [cm ² /m]	
													Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior
0<h<4	ELU(T-)_W	100	30	27	3,0	45	1271,6	11,9	-1,6	-1,7	0,0	-30,6	15,1	14,4	φ10//0,05	φ10//0,05	15,8	15,8
	ELU(T-)_W	100	30	27	3,0	45	1271,1	20,7	3,0	0,7	1,0	-22,0	14,5	15,2				
4<h<15	ELU(S2)	100	30	27	3,0	45	172,7	260,4	8,7	0,0	13,2	6,1	4,4	6,0	φ10//0,075	φ10//0,075	10,5	10,5
	ELU(S2)	100	30	27	3,0	45	173,1	260,1	8,8	0,0	13,2	6,2	4,4	6,0				
15<h<26	ELU(S2)	100	30	27	3,0	45	90,3	184,1	4,4	0,0	9,8	3,5	2,9	3,7	φ10//0,075	φ10//0,075	10,5	10,5
	ELU(S2)	100	30	27	3,0	45	90,8	182,7	4,8	0,0	9,6	3,6	2,8	3,7				
26<h<31	ELU(W)_SC_I_T-	100	30	27	3,0	45	38,4	228,8	-2,5	-1,8	-8,1	3,9	3,6	2,8	φ10//0,075	φ10//0,075	10,5	10,5
	ELU(S2)	100	30	27	3,0	45	192,4	151,6	9,7	2,8	9,7	14,1	2,9	5,3				

Tabela 117 - Armaduras verticais segundo o eixo 2

Faixa horizontal	Combinação de Ações	b _t [cm]	h [cm]	d _{radiais} [cm]	A _{sv,min} [cm ² /m]	A _{sv,máx} [cm ² /m]	θ [°]	F ₂₂ [kN/m]	F ₁₂ [kN/m]	M ₂₂ [kN.m/m]	M ₁₂ [kN.m/m]	V ₁₃ [kN/m]	V ₂₃ [kN/m]	A _{s,cal} [cm ² /m]		Armadura		A _{s,adot} [cm ² /m]	
														Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior
0<h<4	ELU(T+)_W	100	30	26	6,0	120,0	45	-373,4	30,4	-152,1	-4,1	-25,9	-138,0	13,3	0,0	φ12//0,075	φ12//0,075	15,1	15,1
	ELU(T-)_W	100	30	26	6,0	120,0	45	-335,0	33,5	63,7	-1,7	-11,9	57,9	0,0	3,4				
4<h<15	ELU(S2)	100	30	26	6,0	120,0	45	-53,5	254,9	2,9	0,1	12,8	4,8	2,1	2,7	φ12//0,125	φ12//0,125	9,0	9,0
	ELU(S2)	100	30	26	6,0	120,0	45	-57,8	260,4	3,7	0,0	13,2	6,1	2,1	2,8				
15<h<26	ELU(S2)	100	30	26	6,0	120,0	45	-35,9	184,1	2,3	0,0	9,8	3,5	1,5	2,0	φ12//0,125	φ12//0,125	9,0	9,0
	ELU(S2)	100	30	26	6,0	120,0	45	-35,9	184,1	2,3	0,0	9,8	3,5	1,5	2,0				
26<h<31	ELU(W)_SC_I_T-	100	30	26	6,0	120,0	45	16,4	238,8	-5,8	-4,3	-15,9	8,7	4,1	2,1	φ12//0,125	φ12//0,125	9,0	9,0
	ELU(S2)	100	30	26	6,0	120,0	45	21,8	161,3	3,5	2,8	8,7	13,5	1,7	2,9				

b) Dimensionamento através do “GaLa Reinforcement”

Os resultados obtidos no “GaLa Reinforcement” para as armaduras circunferenciais e verticais nas faixas horizontais entre 0 e 4 metros são os seguintes:

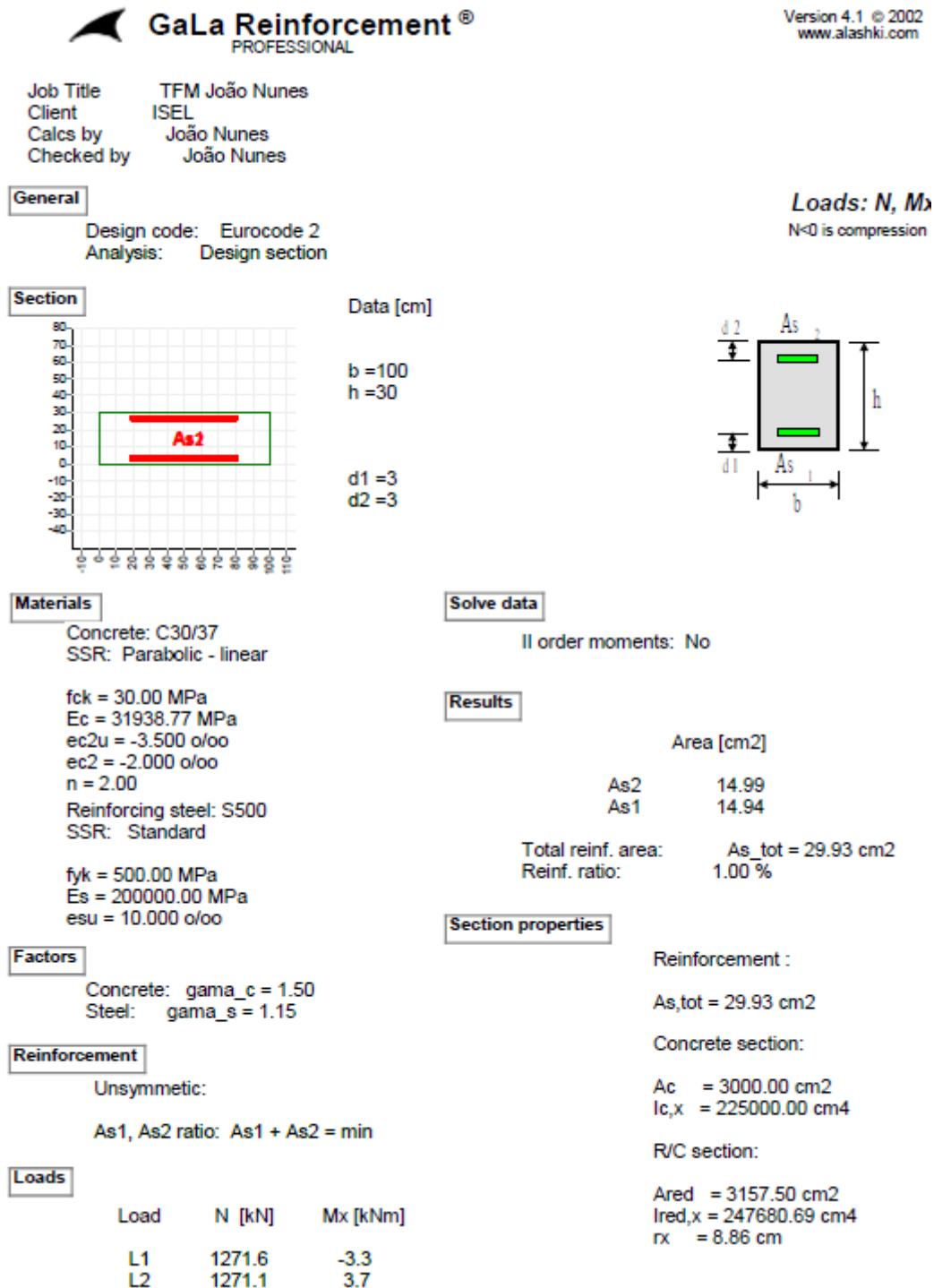


Figura 213 - Dimensionamento das armaduras circunferenciais - Faixas horizontais entre 0 e 4m

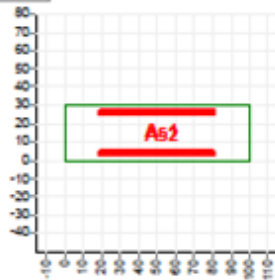
Job Title TFM João Nunes
Client ISEL
Calcs by João Nunes
Checked by João Nunes

General

Design code: Eurocode 2
Analysis: Design section

Loads: N, Mx
N<0 is compression!

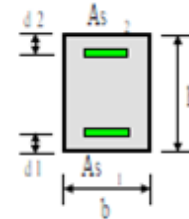
Section



Data [cm]

b = 100
h = 30

d1 = 4
d2 = 4



Materials

Concrete: C30/37
SSR: Parabolic - linear

fck = 30.00 MPa
Ec = 31938.77 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

Solve data

II order moments: No

Results

	Area [cm ²]
As2	1.86
As1	10.79
Total reinf. area:	As_tot = 12.65 cm ²
Reinf. ratio:	0.42 %

Factors

Concrete: gama_c = 1.50
Steel: gama_s = 1.15

Reinforcement

Unsymmetric:

As1, As2 ratio: As1 + As2 = min

Loads

Load	N [kN]	Mx [kNm]
L1	-373.4	-156.2
L2	-335	65.4

Section properties

Reinforcement :

As,tot = 12.65 cm²

Concrete section:

Ac = 3000.00 cm²
Ic,x = 225000.00 cm⁴

R/C section:

Ared = 3066.57 cm²
Ired,x = 233055.25 cm⁴
rx = 8.72 cm

Figura 214 - Dimensionamento das armaduras verticais - Faixas horizontais entre 0 e 4m

c) Comparação de resultados dos dois procedimentos

Tabela 118 - Faixas horizontais entre 0 e 4m

Armaduras de cálculo [cm ² /m]	Folha de Cálculo "Excel"	"GaLa Reinforcement"	Δ (%)
Circunferenciais Exteriores	15,1	14,9	1,3
Circunferenciais Interiores	15,2	15,0	1,3
Verticais Exteriores	13,3	10,8	18,8
Verticais Interiores	3,4	1,9	44,1

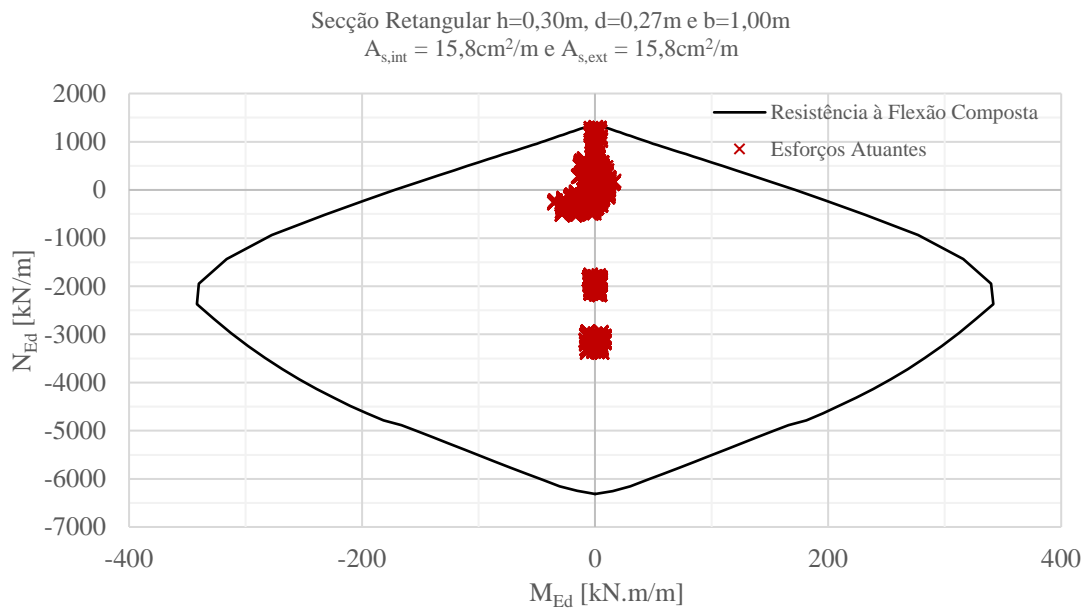


Figura 215 - Esforços circunferenciais na faixa horizontal entre 0 e 4m - Dimensionamento no “GaLa”

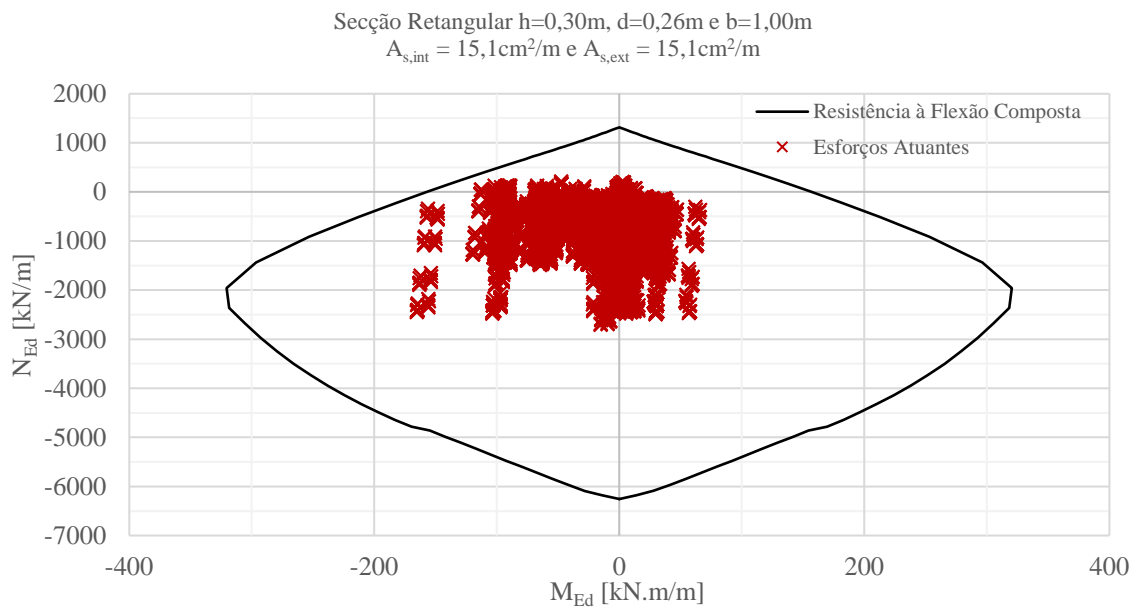


Figura 216 - Esforços verticais na faixa horizontal entre 0 e 4m - Dimensionamento no “GaLa”

Nota: Verifica-se, pois, a segurança aos ELU das paredes para as armaduras e classe de betão arbitrados.

d) Esforço Transverso

Tabela 119 - Dimensionamento ao esforço transverso

Faixa Horizontal Direção i	Combinação	$V_{Ed,i3}$ [kN/m]	$C_{Rd,c}$	d [mm]	k	A_{s1} [mm ² /m]		b_w [mm]	ρ_L	f_{ck} [MPa]	k_1	N_{Ed} [N/m]	A_c [mm ²]	f_{cd} [MPa]	σ_{cp} [MPa]	$V_{Rd,c}$ [kN/m]	$V_{Ed} < V_{Rd,c}$
						Ext	Int										
0<h<4 - 1	ELU(T+)_SC_W_I	30,3	0,12	270	1,86	1580	1580	1000	0,006	30	0,15	0	300000	20	0,000	156,7	Verifica
0<h<4 - 2	ELU(T+)_SC_W_I	147,8	0,12	260	1,88	1507	1507	1000	0,006	30	0,15	0	290000	20	0,000	151,7	Verifica
4<h<15 - 1	ELU(S2)	13,3	0,12	270	1,86	1053	1053	1000	0,004	30	0,15	0	300000	20	0,000	136,9	Verifica
4<h<15 - 2	ELU(S2)	19,6	0,12	260	1,88	904	904	1000	0,003	30	0,15	0	290000	20	0,000	128,2	Verifica
15<h<26 - 1	ELU(S2)	9,8	0,12	270	1,86	1053	1053	1000	0,004	30	0,15	0	300000	20	0,000	136,9	Verifica
15<h<26 - 2	ELU(S2)	14,4	0,12	260	1,88	904	904	1000	0,003	30	0,15	0	290000	20	0,000	128,2	Verifica
26<h<31 - 1	ELU(W)_I_T-	17,2	0,12	270	1,86	1053	1053	1000	0,004	30	0,15	0	300000	20	0,000	136,9	Verifica
26<h<31 - 2	ELU(S2)	14,3	0,12	260	1,88	904	904	1000	0,003	30	0,15	0	290000	20	0,000	128,2	Verifica

1.1.1.1. Estados Limites de Utilização

Para o estudo da fendilhação e deformação utilizaram-se os mesmos critérios de dimensionamento das paredes do silo de retenção.

a) Fendilhação

Tabela 120 - Armaduras mínimas de fendilhação - EC2-1

Faixa Horizontal - Direção i	k_c	h [m]	k	A_{ct} [cm ²]	$f_{ct,eff}$ [MPa]	f_{yk} [MPa]	$A_{s,min,horiz}$ [cm ² /m] por face
0<h<4 - 1	1	0,3	1	3000	2,9	500	8,70
4<h<31 - 1	1	0,3	1	3000	2,9	500	8,70

Recorreu-se, também, ao “*GaLa Reinforcement*” para o cálculo das aberturas de fendas. Na Figura 217 apresentam-se os resultados.

Tabela 121 - Cálculo de abertura de fendas - "GaLa Reinforcement"

Faixa Horizontal Direção i	N_{Ed} [kN/m]	M_{Ed} [kN.m/m]	ϵ_s [‰]	ϵ_c [‰]	S_{rm} [mm]	W_m [mm]	W_k [mm]	W_s [mm]	Segurança
0<h<4 - 1	102,4	0,4			Sem abertura de fendas				Verifica
	101,3	3,0			Sem abertura de fendas				Verifica
4<h<31 - 1	93,0	3,0	0,14	-	162,3	0,023	0,039	0,039	Verifica
	-62,0	4,9	0,00	-0,02	121,4	0,000	0,000	0,001	Verifica

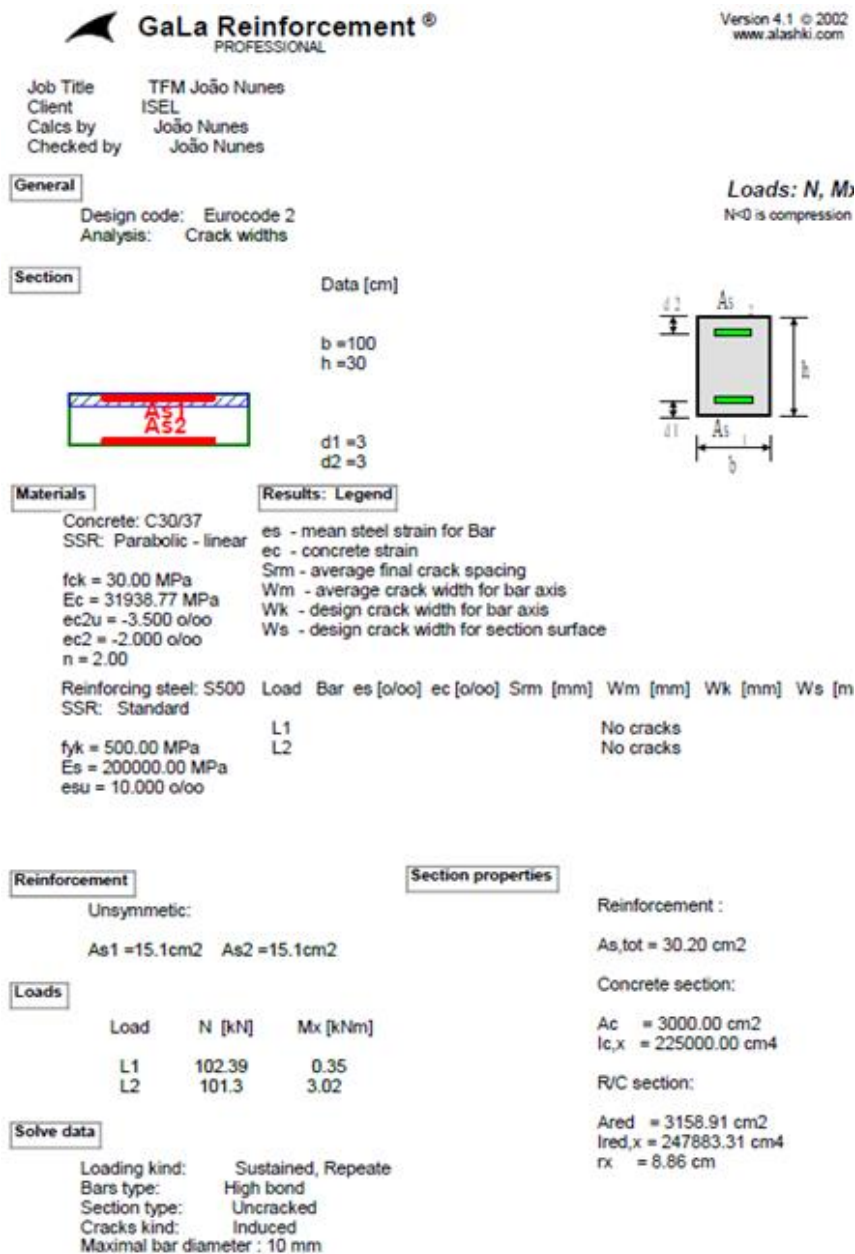


Figura 217 – Cálculo das aberturas de fendas - "GaLa Reinforcement"

b) Deformação

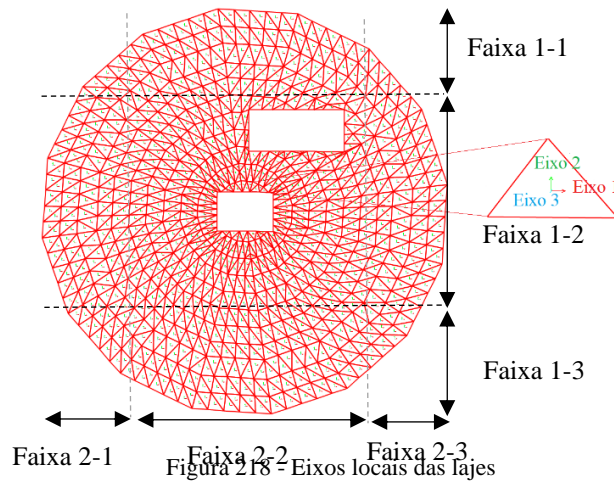
A deformação máxima no topo das paredes da torre não tem significado uma vez que é inferior a 5mm.

Lajes

As lajes foram dimensionadas a partir das envolventes máximas de esforços de cálculo do “SAP2000”, tendo-se usado uma folha em “Excel” para o cálculo de armaduras.

Os resultados foram comparados com os do “GaLa Reinforcement”.

Dimensionamento aos Estados Limites Últimos



Os momentos fletores máximos e mínimos foram calculados pelas expressões:

$$M_{11} > 0: M_{11,Ed} = M_{11} + |M_{12}| \quad (150)$$

$$M_{11} < 0: M_{11,Ed} = M_{11} - |M_{12}| \quad (151)$$

$$M_{22} > 0: M_{22,Ed} = M_{22} + |M_{12}| \quad (152)$$

$$M_{22} < 0: M_{22,Ed} = M_{22} - |M_{12}| \quad (153)$$

- **Envoltentes dos esforços para os ELU**

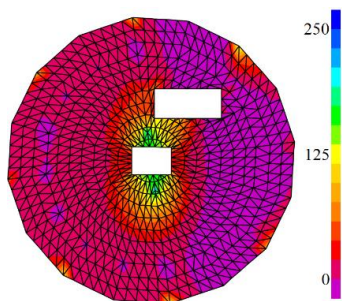


Figura 219 - Momentos fletores máximos positivos M_{11} [kN.m/m]

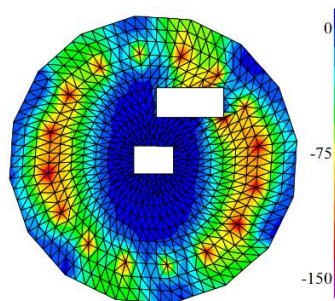


Figura 220 - Momentos fletores mínimos negativos M_{11} [kN.m/m]

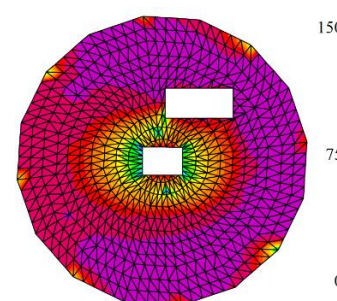


Figura 221 - Momentos fletores máximos positivos M_{22} [kN.m/m]

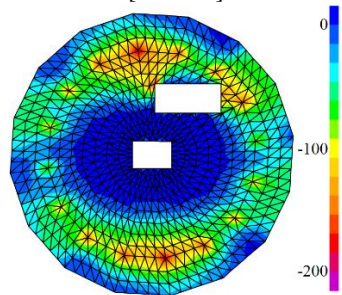


Figura 222 - Momentos fletores mínimos negativos M_{22} [kN.m/m]

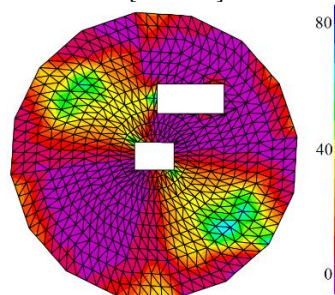


Figura 223 - Momentos torsesores máximos positivos M_{12} [kN.m/m]

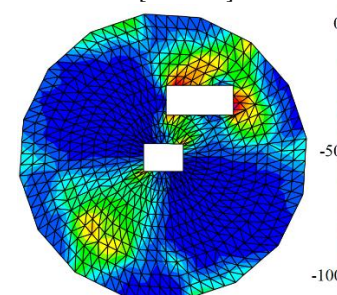


Figura 224 - Momentos torsesores mínimos negativos M_{12} [kN.m/m]

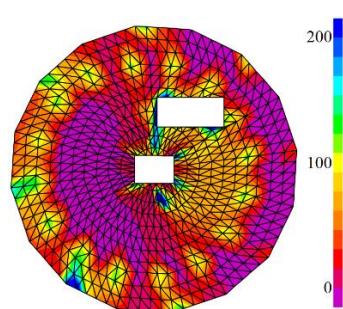


Figura 225 - Esforços transversos máximos V_{13} [kN/m]

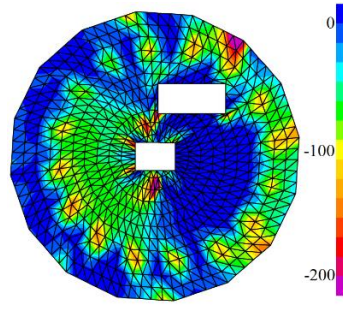


Figura 226 - Esforços transversos mínimos V_{13} [kN/m]

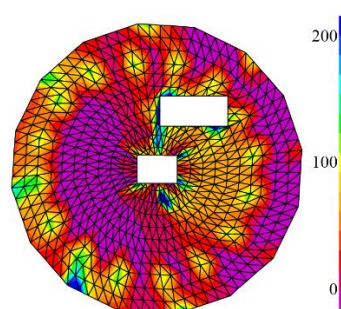


Figura 227 - Esforços transversos máximos V_{23} [kN/m]

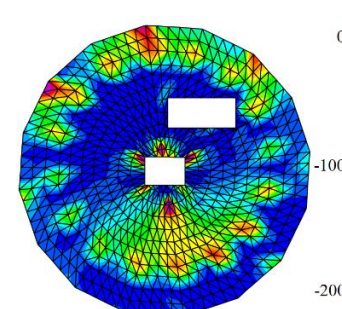


Figura 228 - Esforços transversos mínimos V_{23} [kN/m]

a) Folha de cálculo do dimensionamento das lajes

Tabela 122 - Armaduras segundo o eixo 1

Direção - Faixa	Combinação de Ações	b _t [cm]	h [cm]	d [cm]	A _{s,min} [cm ² /m]	A _{s,máx} [cm ² /m]	M ₁₁ [kN.m/m]	M ₁₂ [kN.m/m]	M _{Ed} [kN.m/m]	μ	ω	A _{s,cal} [cm ² /m]		Armadura		A _{s,adot} [cm ² /m]	
												Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
1-1	ELU(W)_SC_I_T+	100	32	29	4,4	128,0	159,4	-59,4	218,8	0,1	0,1		19,6	φ16//0,1	φ16//0,1	20,10	20,10
1-1	ELU(T+)_SC	100	32	29	4,4	128,0	-164,7	-37,7	-202,4	0,1	0,1	18,0					
1-1	ELU(T+)_SC_I	100	32	29	4,4	128,0	121,8	-80,4	202,2	0,1	0,1		18,0				
1-1	ELU(W)_SC_T+	100	32	29	4,4	128,0	-69,7	59,3	-129,0	0,1	0,1	11,0					
1-2	ELU(W)_SC_I_T-	100	32	29	4,4	128,0	233,2	17,9	251,1	0,1	0,2		22,9	φ20//0,2 + φ16//0,2	φ20//0,2 + //16//0,2	25,75	25,75
1-2	ELU(W)_SC_T+	100	32	29	4,4	128,0	-210,3	-17,1	-227,4	0,1	0,2	20,5					
1-2	ELU(W)_SC_T-	100	32	29	4,4	128,0	131,5	124,2	255,7	0,2	0,2		23,4				
1-2	ELU(W)_SC_T+	100	32	29	4,4	128,0	-111,3	-160,2	-271,5	0,2	0,2	25,0					
1-3	ELU(W)_SC_I_T+	100	32	29	4,4	128,0	170,3	29,7	200,0	0,1	0,1		17,7	φ16//0,1	φ16//0,1	20,10	20,10
1-3	ELU(W)_SC_T+	100	32	29	4,4	128,0	-172,8	57,8	-230,6	0,1	0,2	20,8					
1-3	ELU(W)_SC_I_T+	100	32	29	4,4	128,0	78,8	111,4	190,2	0,1	0,1		16,8				
1-3	ELU(T-)_SC	100	32	29	4,4	128,0	-42,6	-68,9	-111,5	0,1	0,1	9,4					

Tabela 123 - Armaduras segundo o eixo 2

Direção - Faixa	Combinação de Ações	b _t [cm]	h [cm]	d [cm]	A _{s,min} [cm ² /m]	A _{s,máx} [cm ² /m]	M ₂₂ [kN.m/m]	M ₁₂ [kN.m/m]	M _{Ed} [kN.m/m]	μ	ω	A _{s,cal} [cm ² /m]		Armadura		A _{s,adot} [cm ² /m]	
												Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
2-1	ELU(T-)_SC_I	100	32	29	4,4	128,0	119,2	41,6	160,9	0,1	0,1		14,0	φ16//0,1	φ16//0,1	20,10	20,10
2-1	ELU(T+)_SC	100	32	29	4,4	128,0	-150,8	-48,0	-198,9	0,1	0,1	17,6					
2-1	ELU(T-)_SC	100	32	29	4,4	128,0	-45,9	69,3	-115,3	0,1	0,1	9,8					
2-1	ELU(T+)_SC	100	32	29	4,4	128,0	-83,5	-68,2	-151,7	0,1	0,1	13,1					
2-2	ELU(W)_SC_I_T-	100	32	29	4,4	128,0	228,9	70,0	298,9	0,2	0,2		27,9	φ25//0,2 + φ20//0,2	φ20//0,1	40,25	31,40
2-2	ELU(T+)_SC_I	100	32	29	4,4	128,0	-323,3	61,5	-384,8	0,2	0,3	37,5					
2-2	ELU(W)_SC_T-	100	32	29	4,4	128,0	-30,3	124,2	-154,5	0,1	0,1	13,4					
2-2	ELU(W)_SC_T+	100	32	29	4,4	128,0	-20,2	-160,2	-180,3	0,1	0,1	15,8					
2-3	ELU(W)_SC_T-	100	32	29	4,4	128,0	135,9	103,9	239,8	0,1	0,2		21,7	φ16//0,1	φ20//0,2 + //16//0,2	20,10	25,75
2-3	ELU(W)_SC_I_T+	100	32	29	4,4	128,0	-154,7	-43,1	-197,9	0,1	0,1	17,5					
2-3	ELU(W)_SC_I_T+	100	32	29	4,4	128,0	132,9	111,4	244,3	0,1	0,2		22,2				
2-3	ELU(W)_SC_T-	100	32	29	4,4	128,0	-85,2	-63,0	-148,2	0,1	0,1	12,8					

b) Dimensionamento através do “GaLa Reinforcement”

Junta-se o cálculo das armaduras nas faixas nº2 segundo os eixos 1 e 2 realizadas neste *software*.

GaLa Reinforcement
PROFESSIONAL

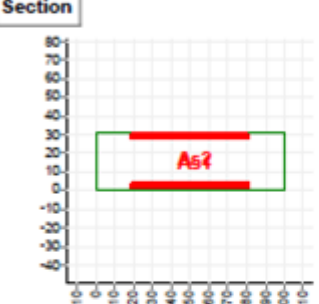
Version 4.1 © 2002
www.alashki.com

Job Title: TFM João Nunes
Client: ISEL
Calcs by: João Nunes
Checked by: João Nunes

General
Design code: Eurocode 2
Analysis: Design section

Loads: N, M
N<0 is compression

Section



Data [cm]
b = 100
h = 32
d1 = 3
d2 = 3

Materials
Concrete: C30/37
SSR: Parabolic - linear
fck = 30.00 MPa
Ec = 31938.77 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

Solve data
II order moments: No

Results

	Area [cm ²]
As2	22.05
As1	24.02
Total reinf. area:	As_tot = 46.08 cm ²
Reinf. ratio:	1.44 %

Section properties

Reinforcement :
As,tot = 46.08 cm²

Concrete section:
Ac = 3200.00 cm²
Ic,x = 273066.67 cm⁴

R/C section:
Ared = 3442.46 cm²
Ired,x = 314042.97 cm⁴
rx = 9.55 cm

Factors
Concrete: gama_c = 1.50
Steel: gama_s = 1.15

Reinforcement
Unsymmetric:
As1, As2 ratio: As1 + As2 = min

Loads

Load	N [kN]	Mx [kNm]
L1	0	255.7
L2	0	-271.5

Figura 229 - Dimensionamento das armaduras segundo o eixo 1

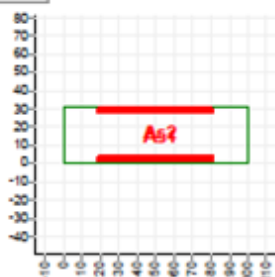
Job Title TFM João Nunes
Client ISEL
Calcs by João Nunes
Checked by João Nunes

General

Design code: Eurocode 2
Analysis: Design section

Loads: N, M
 $N < 0$ is compression

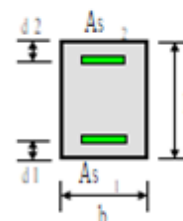
Section



Data [cm]

$b = 100$
 $h = 32$

$d1 = 3$
 $d2 = 3$



Materials

Concrete: C30/37
SSR: Parabolic - linear

$f_{ck} = 30.00$ MPa
 $E_c = 31938.77$ 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

Solve data

II order moments: No

Results

	Area [cm ²]
As2	25.88
As1	34.32
Total reinf. area:	As_tot = 60.20 cm ²
Reinf. ratio:	1.88 %

Section properties

Reinforcement :

As,tot = 60.20 cm²

Concrete section:

Ac = 3200.00 cm²
Ic,x = 273066.67 cm⁴

R/C section:

Ared = 3516.75 cm²
Ired,x = 326597.87 cm⁴
rx = 9.64 cm

Factors

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

Reinforcement

Unsymmetric:

As1, As2 ratio: $As1 + As2 = \min$

Loads

Load	N [kN]	Mx [kNm]
L1	0	298.9
L2	0	-384.8

Figura 230 - Dimensionamento das armaduras segundo o eixo 2

c) Comparação de resultados dos dois procedimentos

Tabela 124 - Faixa 2

Armaduras de cálculo [cm ² /m]	Folha de Cálculo "Excel"	"GaLa Reinforcement"	Δ (%)
Eixo 1 - Superiores	25,0	24,0	4,0
Eixo 1 - Inferiores	23,4	22,0	5,9
Eixo 2 -Superiores	37,5	34,3	8,5
Eixo 2 - Inferiores	27,9	25,9	7,2

d) Esforço Transverso

Tabela 125 - Valor de cálculo do esforço transverso resistente sem armadura

Faixa Horizontal Direção i	Combinação	V _{Ed,i3} [kN/m]	C _{Rd,c}	d [mm]	k	A _{s1} [mm ² /m]		b _w [mm]	ρ _L	f _{ck} [MPa]	k ₁	N _{Ed} [N/m]	A _c [mm ²]	f _{cd} [MPa]	σ _{cp} [MPa]	V _{Rd,c} [kN/m]	V _{Ed} <V _{Rd,c}	V _{Rd,c,min} [kN/m]
						Eixo i3 Sup	Inf											
Abertura Central-1	ELU(T-)_SC_W	226,0	0,12	290	1,83	2575	2575	1000	0,009	30	0,15	0	320000	20	0,000	190,2	Não Verifica	137,7
Abertura Central-2	ELU(T-)_SC_W	277,0	0,12	290	1,83	4025	3140	1000	0,011	30	0,15	0	320000	20	0,000	203,2	Não Verifica	137,7
Abertura Superior -1	ELU(T-)_SC_W	269,0	0,12	290	1,83	2010	2010	1000	0,007	30	0,15	0	320000	20	0,000	175,2	Não Verifica	137,7
Abertura Superior -2	ELU(T-)_SC_W	247,0	0,12	290	1,83	2010	2575	1000	0,007	30	0,15	0	320000	20	0,000	175,2	Não Verifica	137,7
Pilares Centrais - 1	ELU(T-)_SC_W	215,8	0,12	290	1,83	2575	2575	1000	0,009	30	0,15	0	320000	20	0,000	190,2	Não Verifica	137,7
Pilares Centrais - 2	ELU(T-)_SC_W	239,6	0,12	290	1,83	4025	3140	1000	0,011	30	0,15	0	320000	20	0,000	203,2	Não Verifica	137,7
Pilares Torre Metálica - 1	ELU(T-)_SC_W	277,1	0,12	290	1,83	2010	2010	1000	0,007	30	0,15	0	320000	20	0,000	175,2	Não Verifica	137,7
Pilares Torre Metálica - 2	ELU(T-)_SC_W	266,0	0,12	290	1,83	2010	2010	1000	0,007	30	0,15	0	320000	20	0,000	175,2	Não Verifica	137,7

Tabela 126 - Valor de cálculo do esforço transverso resistente com armaduras

Faixa Horizontal Direção i	Combinação	V _{Ed,i3} [kN/m]	α _{cw}	b _w [m]	d [m]	z [m]	f _{ck} [MPa]	v ₁	f _{cd} [MPa]	θ [°]	V _{Rd,max} [kN/m]	f _{ywk} [MPa]	f _{ywd} [MPa]	A _{sw/s} [cm ² /m]	φ	//	A _{sw/s,adot} [cm ² /m]	A _{sw/s,max} [cm ² /m]	A _{sw/s,min} [cm ² /m]	s _{1,max} [m]
Abertura Central-1	ELU(T-)_SC_W	226	1	1	0,29	0,26	30	0,53	20	45	1378	500	435	19,9	16	0,075	26,8	121,4	8,8	0,4
Abertura Central-2	ELU(T-)_SC_W	277	1	1	0,29	0,26	30	0,53	20	45	1378	500	435	24,4	16	0,075	26,8	121,4	8,8	0,4
Abertura Superior -1	ELU(T-)_SC_W	269	1	1	0,29	0,26	30	0,53	20	45	1378	500	435	23,7	16	0,075	26,8	121,4	8,8	0,4
Abertura Superior -2	ELU(T-)_SC_W	247	1	1	0,29	0,26	30	0,53	20	45	1378	500	435	21,8	16	0,075	26,8	121,4	8,8	0,4
Pilares Centrais - 1	ELU(T-)_SC_W	216	1	1	0,29	0,26	30	0,53	20	45	1378	500	435	19,0	16	0,075	26,8	121,4	8,8	0,4
Pilares Centrais - 2	ELU(T-)_SC_W	240	1	1	0,29	0,26	30	0,53	20	45	1378	500	435	21,1	16	0,075	26,8	121,4	8,8	0,4
Pilares Torre Metálica - 1	ELU(T-)_SC_W	277	1	1	0,29	0,26	30	0,53	20	45	1378	500	435	24,4	16	0,075	26,8	121,4	8,8	0,4
Pilares Torre Metálica - 2	ELU(T-)_SC_W	266	1	1	0,29	0,26	30	0,53	20	45	1378	500	435	23,4	16	0,075	26,8	121,4	8,8	0,4

Estados Limites de Utilização

a) Fendilhação

A verificação da fendilhação foi feita no “*GaLa Reinforcement*”.

Tabela 127 - Armaduras mínimas de fendilhação - EC2-1

Direção i - Faixa Horizontal	k_c	h [m]	k	A_{ct} [cm ²]	$f_{ct,eff}$ [MPa]	f_{yk} [MPa]	$A_{s,min,horiz}$ [cm ² /m] por face
1-1	0,4	0,32	0,986	1600	C30/37	2,9	A500
1-2	0,4	0,32	0,986	1600	C30/37	2,9	A500
1-3	0,4	0,32	0,986	1600	C30/37	2,9	A500
2-1	0,4	0,32	0,986	1600	C30/37	2,9	A500
2-2	0,4	0,32	0,986	1600	C30/37	2,9	A500
2-3	0,4	0,32	0,986	1600	C30/37	2,9	A500

Na tabela seguinte indicam-se os resultados obtidos para a abertura de fendas nas diversas secções da laje e na Figura 231 o relatório de cálculo do “*GaLa*”.

Tabela 128 - Cálculo de abertura de fendas - "*GaLa Reinforcement*"

Direção i Faixa Horizontal	M_{Ed} [kN.m/m]	ϵ_s [‰]	ϵ_c [‰]	S_{rm} [mm]	W_m [mm]	W_k [mm]	W_s [mm]	Segurança
1-1	93,7	0,72	-0,29	109,7	0,079	0,135	0,153	Verifica
1-2	91,2	0,54	-0,25	108,3	0,058	0,099	0,113	Verifica
1-3	98,1	0,77	-0,30	109,7	0,085	0,144	0,164	Verifica
2-1	138,9	1,20	-0,43	109,7	0,132	0,224	0,255	Verifica
2-2	129,8	0,70	-0,31	109,7	0,077	0,131	0,150	Verifica
2-3	135,7	0,92	-0,38	108,3	0,099	0,169	0,193	Verifica

Job Title TFM João Nunes
Client ISEL
Calcs by João Nunes
Checked by João Nunes

General

Design code: Eurocode 2
Analysis: Crack widths

Loads: N, M)

N<0 is compression

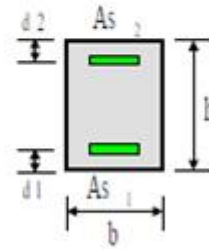
Section

Data [cm]

b = 100
h = 32



d1 = 3
d2 = 3



Materials

Concrete: C30/37
SSR: Parabolic - linear

fck = 30.00 MPa
Ec = 31938.77 MPa
ec2u = -3.500 o/o
ec2 = -2.000 o/o
n = 2.00
Reinforcing steel: S500
SSR: Standard

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

Results: Legend

es - mean steel strain for Bar
ec - concrete strain
Srm - average final crack spacing
Wm - average crack width for bar axis
Wk - design crack width for bar axis
Ws - design crack width for section surface

Load	Bar	es [o/o]	ec [o/o]	Srm [mm]	Wm [mm]	Wk [mm]	Ws [m]
L1	2	0.54	-0.25	108.252	0.05836	0.09922	0.11327

Reinforcement

Unsymmetric:

As1 = 25.75cm² As2 = 25.75cm²

Section properties

Reinforcement :

As,tot = 51.50 cm²

Concrete section:

Ac = 3200.00 cm²
Ic,x = 273066.67 cm⁴

R/C section:

Ared = 3470.99 cm²
Ired,x = 318864.33 cm⁴
rx = 9.58 cm

Loads

Load	N [kN]	Mx [kNm]
L1	0	91.2

Solve data

Loading kind: Sustained, Repeated
Bars type: High bond
Section type: Closed cracks
Cracks kind: Induced
Maximal bar diameter : 20 mm

Figura 231 – Cálculo das aberturas de fendas - “GaLa Reinforcement” - Eixo 1 Faixa 2

b) Deformação

O estudo da deformação foi feito segundo o método dos coeficientes globais.

Do modelo de cálculo automático retirou-se a flecha máxima instantânea elástica e registou-se na mesma secção o momento quase permanente.

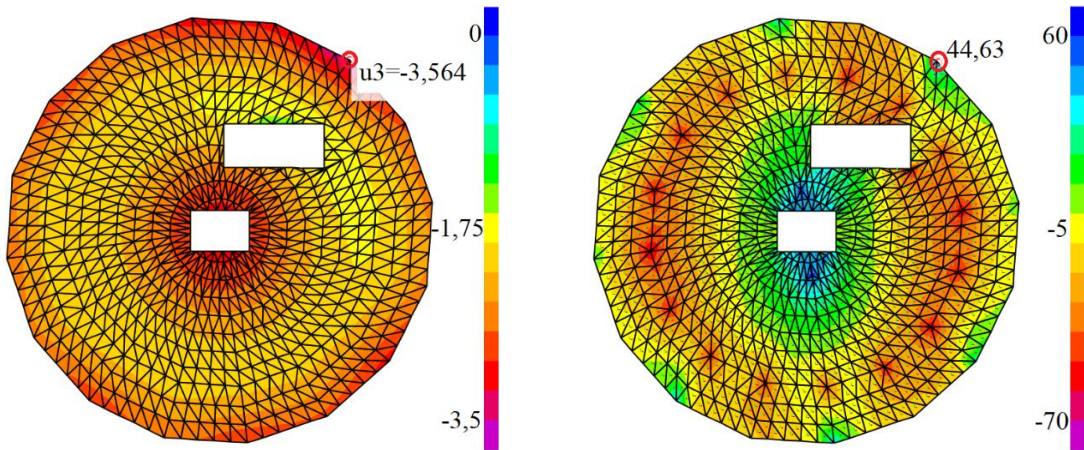


Figura 232 - Flecha [mm] e momento quase permanente [kN.m/m]

Tabela 129 - Flecha elástica, M_{QP} e momento de fendilhação

a_c [mm]	M_{QP} [kN.m/m]	b [m]	h [m]	Betão	f_{ctm} [MPa]	M_{cr} [kN.m/m]
3,564	44,63	1	0,32	C30/37	2,9	49,49

Concluiu-se que não ocorre fendilhação na zona em análise uma vez que o momento quase permanente é inferior ao momento de fendilhação.

Tabela 130 - Parâmetros de dimensionamento

E_{cm} [GPa]	E_s [GPa]	d [m]	$A_{s,inf}$ [cm ² /m]	$A_{s,sup}$ [cm ² /m]
33	200	0,29	20,1	20,1

Tabela 131 - Coeficientes globais

α	ρ [%]	$\alpha\rho$	β'	d/h
6,06	0,69	0,04	1	0,91

Tabela 132 - Flecha a curto prazo para secção não fendilhada

I_t/I_c	$a_{1,0}$ [mm]	a_0 [mm]	$L_{vão}/250$ [mm]	Segurança
1,19	2,99	2,99	7,0	Verifica

Tabela 133 - Coeficientes globais

φ	$E_{c,eff}$ [GPa]	α	ρ [%]	$\alpha\rho$	β'	d/h
1,5	13,9	14,43	0,69	0,10	1	0,91

Tabela 134 - Flecha a curto prazo para secção não fendilhada

I_f/I_C	$a_{1,\infty}$ [mm]	a_∞ [mm]	$L_{vão}/250$ [mm]	Segurança
1,38	6,4	6,4	7,0	Verifica

XXI. PEÇAS DESENHADAS

Desenho nº1 - Implantação - Planta e Alçado

Desenho nº2 - Implantação - Plata e Gomo Tipo da Cobertura do *Stock*

Desenho nº3 - Cobertura Metálica do *Stock* - Asna Tipo e Pormenores - Apoios

Desenho nº4 - Cobertura Metálica do *Stock* - Asna Tipo e Pormenores - *Goussets* e Ligações

Desenho nº5 - Cobertura Metálica do *Stock* - Asna Tipo e Pormenores - Ligações Aparafusadas e Soldadas

Desenho nº6 - Torre Metálica - Pavimento Metálico e Pormenores

Desenho nº7 - Torre Metálica - Cobertura da Torre Metálica e Pormenores

Desenho nº8 - Torre Metálica - Pórtico Principal e Pormenores 01

Desenho nº9 - Torre Metálica - Pórtico Principal e Pormenores 02

Desenho nº10 - Torre Metálica - Alçados Laterais e Pormenores

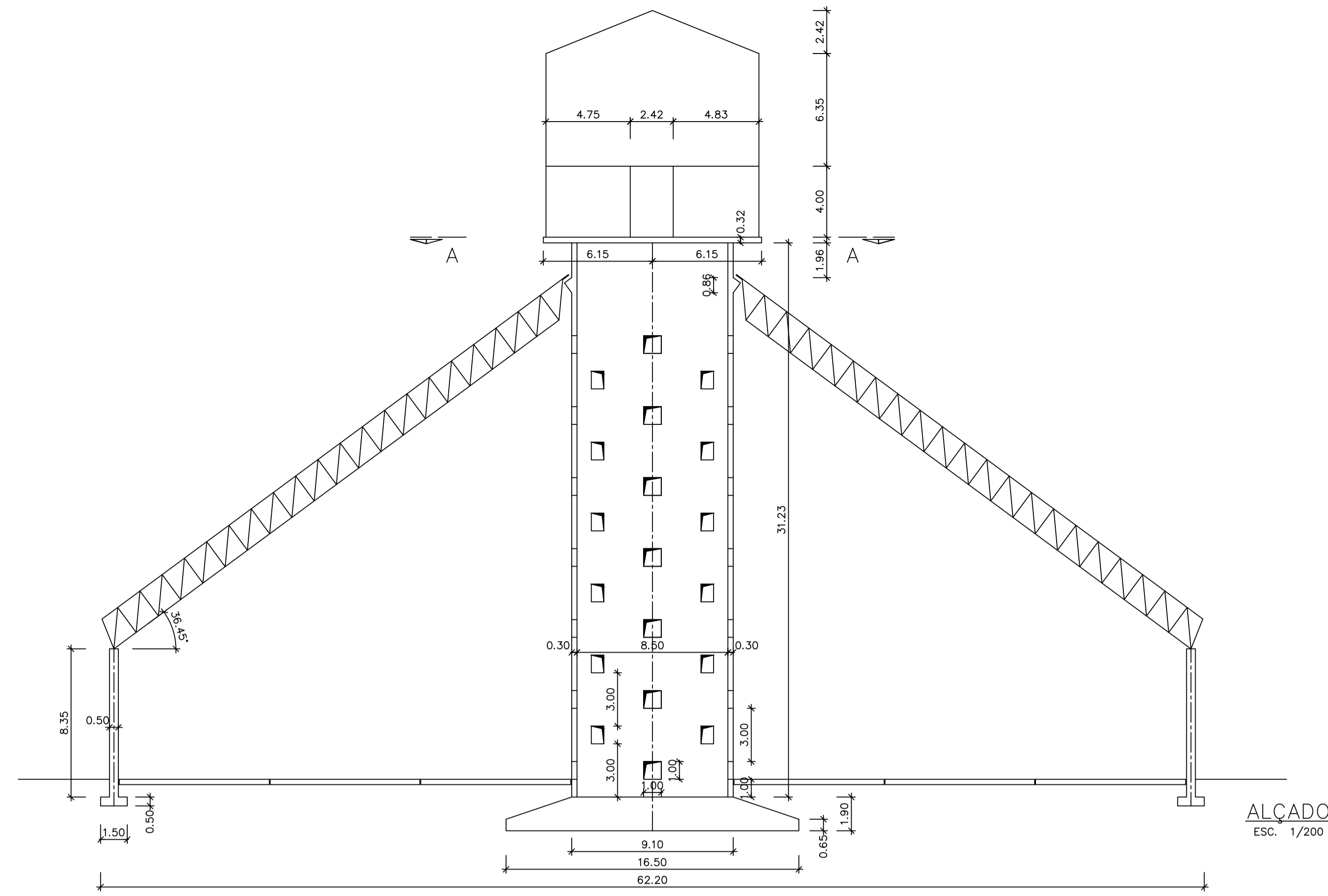
Desenho nº11 - Torre Central de Betão Armado e Pormenores - Geometria

Desenho nº12 - Torre Central de Betão Armado e Pormenores - Dimensionamento

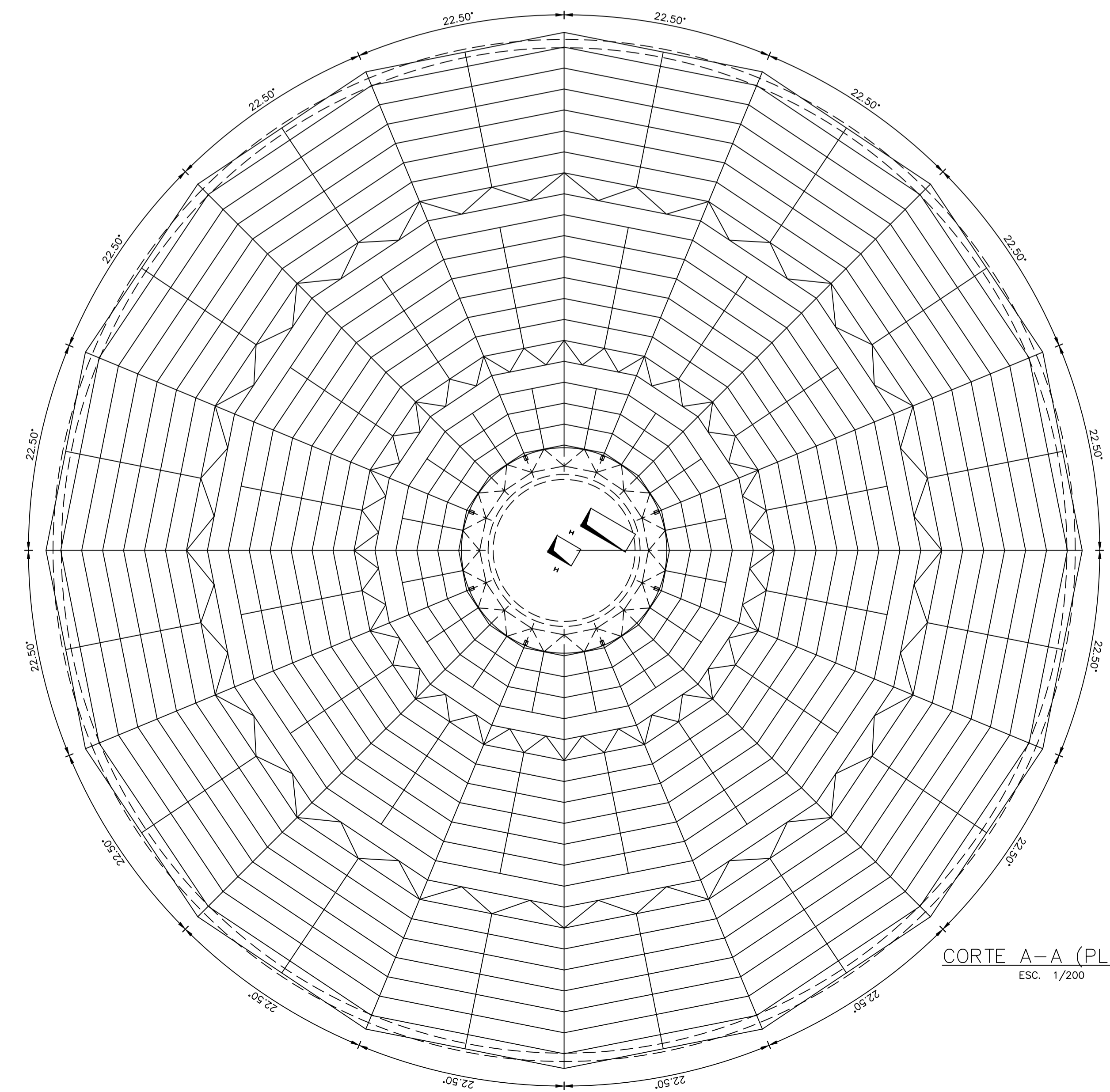
Desenho nº13 - Laje - Geometria e Dimensionamento

Desenho nº14 - Silo de Retenção, Apoio Deslizante e Pormenores - Geometria e Dimensionamento

Desenho nº15 - Sapata da Torre Central - Geometria e Dimensionamento



ALÇADO
ESC. 1/200



CORTE A-A (PLANTA)
ESC. 1/200

DESENHOS A CONSULTAR

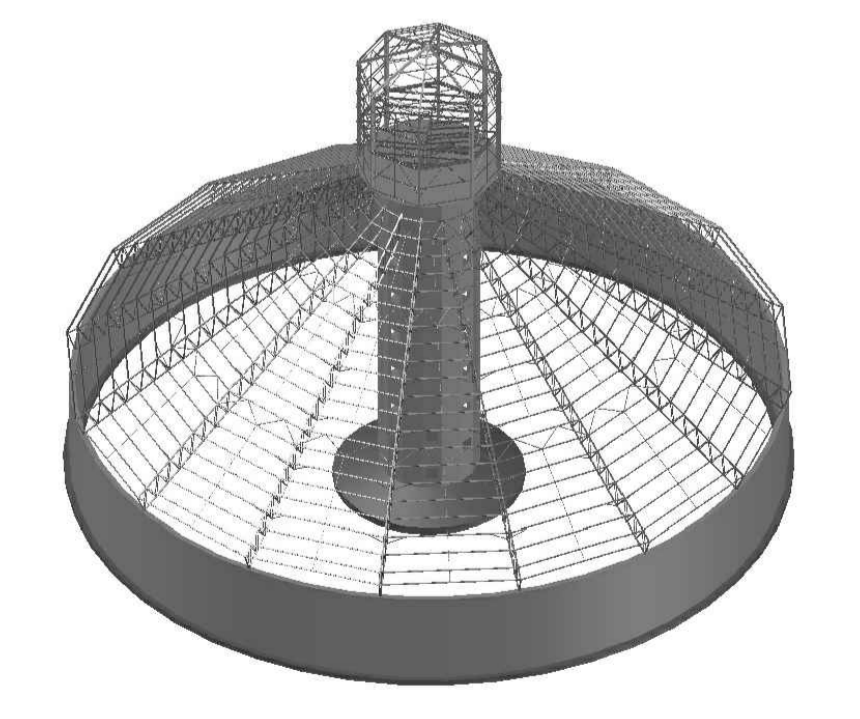
- DESENHO N° 02 - IMPLANTAÇÃO - PLANTA E COMO TIPO DA COBERTURA DO STOCK
- DESENHO N° 03 - COBERTURA METÁLICA DO STOCK - ASNA TIPO E PORMENORES - APOIOS
- DESENHO N° 04 - COBERTURA METÁLICA DO STOCK - ASNA TIPO E PORMENORES - GOUSSETS E LIGAÇÕES SOLDADAS
- DESENHO N° 05 - COBERTURA METÁLICA DO STOCK - ASNA TIPO E PORMENORES - LIG. APARAFUSADAS E SOLDADAS
- DESENHO N° 06 - TORRE METÁLICA - PAVIMENTO METÁLICO E PORMENORES
- DESENHO N° 07 - TORRE METÁLICA - COBERTURA DA TORRE METÁLICA E PORMENORES
- DESENHO N° 08 - TORRE METÁLICA - PÓRТИCO PRINCIPAL E PORMENORES 01
- DESENHO N° 09 - TORRE METÁLICA - PÓRТИCO PRINCIPAL E PORMENORES 02
- DESENHO N° 10 - TORRE METÁLICA - ALÇADOS LATERAIS E PORMENORES
- DESENHO N° 11 - TORRE CENTRAL DE BETÃO ARMADO E PORMENORES - GEOMETRIA
- DESENHO N° 12 - TORRE CENTRAL DE BETÃO ARMADO E PORMENORES - DIMENSIONAMENTO
- DESENHO N° 13 - LAJE - GEOMETRIA E DIMENSIONAMENTO
- DESENHO N° 14 - SILO DE RETENÇÃO, APOIO DESLIZANTE E PORMENORES - GEOMETRIA E DIMENSIONAMENTO
- DESENHO N° 15 - SAPATA DA TORRE CENTRAL - GEOMETRIA E DIMENSIONAMENTO

MATERIAIS

ESTRUTURAS METÁLICAS (EN 10025 E 10210-1)	
ELEMENTOS METÁLICOS	S275JR
PERFIS E CHAPAS BASE	S275JR
PARAFUSOS	ISO 272, ISO 7411
PARAFUSOS EM GERAL	CLASSE 5.6
PARAFUSOS PRÉ-ESFORÇADOS	CLASSE 8.8 E 10.9

ALÇADO
A500NR

BETÃO (NP EN 206)	CLASSE DE RESISTENCIA	TIPO DE CIMENTO	ÍNDICE DE CLORETO	CLASSE ESTRUTURAL	D _{max}	A/C	DOSAGEM MIN DE CIMENTO	C _{min}
SILO DE RETENÇÃO	C30/37	CEM I	Cl 0,4	S4	20mm	0,60	280kg/m ³	30mm
TORRE CENTRAL	C30/37	CEM I	Cl 0,4	S4	20mm	0,60	280kg/m ³	30mm
LAJE	C30/37	CEM I	Cl 0,4	S3	20mm	0,60	280kg/m ³	30mm
SAPATAS DE FUNDAÇÃO	C30/37	CEM I	Cl 0,4	S3	20mm	0,65	240kg/m ³	50mm



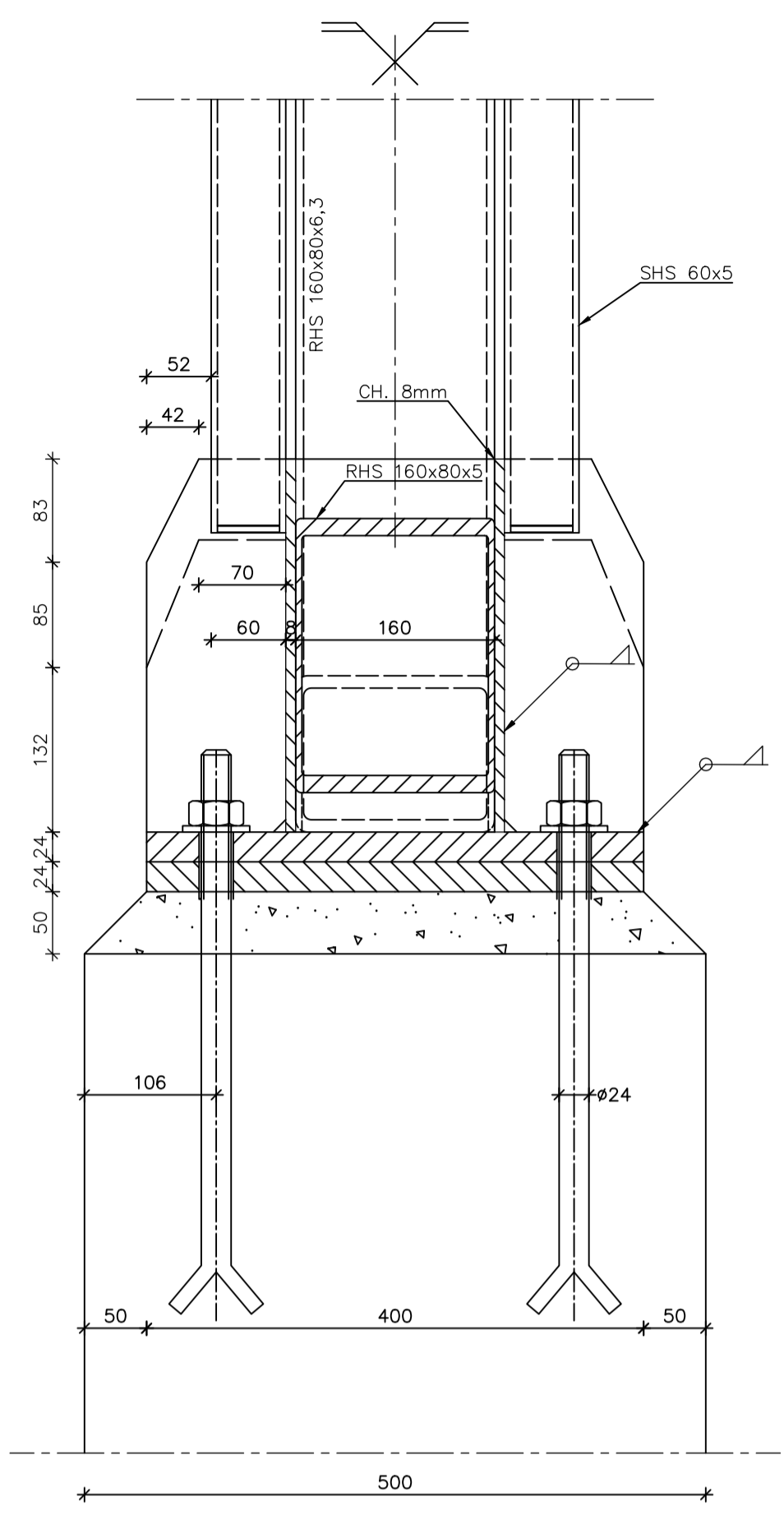
STOCK POLAR DE ARMAZENAMENTO DE CLÍNQUER	
ESTRUTURA METÁLICA E ESTRUTURA DE BETÃO ARMADO	
ANTEPROJETO	IMPLANTAÇÃO PLANTA E ALÇADO
Projectou: JOÃO NUNES JUNHO/2021	Desenho N°
Desenhou: JOÃO NUNES JUNHO/2021	DESENHO N° 01
Revisou:	0
Verificou:	
Aprovou:	Substitui:
Fact. plot. : 1=200	Arquivo:
	Subs. por:
	Escalas
	1:200
	1:100



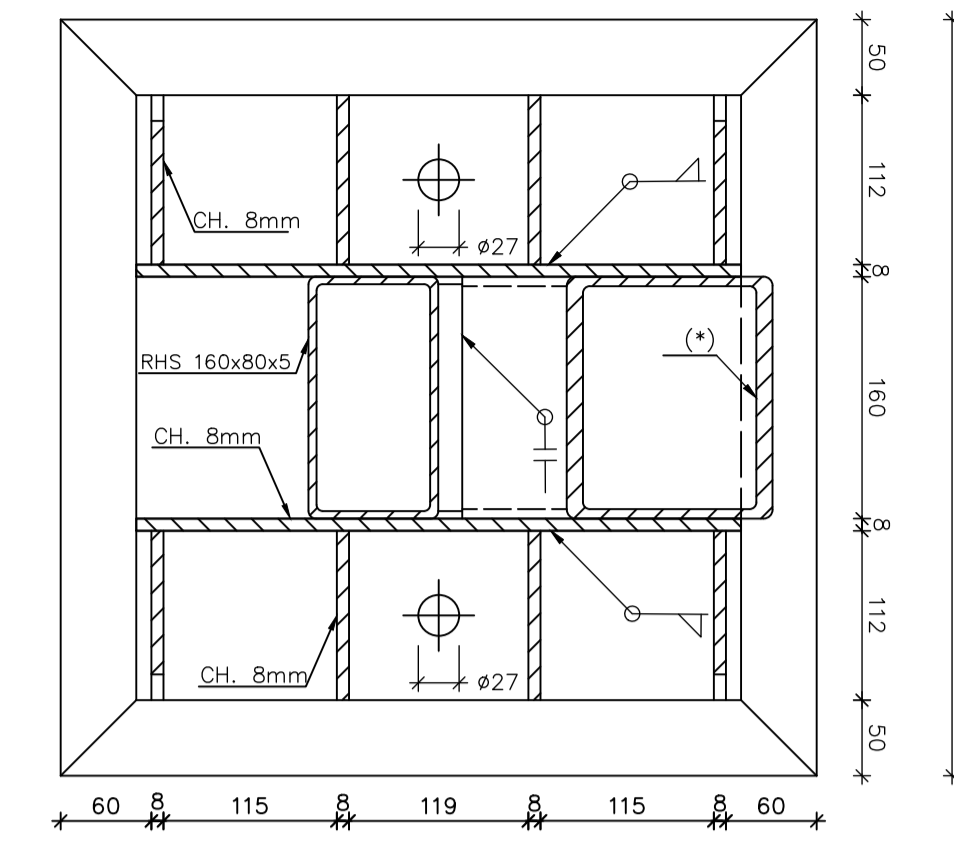
SOLDADURAS			
SÍMBOLO	Montagem	PORMENOR	SÍMBOLO
Oficina	Montagem	Oficina	Montagem

VERIFICAÇÃO DAS SOLDADURAS
 RX par raios "X"
 US par ultra sons

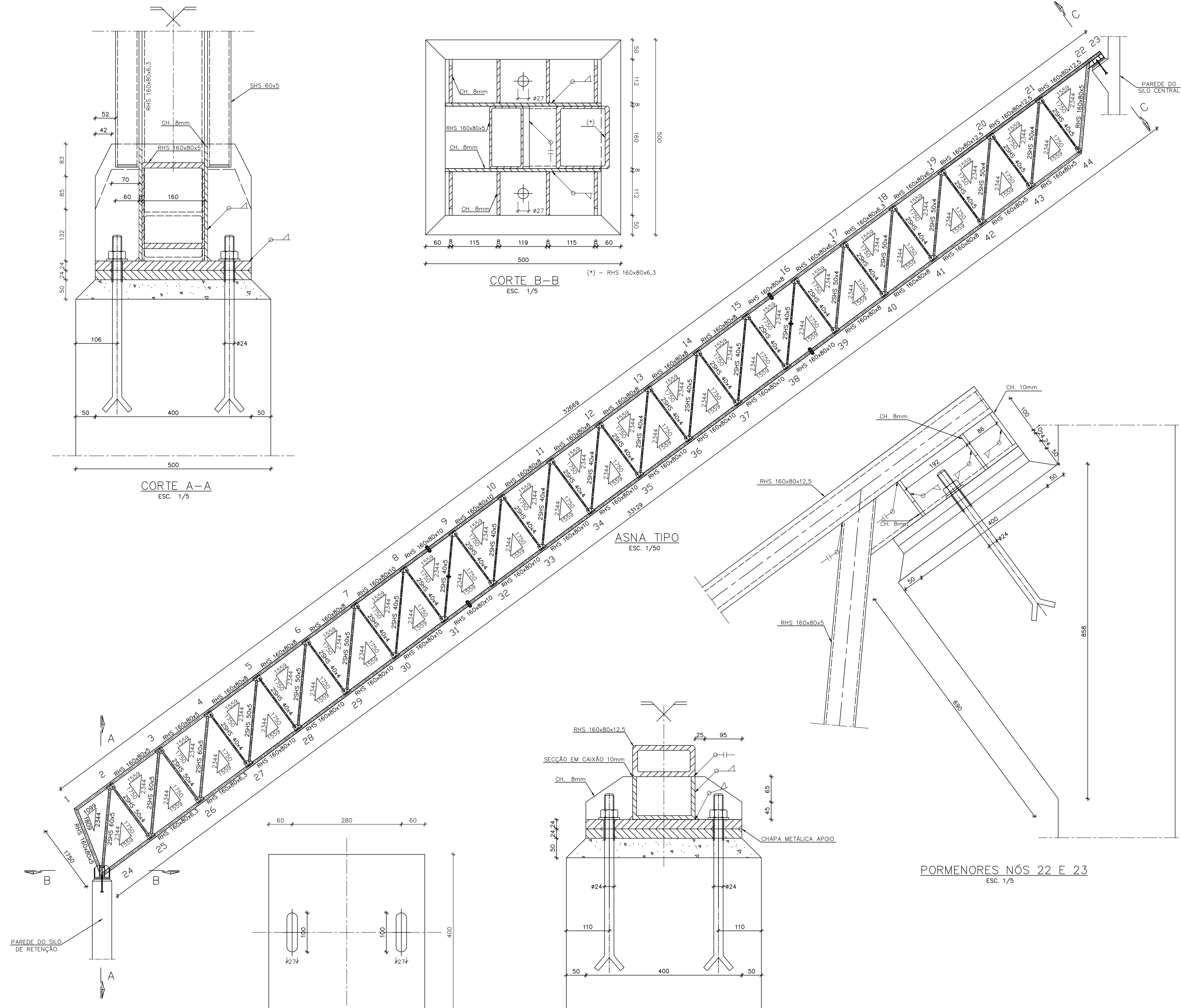
SOLDADURAS EM GERAL
 Z = 0,7 da menor espessura das peças a ligar



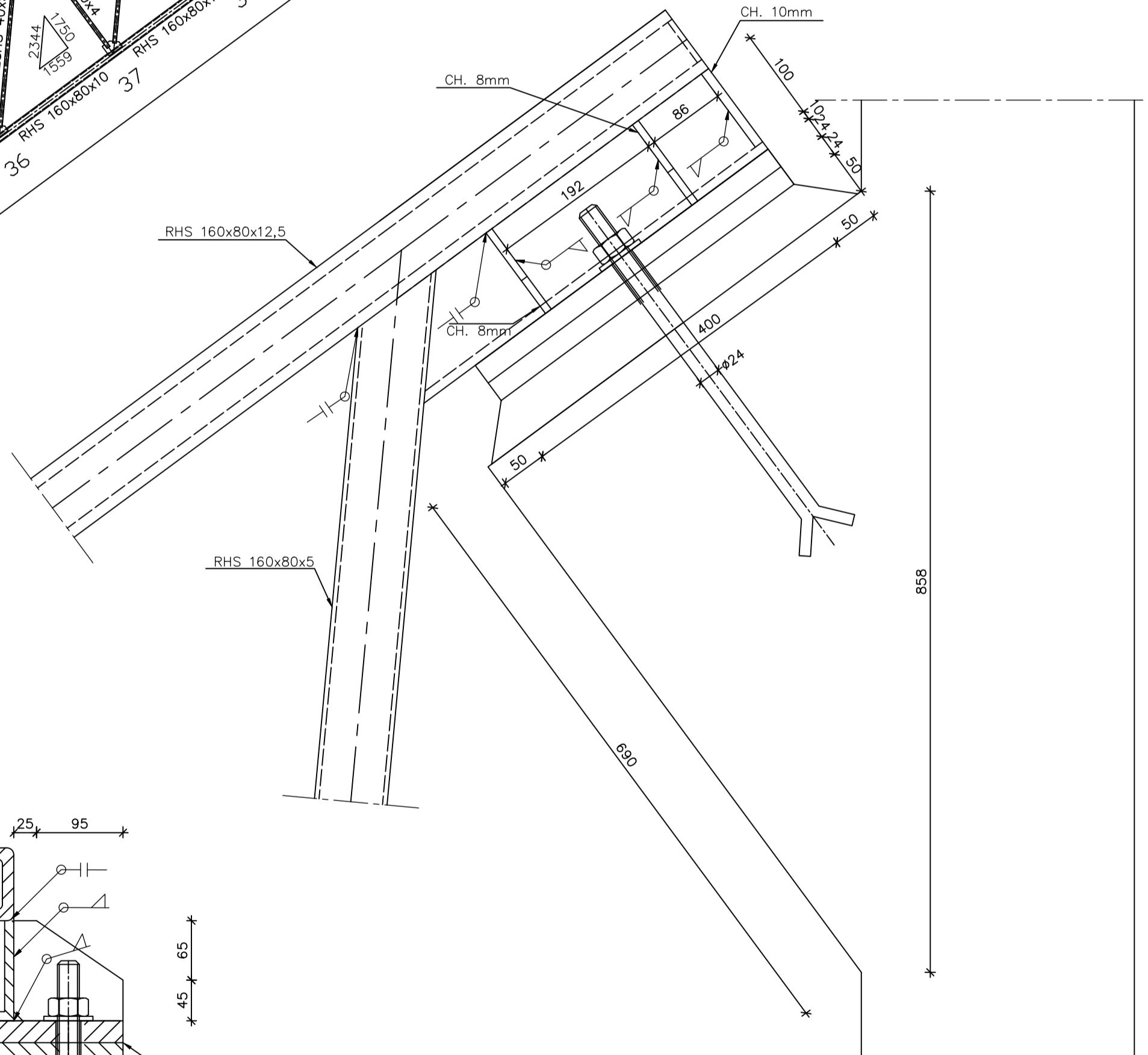
CORTE A-A
 ESC. 1/5



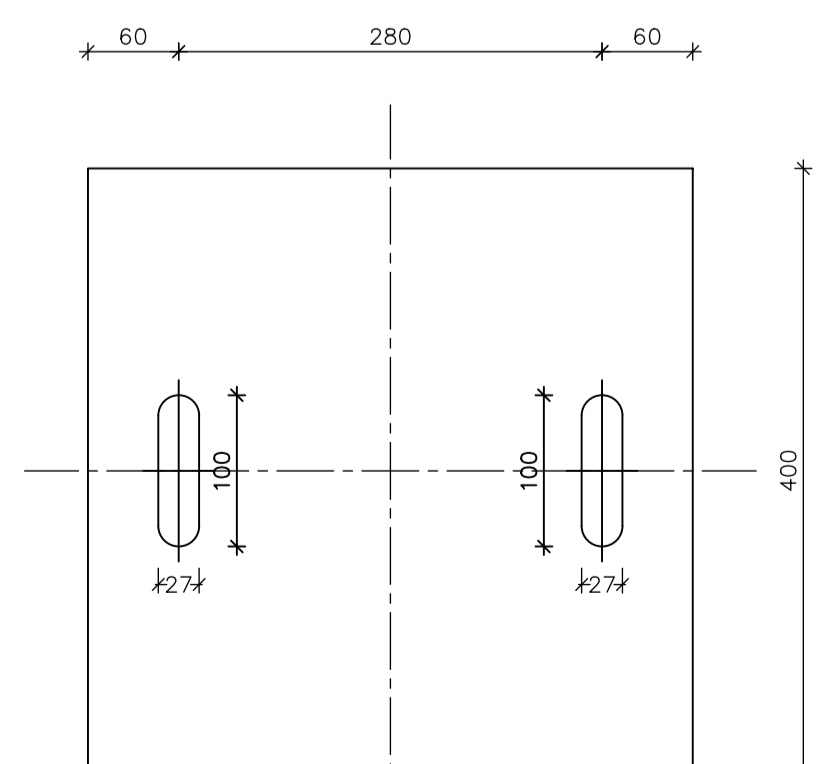
CORTE B-B
 ESC. 1/5



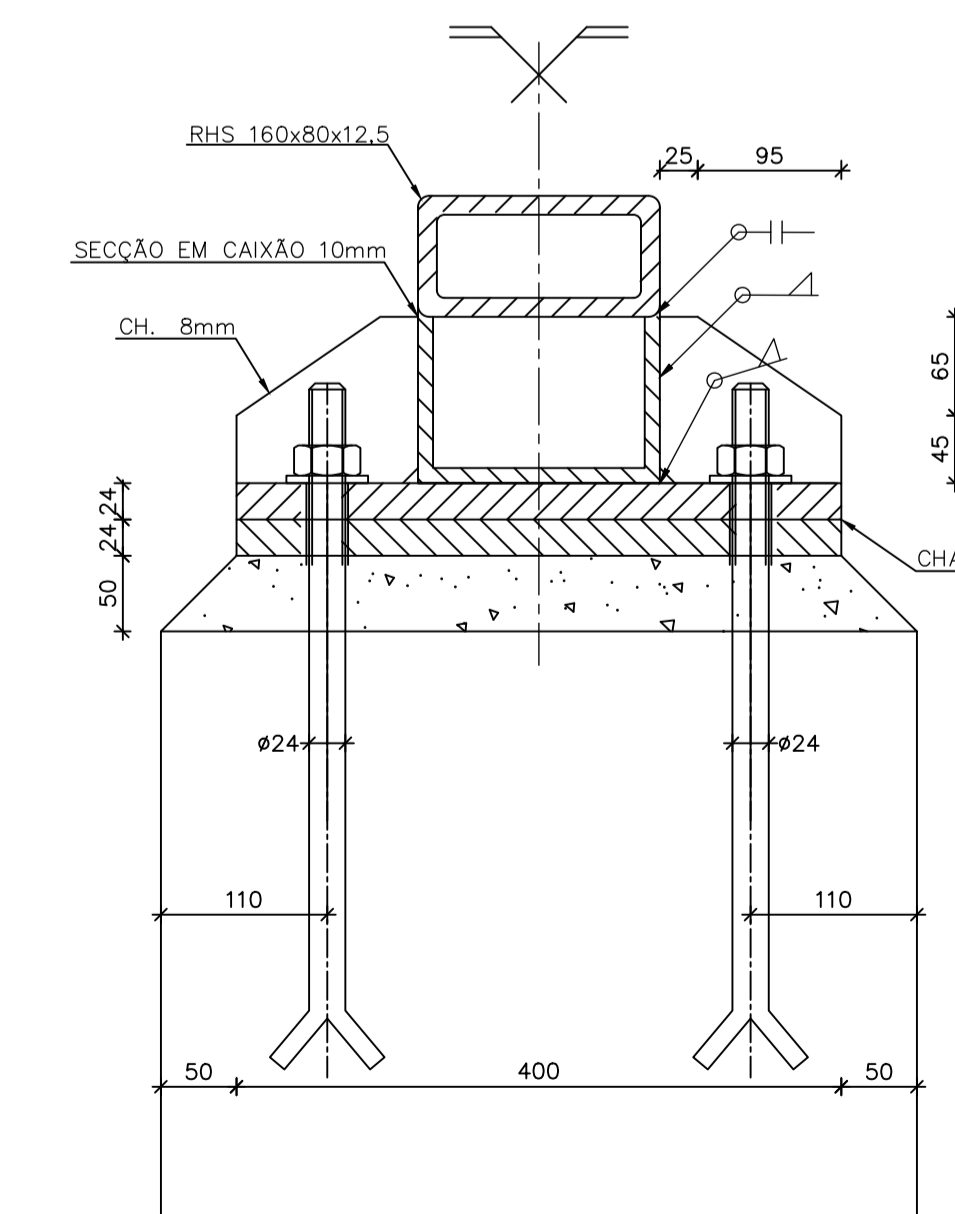
ASNA TIPO
 ESC. 1/50



PORMENORES NÓS 22 E 23
 ESC. 1/5



CHAPA METÁLICA TIPO
 ESC. 1/5



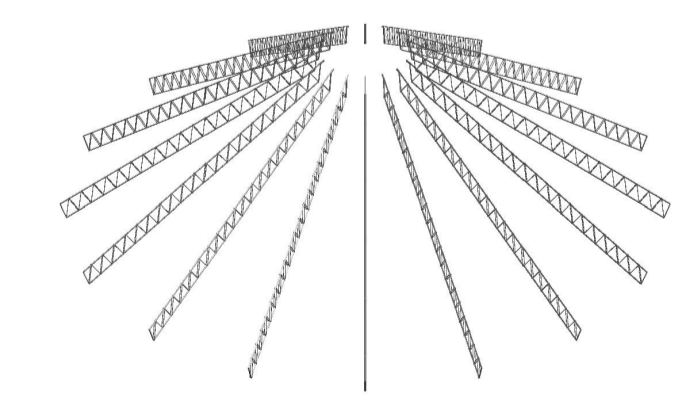
CORTE C-C
 ESC. 1/5

DESENHOS A CONSULTAR

- DESENHO Nº 01 – IMPLANTAÇÃO – PLANTA E ALÇADO
- DESENHO Nº 02 – IMPLANTAÇÃO – PLANTA E COMO TIPO DA COBERTURA DO STOCK
- DESENHO Nº 04 – COBERTURA METÁLICA DO STOCK – ASNA TIPO E PORMENORES – GOUSSETS E LIGAÇÕES SOLDADAS
- DESENHO Nº 05 – COBERTURA METÁLICA DO STOCK – ASNA TIPO E PORMENORES – LIG. APARAFUSADAS E SOLDADAS
- DESENHO Nº 11 – TORRE CENTRAL DE BETÃO ARMADO E PORMENORES – GEOMETRIA
- DESENHO Nº 12 – TORRE CENTRAL DE BETÃO ARMADO E PORMENORES – DIMENSIONAMENTO
- DESENHO Nº 14 – SILO DE RETENÇÃO, APOIO DESLIZANTE E PORMENORES – GEOMETRIA E DIMENSIONAMENTO

MATERIAIS

ESTRUTURAS METÁLICAS (EN 10025 E 10210-1)	
ELEMENTOS METÁLICOS	S275JR
PERFIS E CHAPAS BASE	S275JR
PARAFUSOS	ISO 272, ISO 7411
PARAFUSOS EM GERAL	CLASSE 5.6
PARAFUSOS PRÉ-ESFORÇADOS	CLASSE 8.8 E 10.9



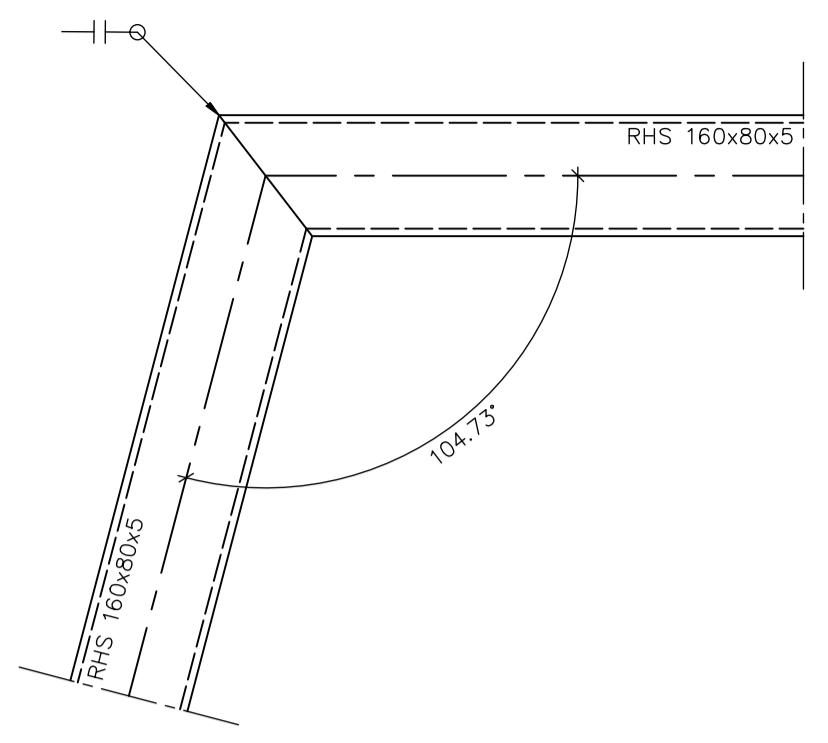
STOCK POLAR DE ARMAZENAMENTO DE CLÍNQUER

ESTRUTURA METÁLICA

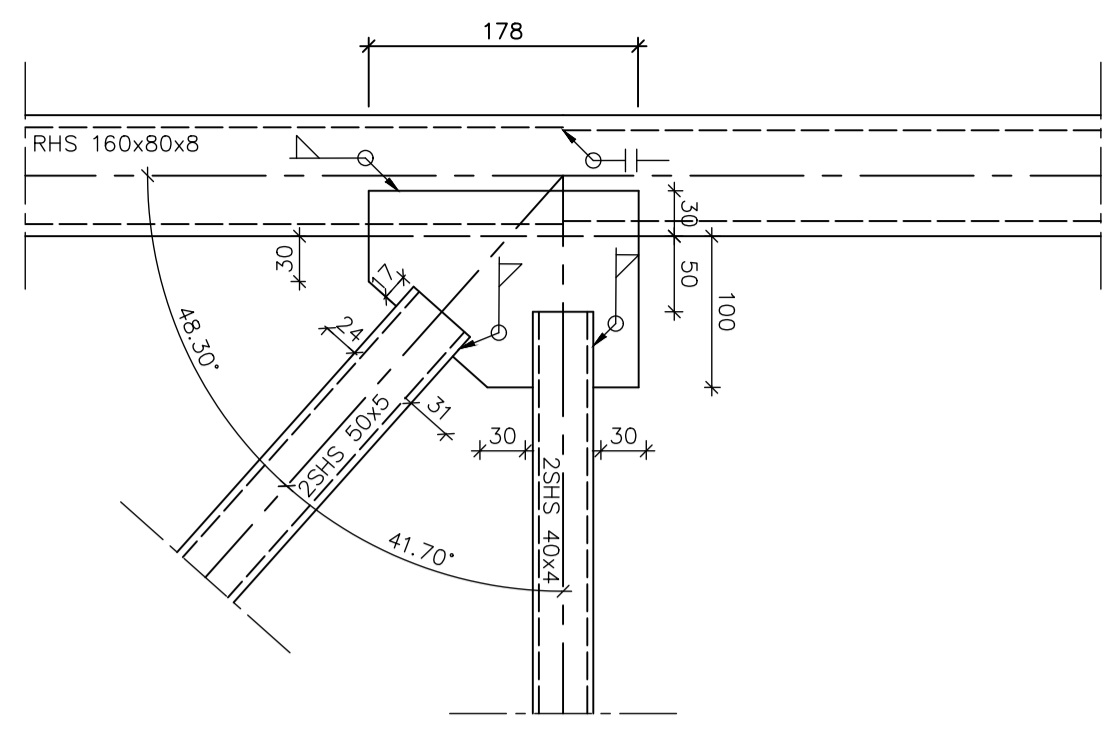
COBERTURA METÁLICA DO STOCK
 ASNA TIPO E PORMENORES – APOIOS

ANTEPROJETO	Projectou JOÃO NUNES JUNHO/2021	Desenho Nº	Escalas
	Desenhou JOÃO NUNES JUNHO/2021	DESENHO Nº 03	1:50
	Revizor	0	1:5
	Verificou		
	Aprovou	Substitui:	
	Fact. plot. : 1=50	Arquivo:	Subs. por:

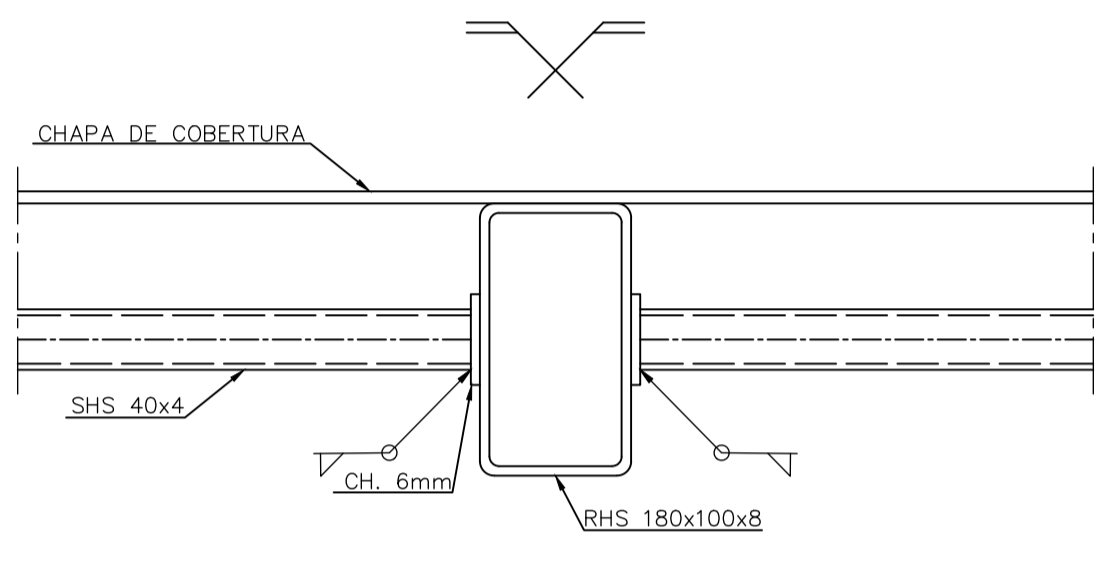
SOLDADURAS					
SIMBOLOGIA	Montagem	PORMENOR	SIMBOLOGIA	Montagem	PORMENOR
Office	Montagem	* <6	Office	Montagem	* >15
Office	Montagem	**7-15	Office	Montagem	* <15
Office	Montagem	**16-20	Office	Montagem	**15-20
VERIFICAÇÃO DAS SOLDADURAS			SOLDADURAS EM GERAL		
RX	por raios X		Z = 0,7 da menor espessura das peças a ligar		
US	por ultra sons				



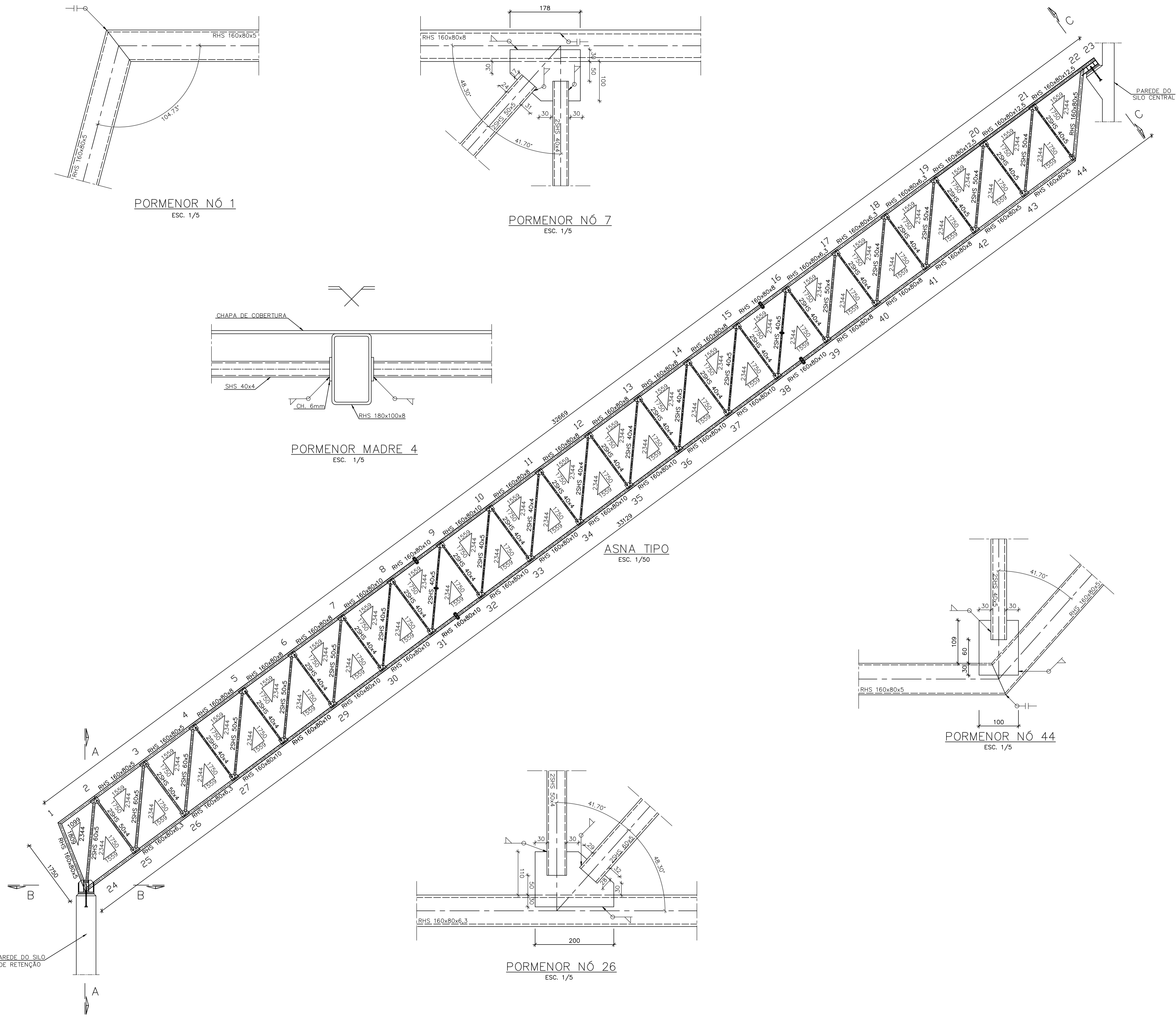
PORMENOR NÓ 1
Esc. 1/5



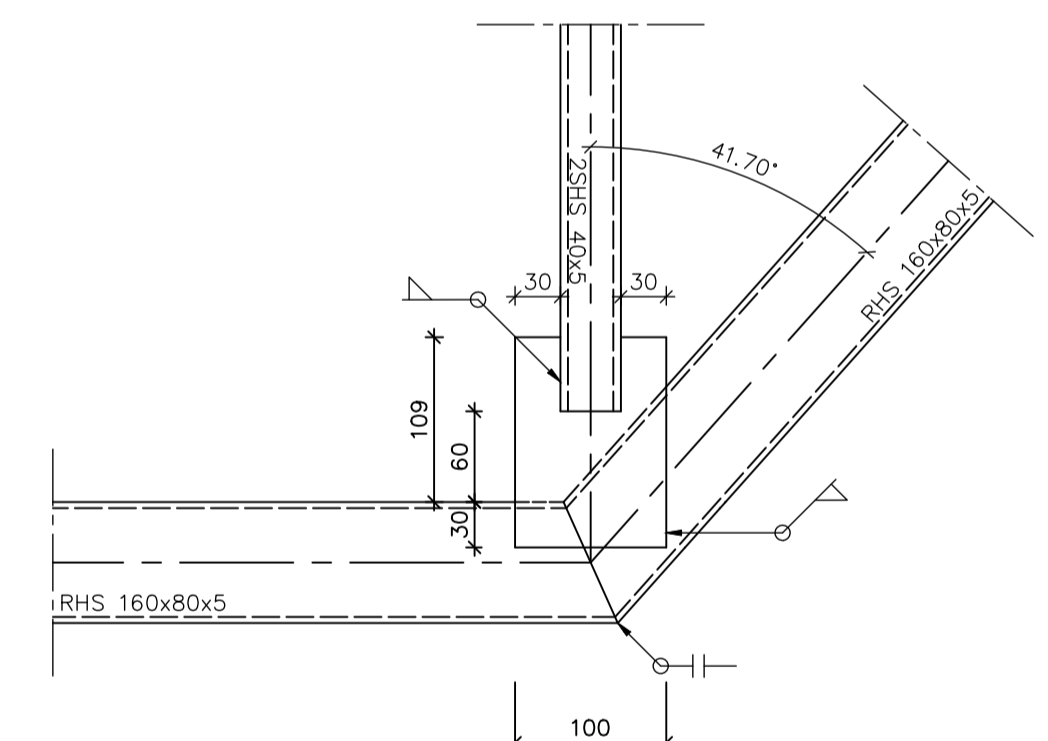
PORMENOR NÓ 7
Esc. 1/5



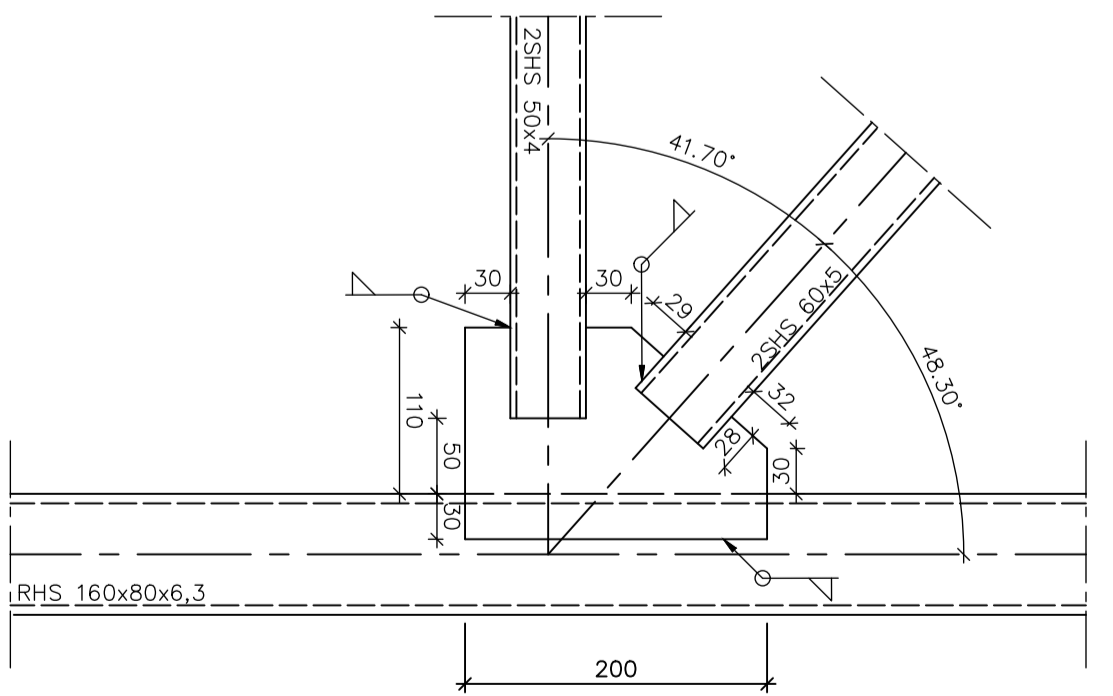
PORMENOR MADRE 4
Esc. 1/5



ASNA TIPO
Esc. 1/50



PORMENOR NÓ 44
Esc. 1/5



PORMENOR NÓ 26
Esc. 1/5

DESENHOS A CONSULTAR

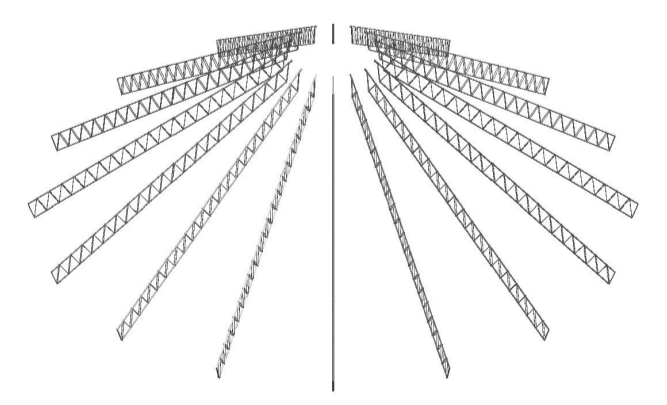
- DESENHO N° 01 – IMPLANTAÇÃO – PLANTA E ALÇADO
- DESENHO N° 02 – IMPLANTAÇÃO – PLANTA E GOMO TIPO DA COBERTURA DO STOCK
- DESENHO N° 03 – COBERTURA METÁLICA DO STOCK – ASNA TIPO E PORMENORES – APOIOS
- DESENHO N° 05 – COBERTURA METÁLICA DO STOCK – ASNA TIPO E PORMENORES – LIG. APARAFUSADAS E SOLDADAS
- DESENHO N° 11 – TORRE CENTRAL DE BETÃO ARMADO E PORMENORES – GEOMETRIA
- DESENHO N° 12 – TORRE CENTRAL DE BETÃO ARMADO E PORMENORES – DIMENSIONAMENTO
- DESENHO N° 14 – SILO DE RETENÇÃO, APOIO DESLIZANTE E PORMENORES – GEOMETRIA E DIMENSIONAMENTO

GOUSSETS

h _{Gousset} [mm]	c _{Gousset} [mm]	Nós
140	199,8	2; 3; 20; 21; 25; 26
140	189,8	4-6; 27; 28; 42; 43
130	178,6	7-19; 29-41

MATERIAIS

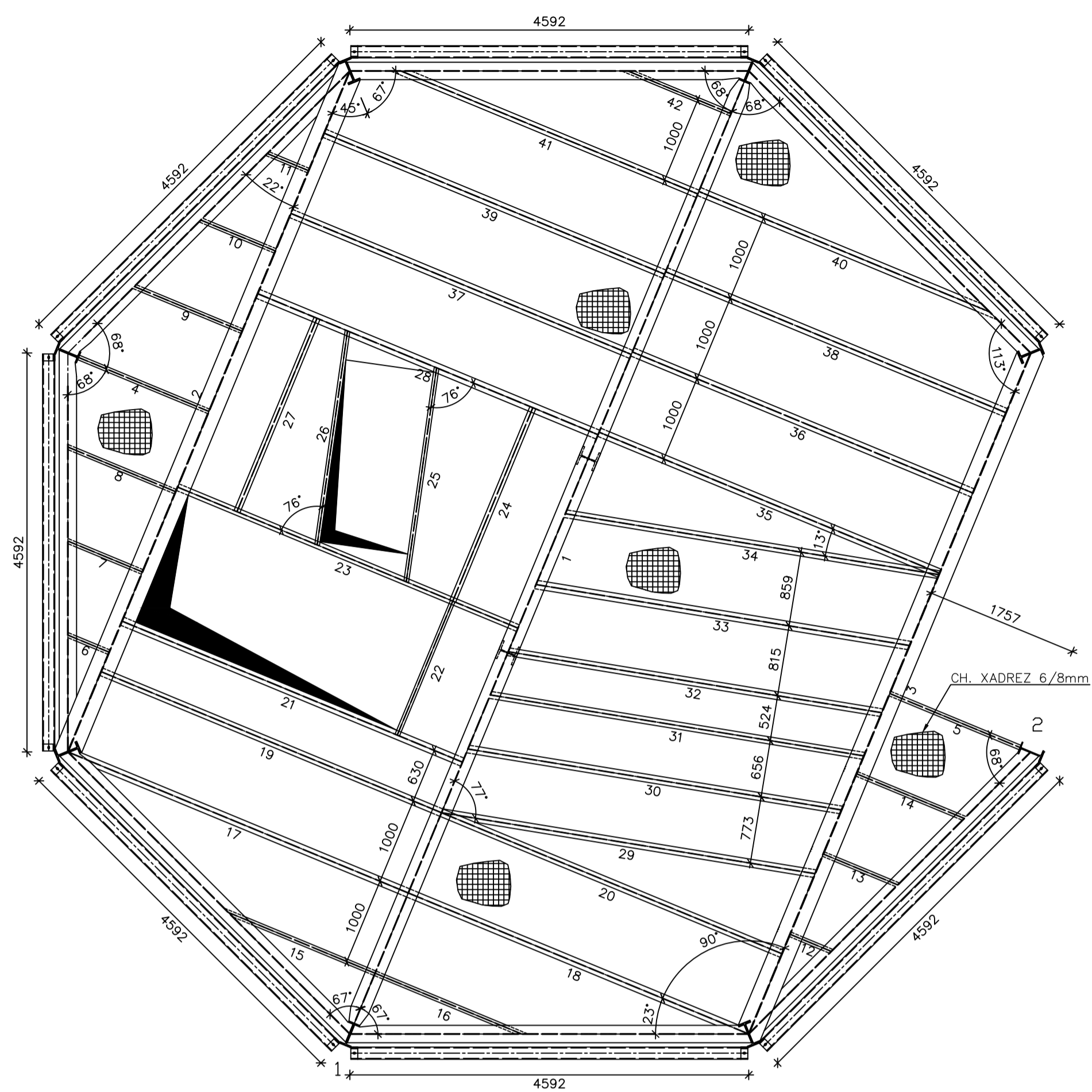
ESTRUTURAS METÁLICAS (EN 10025 E 10210-1)	
ELEMENTOS METÁLICOS	S275JR
PERFIS E CHAPAS BASE	S275JR
PARAFUSOS	ISO 272, ISO 7411
PARAFUSOS EM GERAL	CLASSE 5.6
PARAFUSOS PRÉ-ESFORÇADOS	CLASSE 8.8 E 10.9



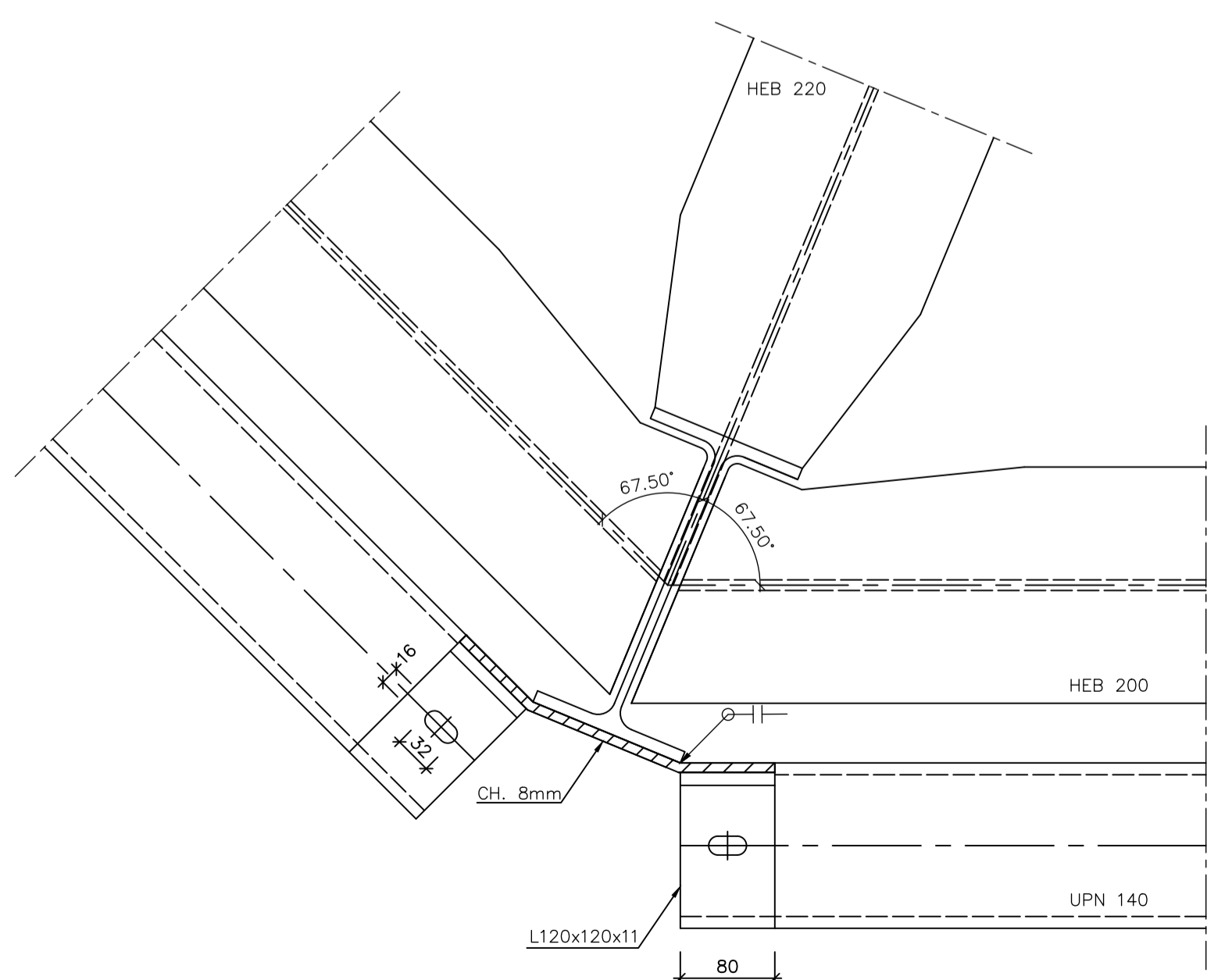
STOCK POLAR DE ARMAZENAMENTO DE CLINQUER			
ESTRUTURA METÁLICA			
COBERTURA METÁLICA DO STOCK			
ASNA TIPO E PORMENORES – GOUSSETS E LIGAÇÕES SOLDADAS			
ANTEPROJETO	Projectou JOÃO NUNES JUNHO/2021	Desenho N°	Escalas
	Desenhou JOÃO NUNES JUNHO/2021	DESENHO N° 04	1:50
	Reviz	0	1:5
	Verificou		
	Aprovou	Substitui:	
Fact. plot. : 1=50	Arquivo:	Subs. por:	



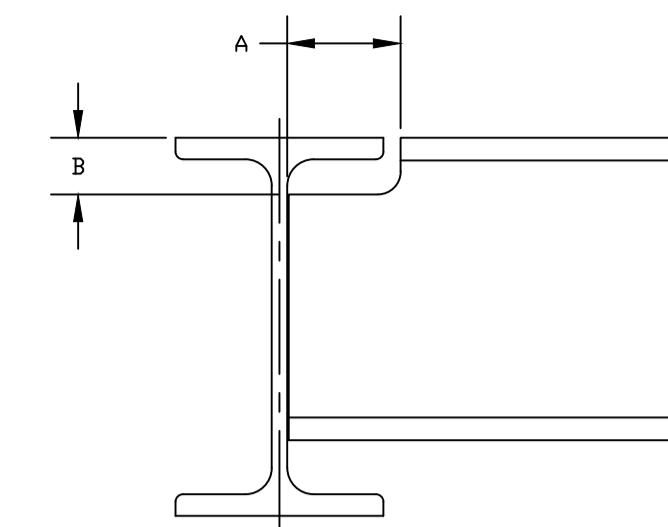
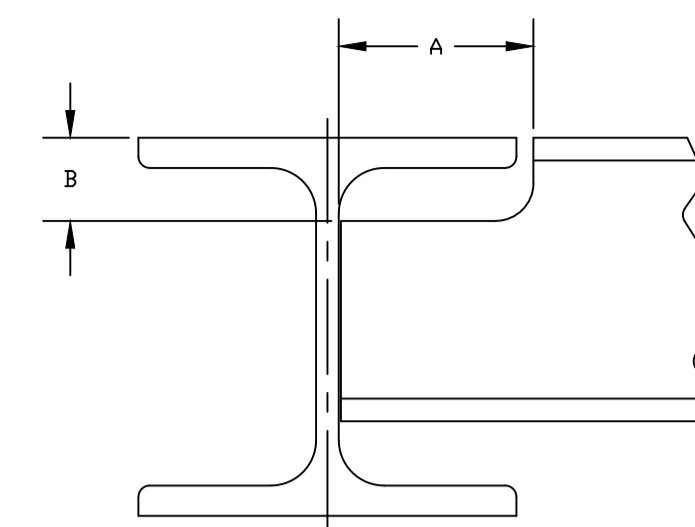
SOLDADURAS								
SIMBOLOGIA	Montagem	PORMENOR	SIMBOLOGIA	Montagem	PORMENOR	SIMBOLOGIA	Montagem	PORMENOR



PLANTA DO PAVIMENTO
ESC. 1/50



PORMENOR NÓ 1
ESC. 1/5



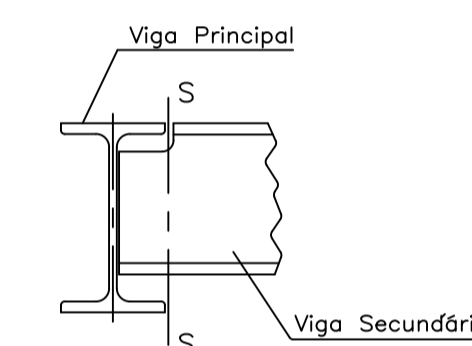
HEB	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	400	450	500	550	600	650	700	800	900	1000	
A	49	59	69	78	88	98	107	117	127	137	147	146	146	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145
B	22	23	24	28	29	33	34	38	41	42	46	47	48	49	51	53	55	56	57	60	60	65	65	70	

VIGA	PERFIL	COMPRIMENTO [mm]	VIGA	PERFIL	COMPRIMENTO [mm]
1	HEB220	12000	22	IPE100	1670
2	HEB320	8485	23	IPE200	4243
3	HEB340	8485	24	IPE140	2410
4	IPE100	1757	25	IPE100	2489
5	IPE100	1757	26	IPE100	2489
6	IPE100	515	27	IPE140	2410
7	IPE100	929	28	IPE220	4243
8	IPE100	1343	29	IPE180	4358
9	IPE100	1343	30	IPE180	4358
10	IPE100	929	31	IPE160	4358
11	IPE100	515	32	IPE180	4358
12	IPE100	515	33	IPE200	4358
13	IPE100	929	34	IPE180	4358
14	IPE100	1343	35	IPE180	4243
15	IPE100	1833	36	IPE200	4243
16	IPE100	1833	37	IPE200	4243
17	IPE200	4243	38	IPE200	4243
18	IPE200	4243	39	IPE200	4243
19	IPE180	4243	40	IPE200	3625
20	IPE180	4243	41	IPE180	3700
21	IPE160	4243	42	IPE100	1286

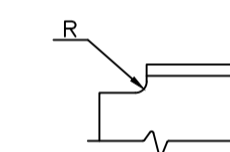
IPE	80	100	120	140	160	180	200	220	240	270	300	330	360	400	450	500	550	600
A	23	28	32	36	41	45	49	54	59	66	74	78	83	88	93	97	102	106
B	10	13	13	14	16	17	20	22	25	25	26	30	32	35	36	37	41	43

NOTAS:

- MATERIAIS**
QUALIDADE DO AÇO DE ACORDO COM O ESPECIFICADO PARA A ESTRUTURA METÁLICA.
- PINTURA**
DEVERÁ SER EXECUTADA DE ACORDO COM O ESPECIFICADO PARA A ESTRUTURA METÁLICA.
- SOLDADURAS**
EM GERAL AS SOLDADURAS DE ÂNGULO TERÃO A ESPESURA (MEDIDA SEGUNDO REAE) DE 0.7 VEZES A MENOR ESPESURA DAS PECAS A LIGAR.
- GENERALIDADES**
 - EM CASO DE DISCREPÂNCIA ENTRE ESTE STANDARD E O DESENHO DE PROJECTO SERÁ VÁLIDO ESTE ÚLTIMO.
 - TODAS AS DIMENSÕES SÃO EM MILÍMETROS SALVO INDICAÇÃO EM CONTRÁRIO.
 - VERIFICAR AS TENSÕES NA SECÇÃO S-S.



- EXECUÇÃO DE ENTALHES:**
OS ENTALHES DEVEREM SER FEITOS SEGUNDO UM RAO E NÃO PODEM APRESENTAR FISSURAS.

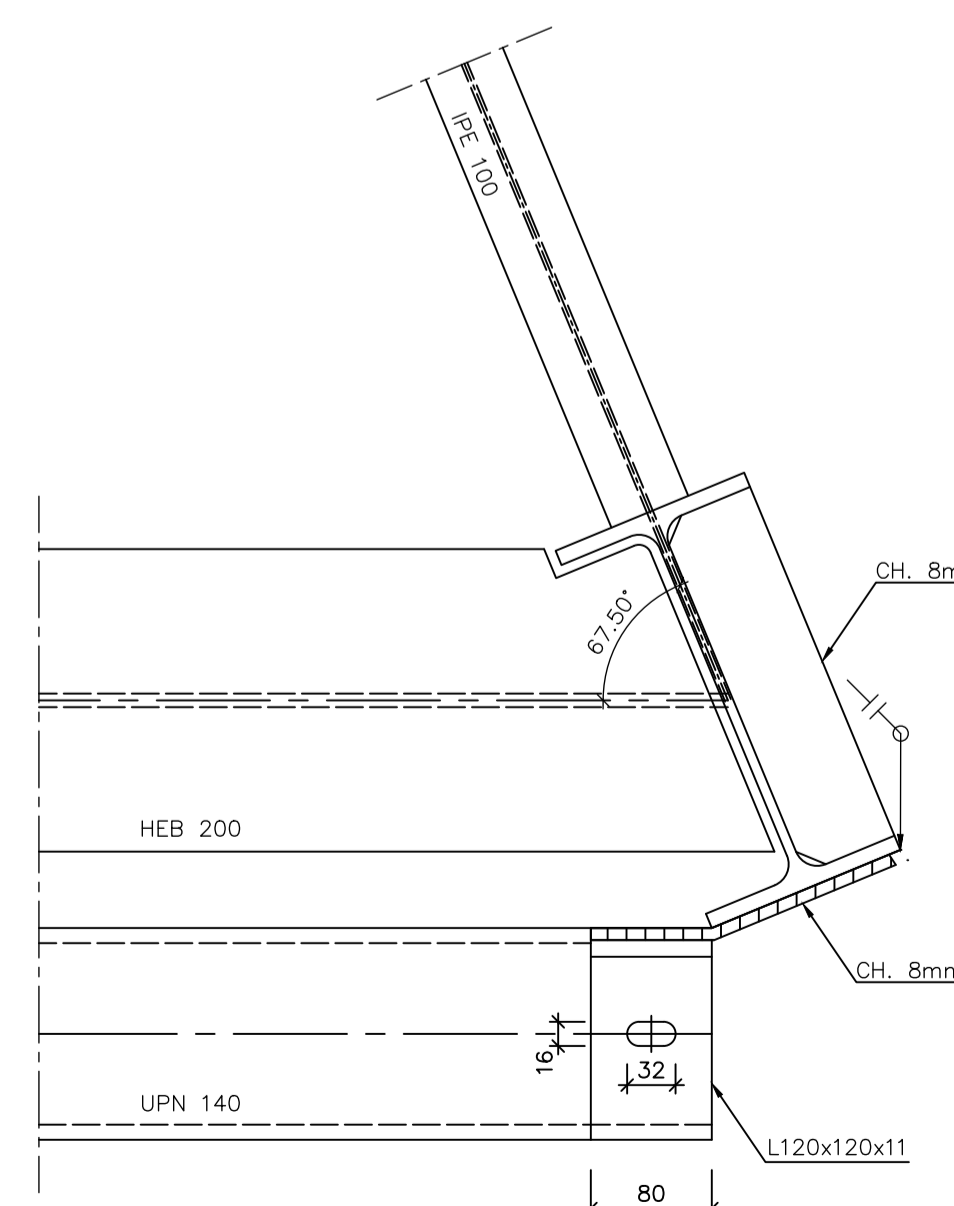
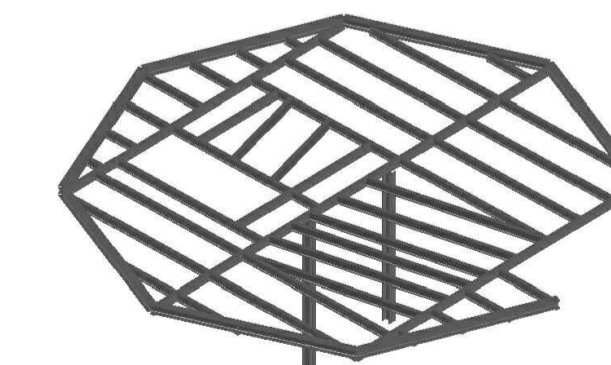


DESENHOS A CONSULTAR

- DESENHO N° 01 – IMPLANTAÇÃO – PLANTA E ALÇADO
- DESENHO N° 07 – TORRE METÁLICA – COBERTURA DA TORRE METÁLICA E PORMENORES
- DESENHO N° 08 – TORRE METÁLICA – PÓRTICO PRINCIPAL E PORMENORES 01
- DESENHO N° 09 – TORRE METÁLICA – PÓRTICO PRINCIPAL E PORMENORES 02
- DESENHO N° 10 – TORRE METÁLICA – ALÇADOS LATERAIS E PORMENORES
- DESENHO N° 13 – LAJE – GEOMETRIA E DIMENSIONAMENTO

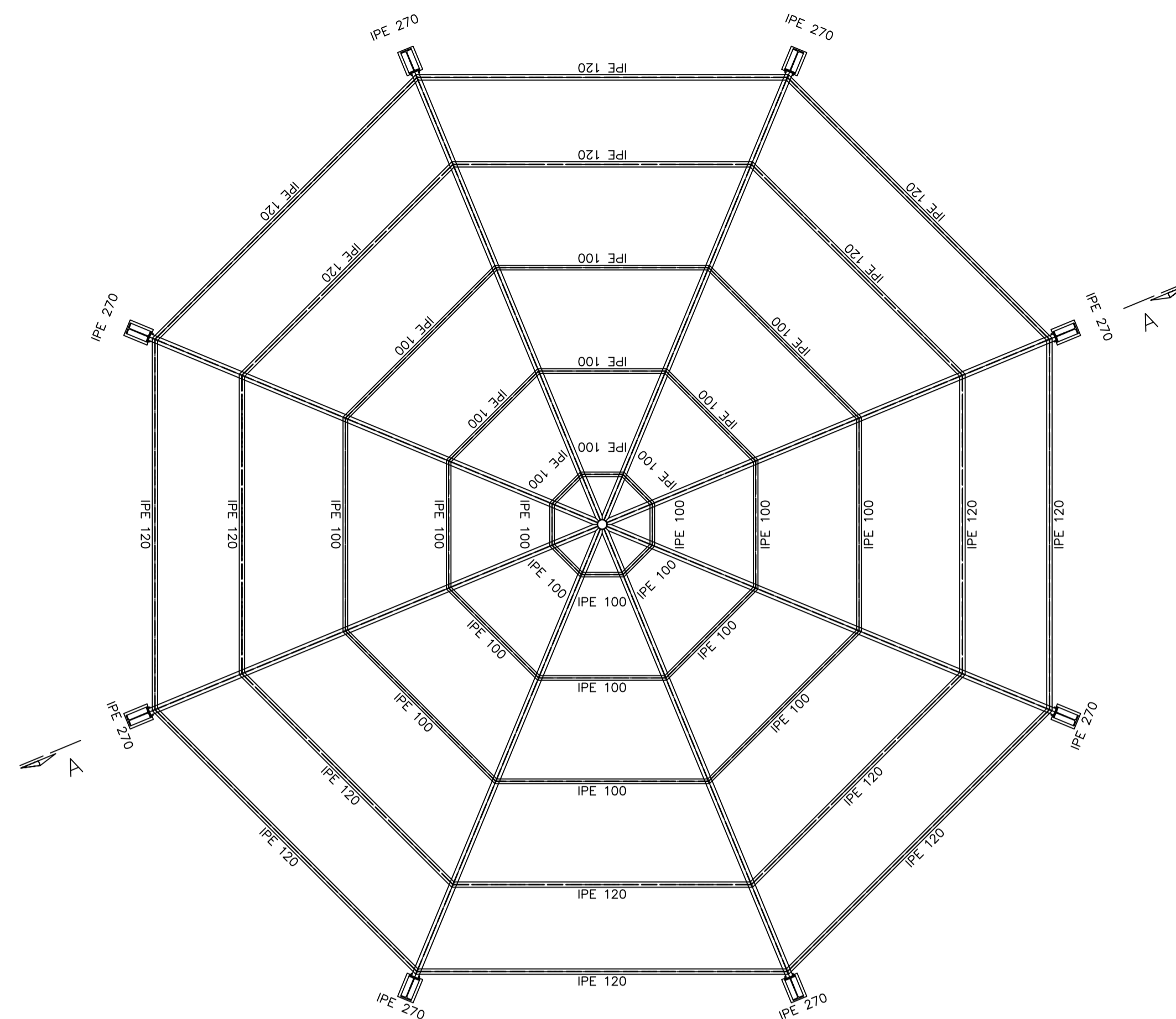
MATERIAIS

ESTRUTURAS METÁLICAS (EN 10025 E 10210-1)	
ELEMENTOS METÁLICOS	S275JR
PERFIS E CHAPAS BASE	S275JR
PARAFUSOS	ISO 272, ISO 7411
PARAFUSOS EM GERAL	CLASSE 5.6
PARAFUSOS PRÉ-ESFORÇADOS	CLASSE 8.8 E 10.9

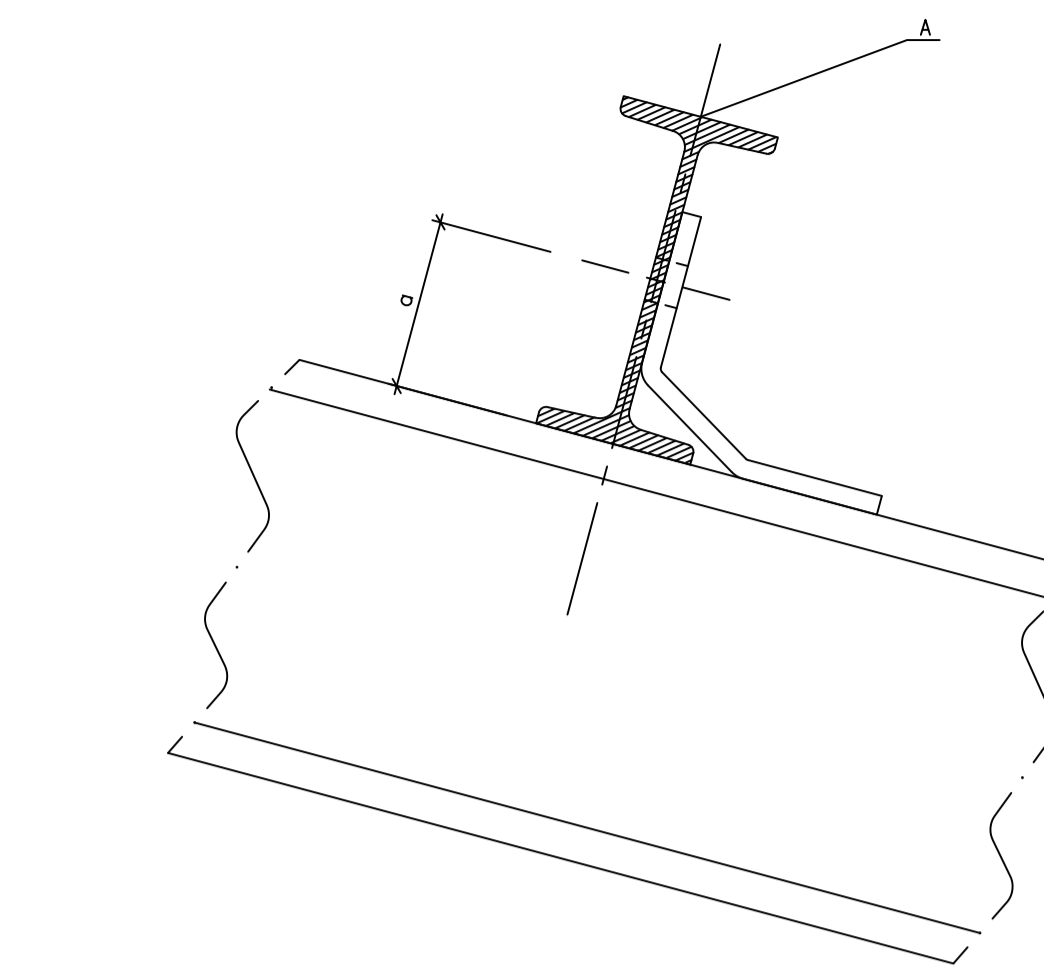


PORMENOR NÓ 2
ESC. 1/5

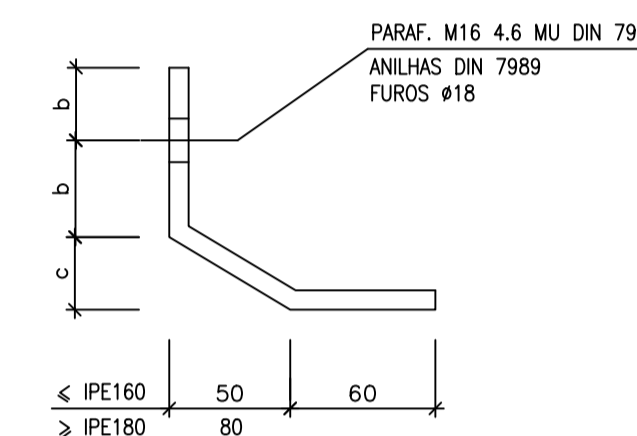
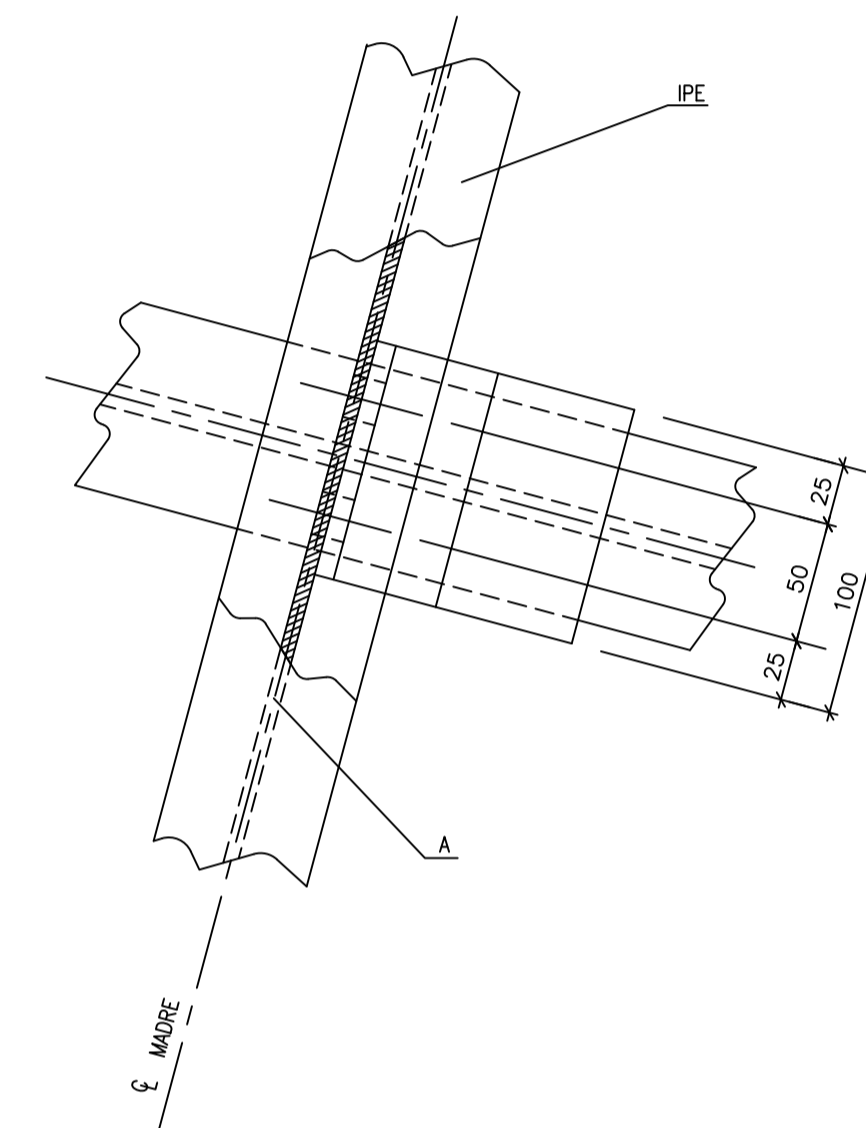
STOCK POLAR DE ARMAZENAMENTO DE CLÍNQUER			
ESTRUTURA METÁLICA			
ANTEPROJETO		TORRE METÁLICA PAVIMENTO METÁLICO E PORMENORES	
	Projectou	JOÃO NUNES (ABRIL/2021)	Desenho N°
	Desenhou	JOÃO NUNES (ABRIL/2021)	DESENHO N° 06
	Revist		0
	Verificou		
	Aprovou		
Fact. plot. : 1=50	Arquivo:	Substitui:	Subs. por:
		Escala	
		1:50	
		1:5	



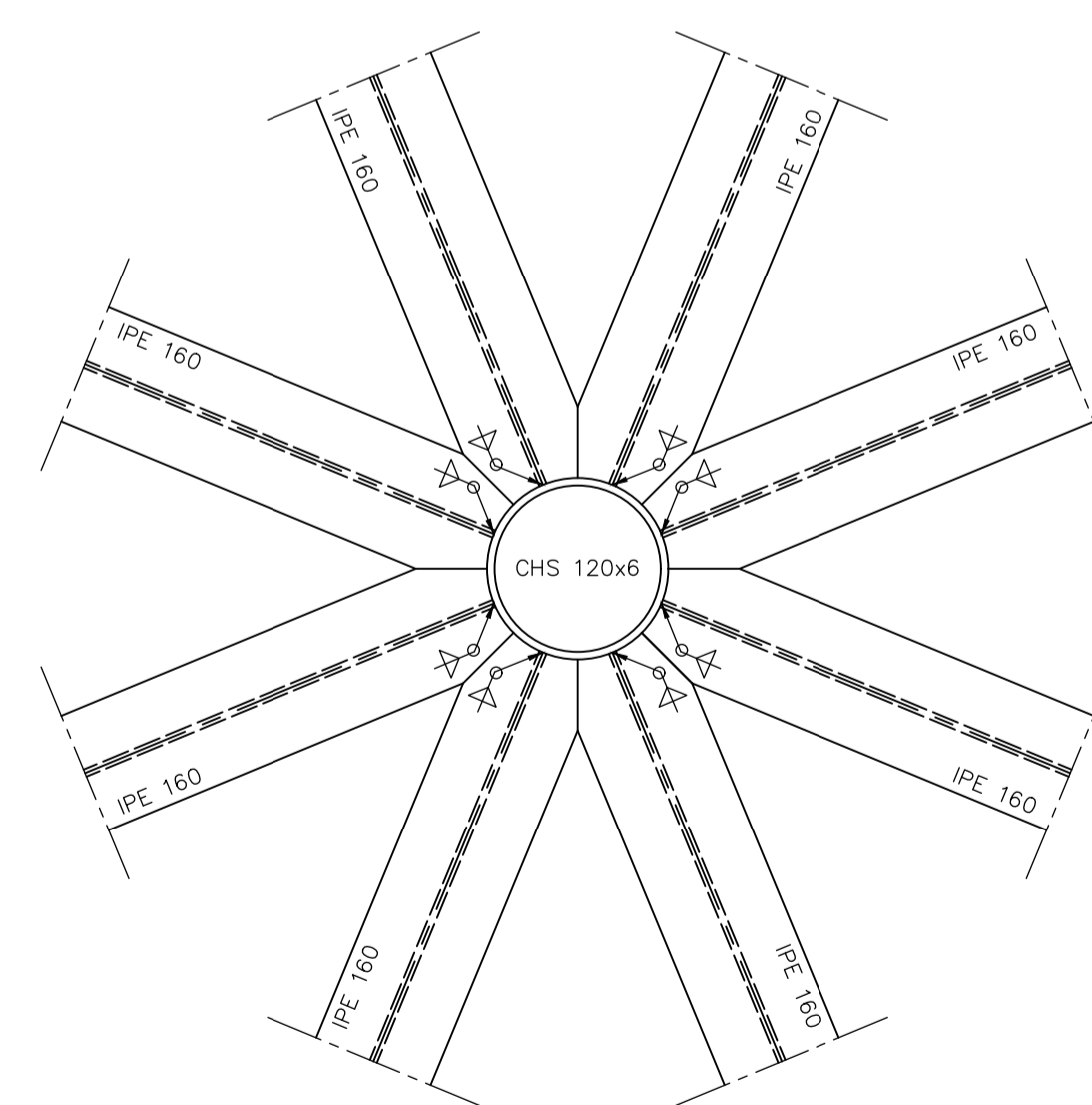
PLANTA DA COBERTURA
ESC. 1/50



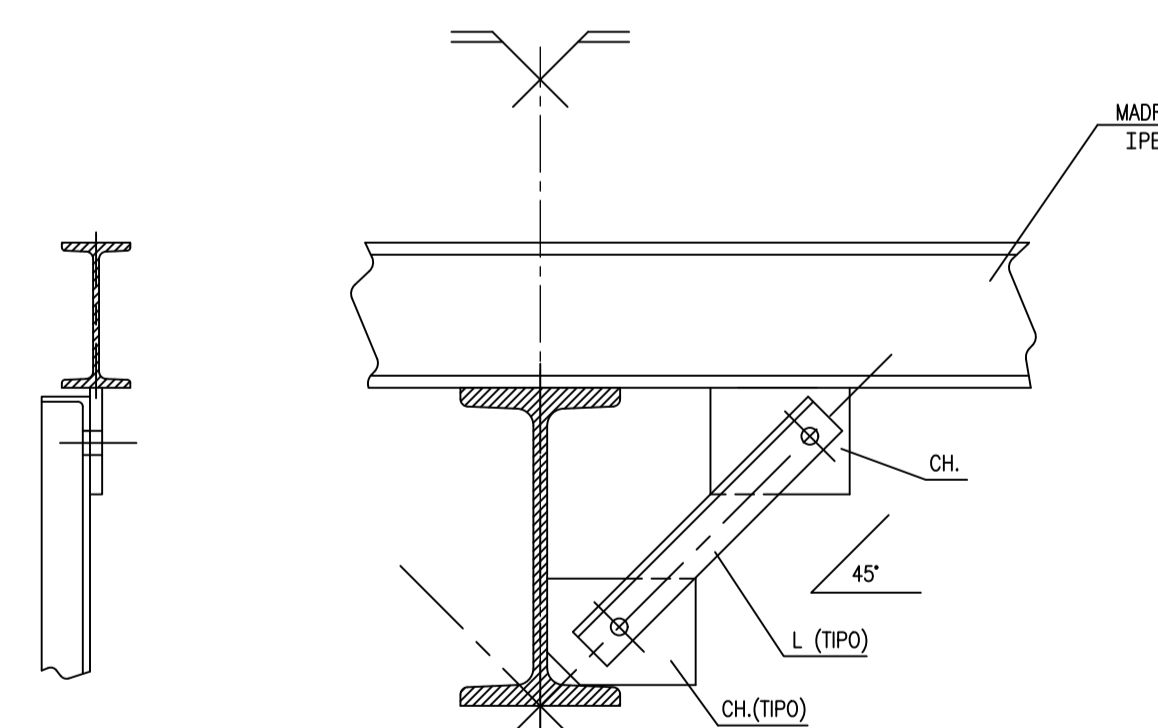
A	a	b	c
IPE100	50	25	25
IPE120	60	35	25
IPE140	70	40	30
IPE160	80	50	30
IPE180	90	50	40
IPE200	100	60	40
IPE220	110	60	50
IPE240	120	60	60



PORMENORES DAS MADRES



PORMENOR NÓ ESPACIAL ROTULADO
ESC. 1/5



TRAVAMENTO DAS MADRES

MADRE	PERFIL	COMPRIMENTO [mm]
1	IPE 120	4430
2	IPE 120	3568
3	IPE 100	2544
4	IPE 100	1520
5	IPE 100	497

NOTAS:

A PRESENTE STANDARD TEM POR OBJECTIVO DEFINIR AS NORMAS SEGUNDO AS QUAIS SE DEVERÃO EXECUTAR AS MADRES.

1- NORMAS CONSTRUTIVAS

- 1.1 - GENERALIDADES
AS MADRES SERÃO FABRICADAS POR TROÇOS APTOS A SEREM MONTADOS E INTERLIGADOS EXCLUSIVAMENTE POR APARAFUSAMENTO.
- 1.2 - MATERIAIS
TUBOS ————— DIN 2458 - St 33
PARAFUSOS ————— DIN 7990 - 4.6
PORCAS ————— DIN 555 - 5
PERFIS L,C e I ————— DIN 1028, DIN 1026 e DIN 1025/5 ST 37.2 DIN 17.100
- 1.3 - DIVERSOS
TODAS AS PEÇAS A SOLDAR DEVERÃO SER LIGADAS POR CORDÃO COM A ESPESURA IGUAL A 0,7 VEZES A MENOR ESPESURA DAS PEÇAS A LIGAR.
A PINTURA DEVERÁ SER EXECUTADA DE ACORDO COM O ESPECIFICADO PARA A ESTRUTURA METÁLICA. OS PARAFUSOS SERÃO PRETOS.

2 - FORNECIMENTO

AS MADRES DEVERÃO SER FORNECIDAS PRONTAS PARA MONTAR, ISTO É, INCLUINDO TODOS OS ACESSÓRIOS (PEÇAS E PARAFUSOS) NAS QUANTIDADES NECESSÁRIAS PARA A SUA FIXAÇÃO E INTERLIGAÇÃO COM O SUPLEMENTO DE 5% (COM O MÍNIMO DE UNIDADE POR CADA ESPÉCIE). TODOS OS CONJUNTOS DEVERÃO SER MARCADOS DE MANEIRA A PERMITIR A SUA FÁCIL IDENTIFICAÇÃO E MONTAGEM.
A PINTURA DEVERÁ SER EXECUTADA DE ACORDO COM O ESPECIFICADO PARA A ESTRUTURA METÁLICA. OS PARAFUSOS SERÃO PRETOS.

3 - GENERALIDADES

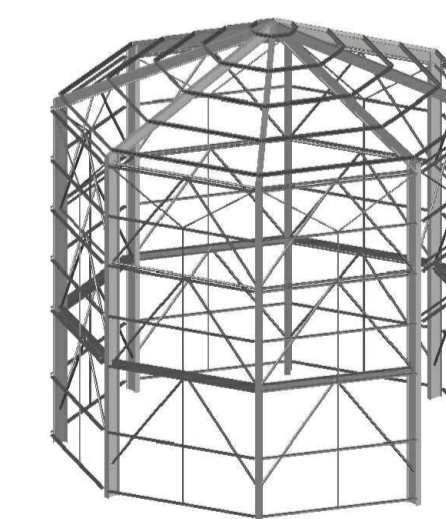
- 3.1- EM CASO DE DISCREPÂNCIA ENTRE ESTA STANDARD E O DESENHO DE PROJECTO SERÁ VÁLIDO ESTE ÚLTIMO.
- 3.2- TODAS AS DIMENSÕES SÃO EM MILÍMETROS SALVO INDICAÇÃO EM CONTRÁRIO.

DESENHOS A CONSULTAR

- DESENHO N° 01 - IMPLANTAÇÃO - PLANTA E ALÇADO
- DESENHO N° 06 - TORRE METÁLICA - PAVIMENTO METÁLICO E PORMENORES
- DESENHO N° 08 - TORRE METÁLICA - PÓRICO PRINCIPAL E PORMENORES 01
- DESENHO N° 09 - TORRE METÁLICA - PÓRICO PRINCIPAL E PORMENORES 02
- DESENHO N° 10 - TORRE METÁLICA - ALÇADOS LATERAIS E PORMENORES
- DESENHO N° 13 - LAJE - GEOMETRIA E DIMENSIONAMENTO

MATERIAIS

ESTRUTURAS METÁLICAS (EN 10025 E 10210-1)	
ELEMENTOS METÁLICOS	S275JR
PERFIS E CHAPAS BASE	S275JR
PARAFUSOS	ISO 272, ISO 7411
PARAFUSOS EM GERAL	CLASSE 5.6
PARAFUSOS PRÉ-ESFORÇADOS	CLASSE 8.8 E 10.9

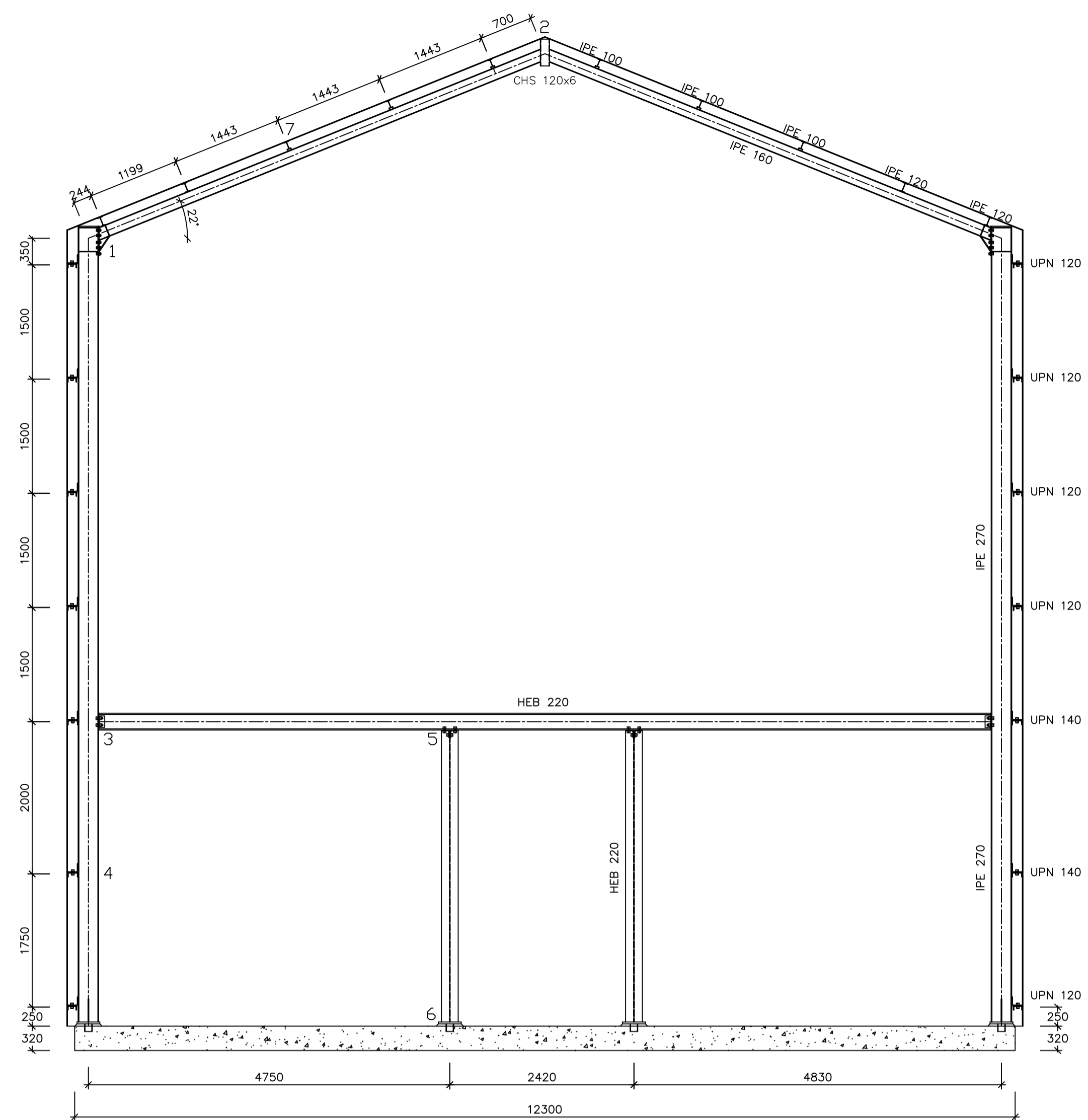


STOCK POLAR DE ARMAZENAMENTO DE CLINQUER

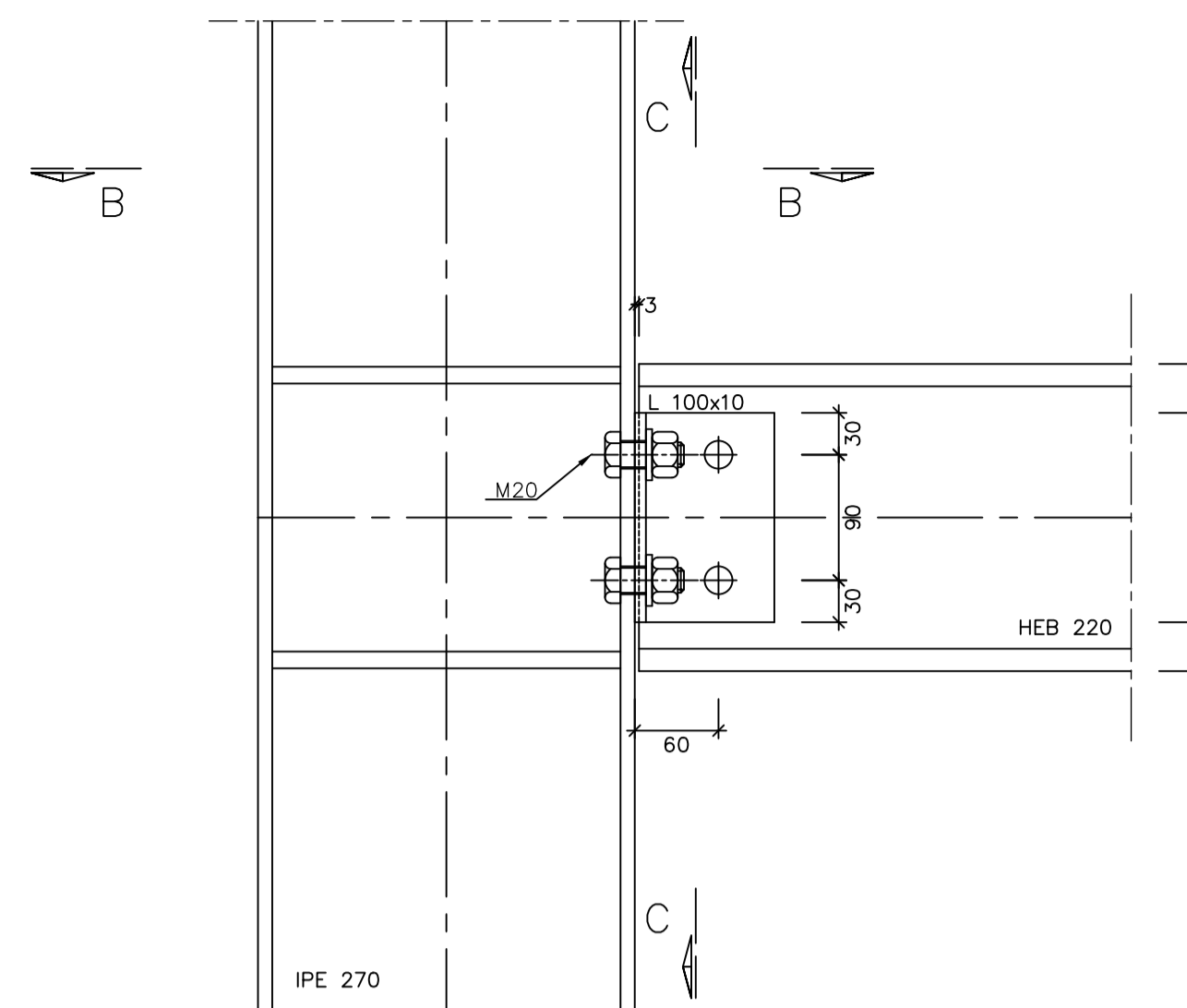
ESTRUTURA METÁLICA

ANTEPROJETO		TORRE METÁLICA COBERTURA DA TORRE METÁLICA E PORMENORES	
	Projectou	JOÃO NUNES ABRIL/2021	Desenho N°
	Desenhou	JOÃO NUNES ABRIL/2021	DESENHO N° 07
	Reviu		0
	Verificou		
	Aprovou		
Fact. plot. : 1=50	Arquivo:		Substitui:
			Subs. por:

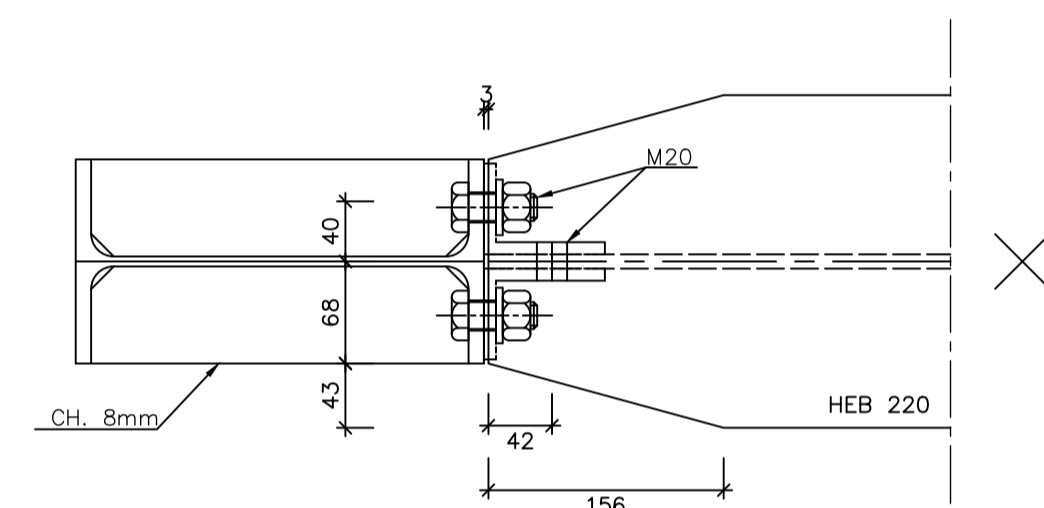
Escalas
1:50
1:5



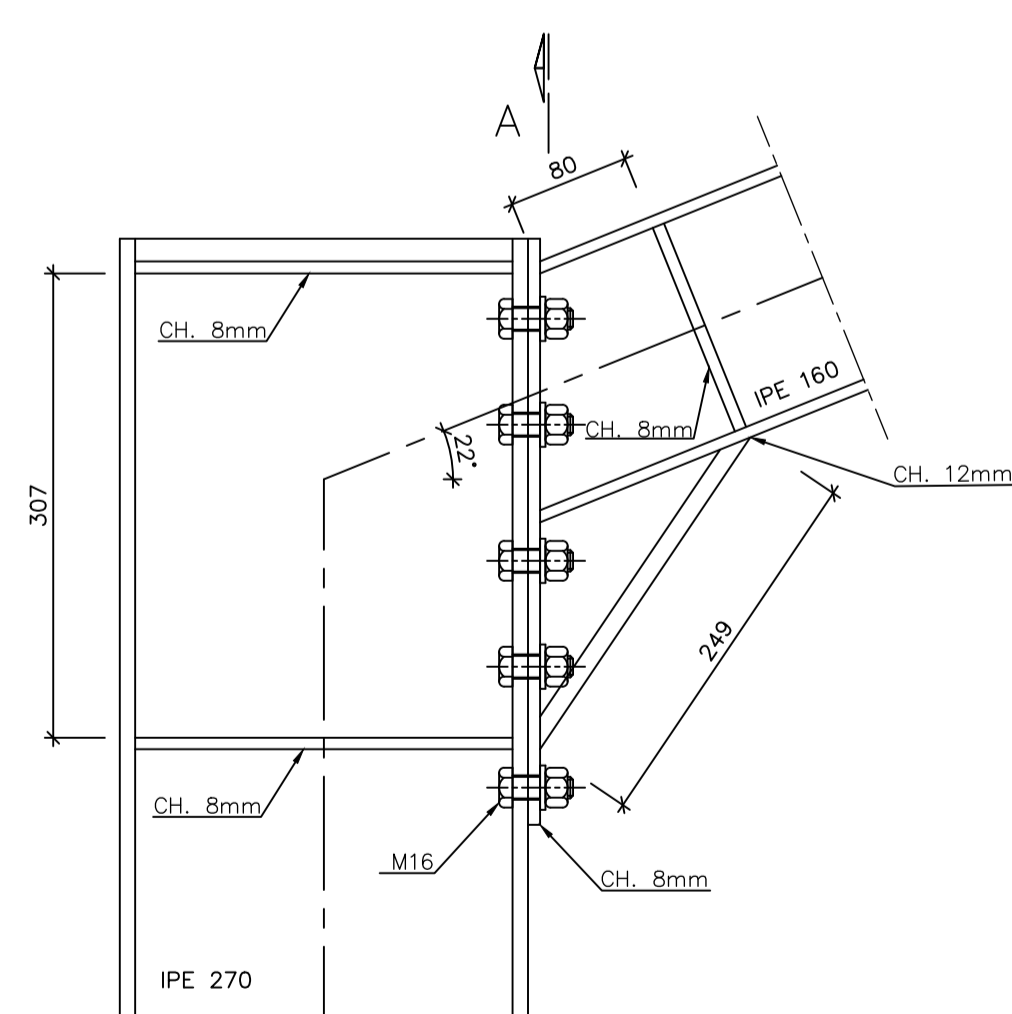
PÓRICO PRINCIPAL CORTE AA
ESC. 1/50



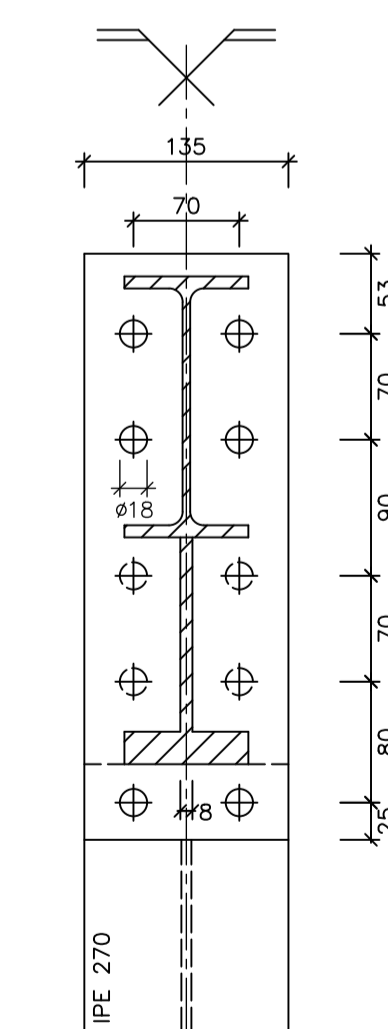
PORMENOR 3
ESC. 1/5



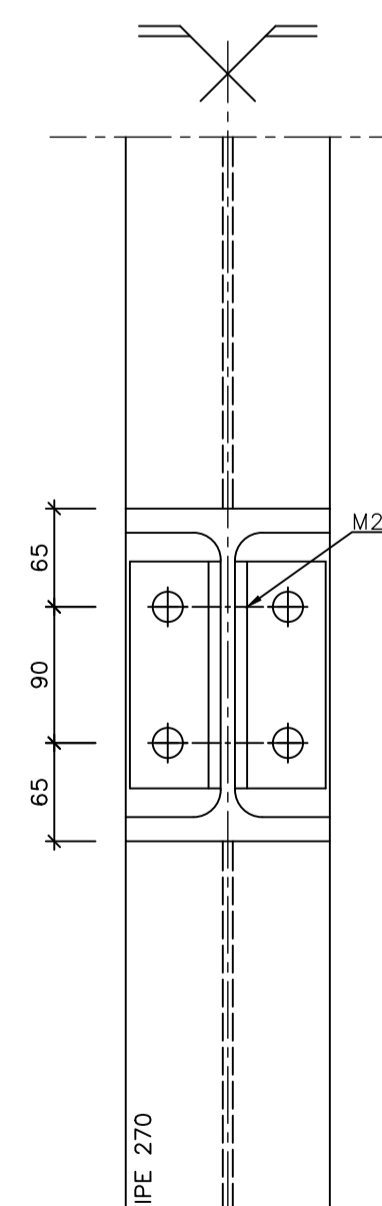
CORTE B-B
ESC. 1/5



PORMENOR 1
ESC. 1/5



CORTE A-A
ESC. 1/5



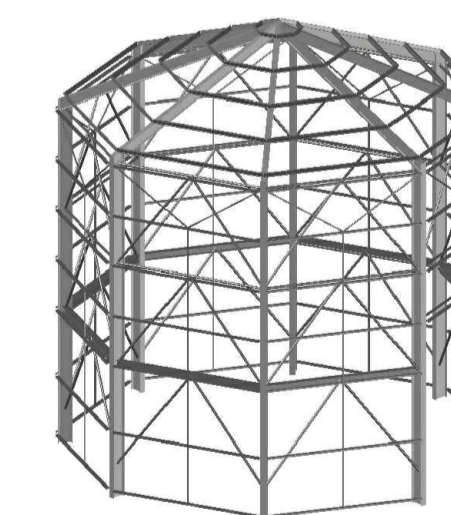
CORTE C-C
ESC. 1/5

DESENHOS A CONSULTAR

- DESENHO N° 01 – IMPLANTAÇÃO – PLANTA E ALÇADO
- DESENHO N° 06 – TORRE METÁLICA – PAVIMENTO METÁLICO E PORMENORES
- DESENHO N° 07 – TORRE METÁLICA – COBERTURA DA TORRE METÁLICA E PORMENORES
- DESENHO N° 09 – TORRE METÁLICA – PÓRICO PRINCIPAL E PORMENORES 02
- DESENHO N° 10 – TORRE METÁLICA – ALÇADOS LATERAIS E PORMENORES
- DESENHO N° 13 – LAJE – GEOMETRIA E DIMENSIONAMENTO

MATERIAIS

ESTRUTURAS METÁLICAS (EN 10025 E 10210-1)	
ELEMENTOS METÁLICOS	S275JR
PERFIS E CHAPAS BASE	S275JR
PARAFUSOS	ISO 272, ISO 7411
PARAFUSOS EM GERAL	CLASSE 5.6
PARAFUSOS PRÉ-ESFORÇADOS	CLASSE 8.8 E 10.9



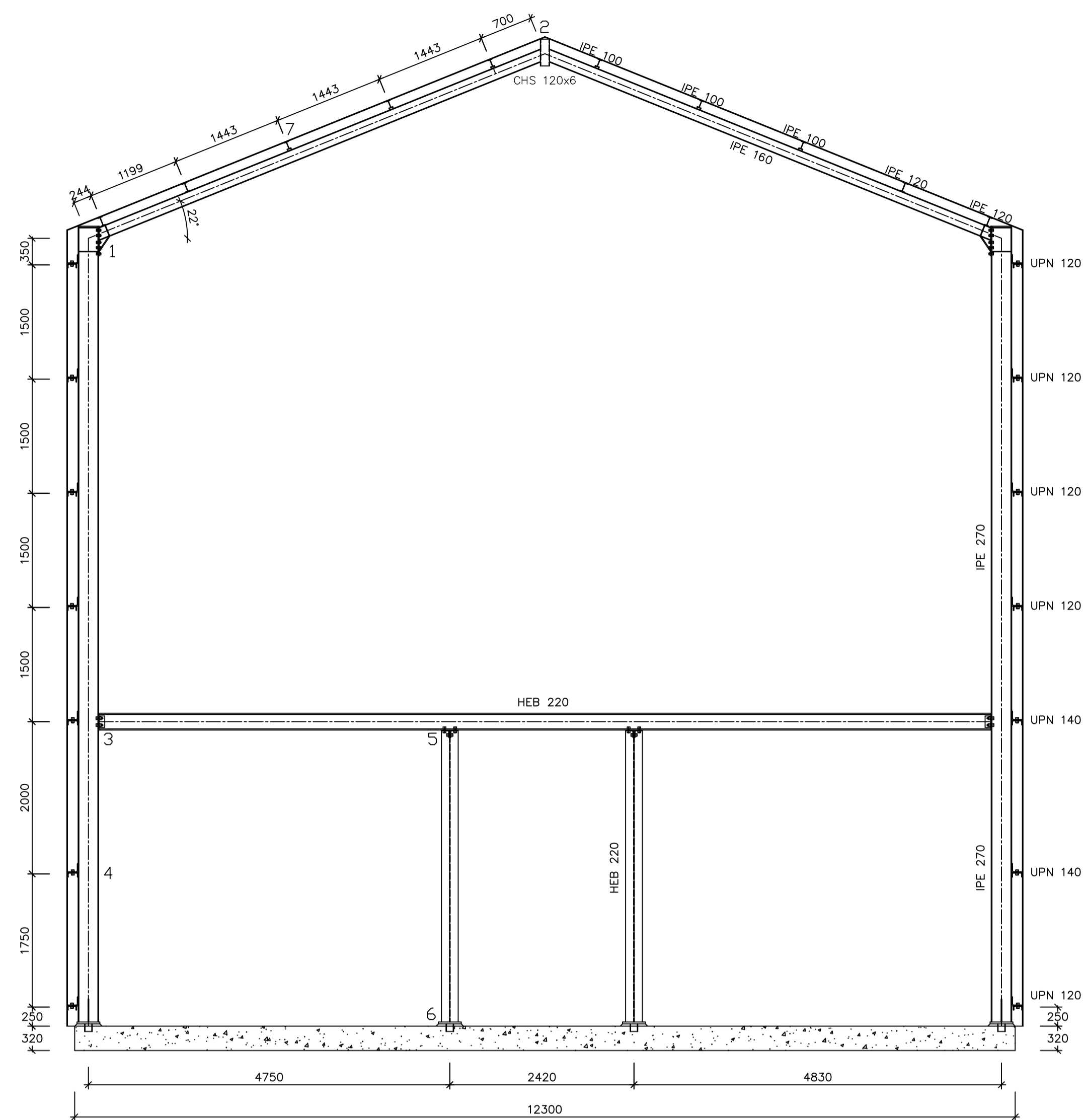
STOCK POLAR DE ARMAZENAMENTO DE CLÍNQUER

ESTRUTURA METÁLICA

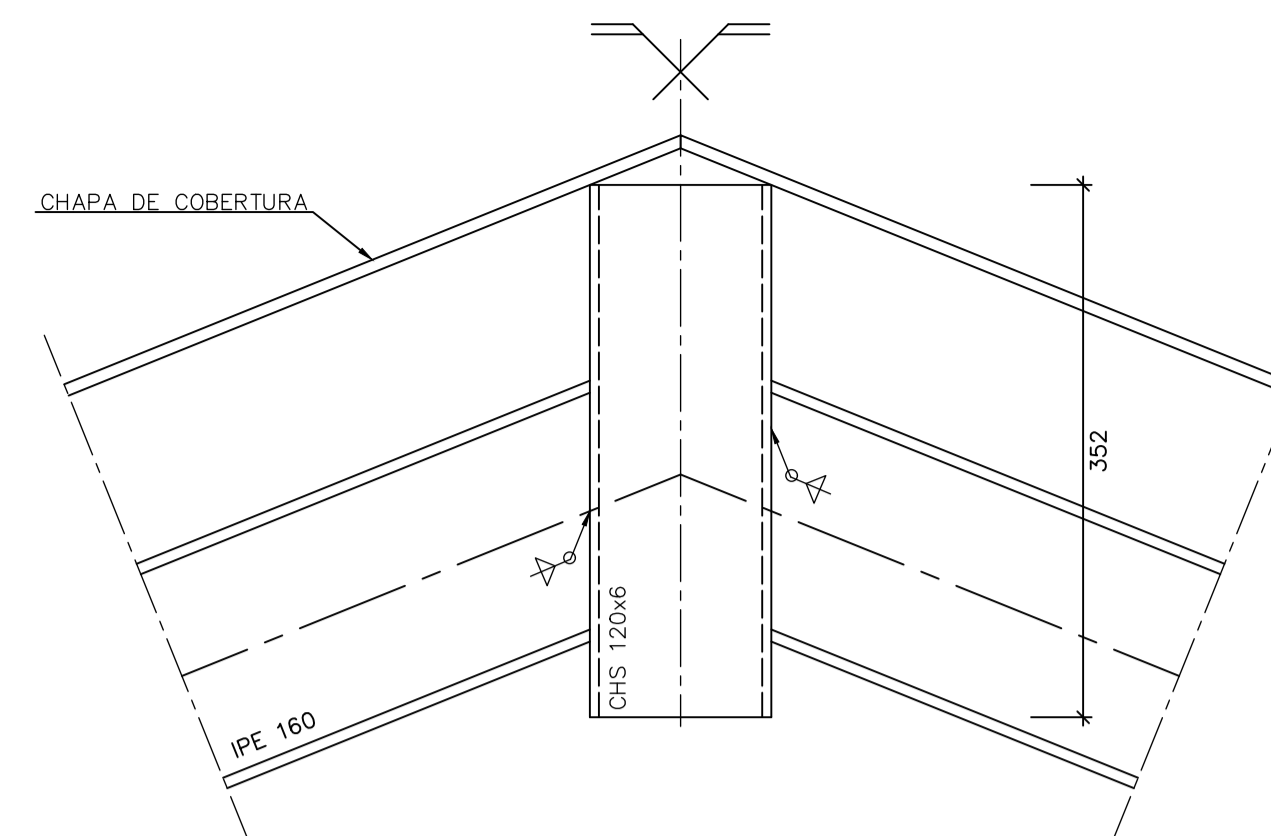
ANTEPROJETO		TORRE METÁLICA PÓRICO PRINCIPAL E PORMENORES 01		Escalas	
Projectou	JOÃO NUNES JUNHO/2021	Desenho N°	DESENHO N° 08	1:50	
Desenhou	JOÃO NUNES JUNHO/2021	Revisou		1:5	
Revisou		Verificou	0		
Verificou		Aprovou		Substitui:	
Aprovou		Fact. plot. : 1=50	Arquivo:	Subs. por:	



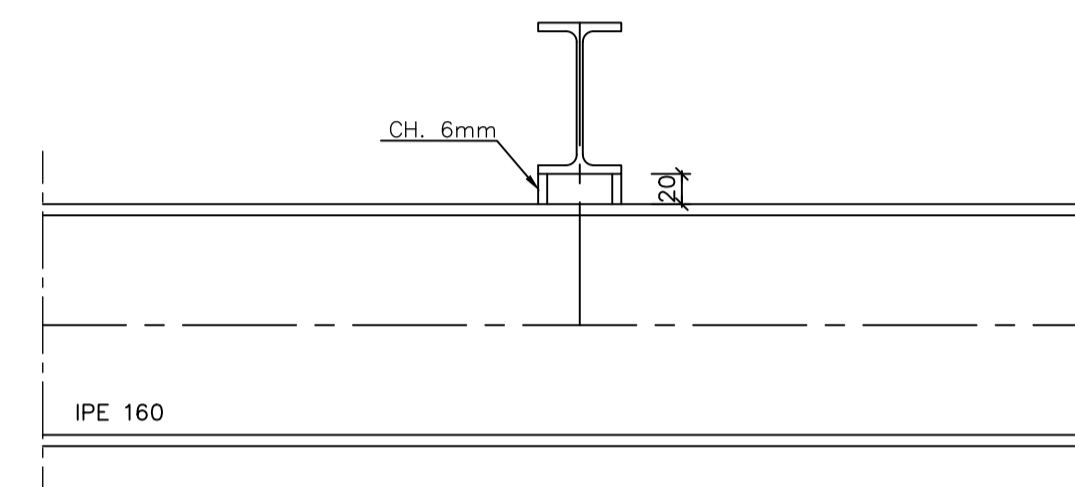
ISEL
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA



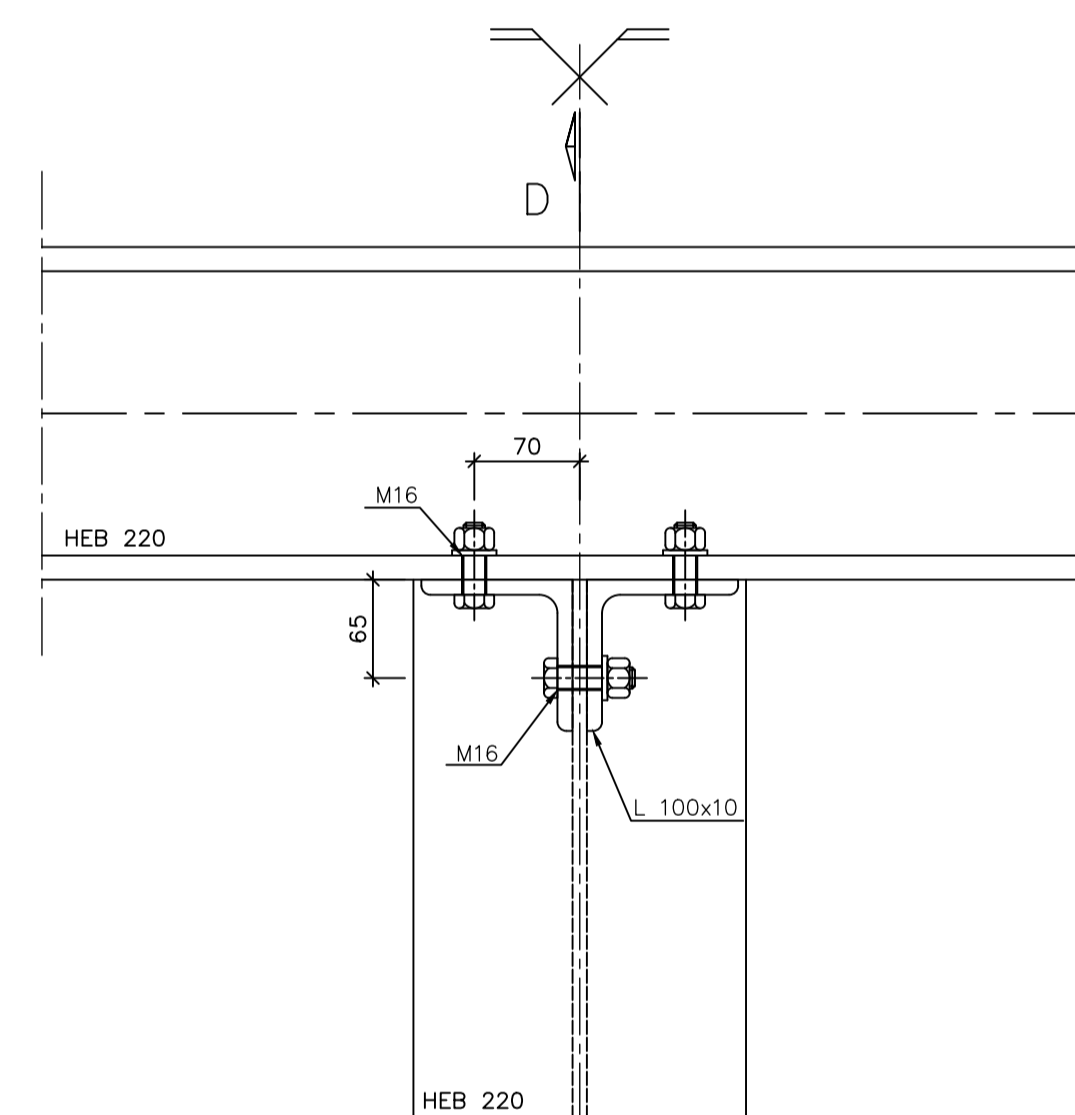
PÓRTICO PRINCIPAL CORTE AA
ESC. 1/50



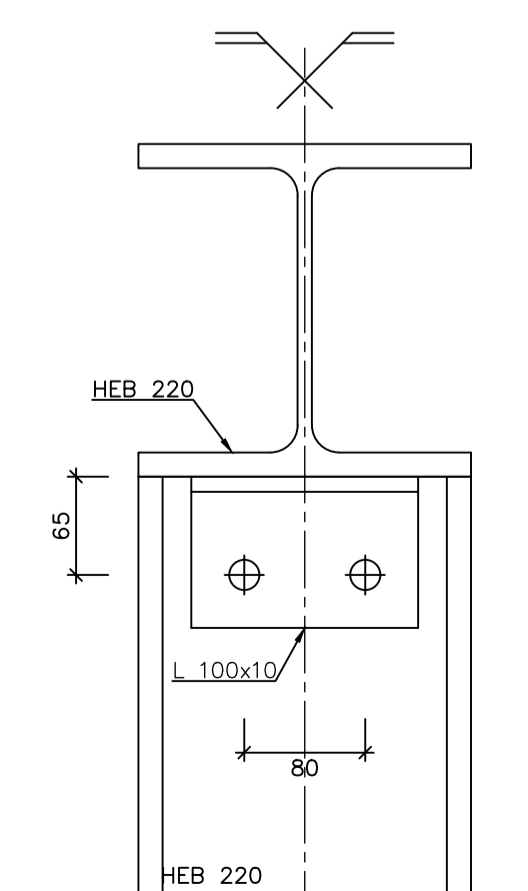
PORMENOR 2
ESC. 1/5



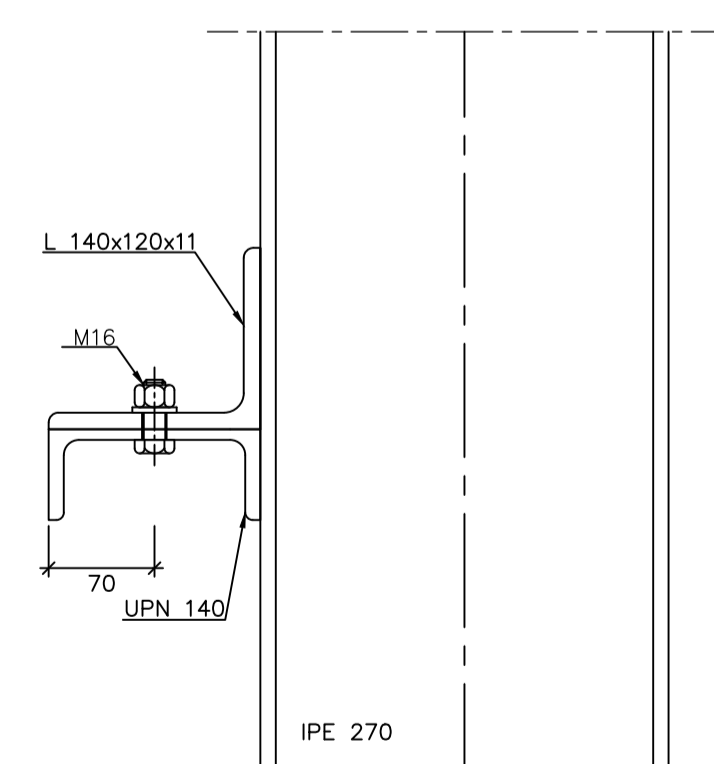
PORMENOR 7
ESC. 1/5



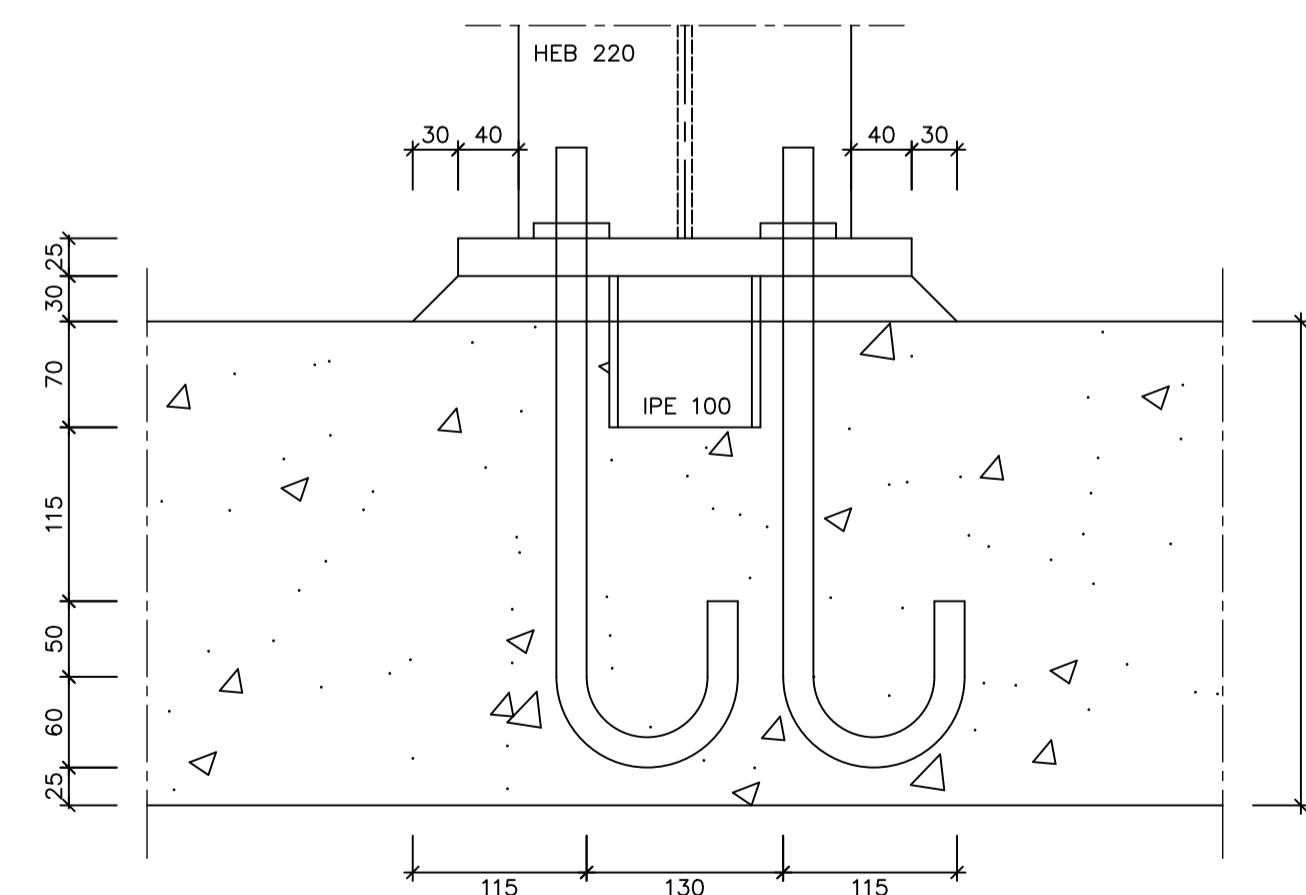
PORMENOR 5
ESC. 1/5



CORTE D-D
ESC. 1/5



PORMENOR 4
ESC. 1/5



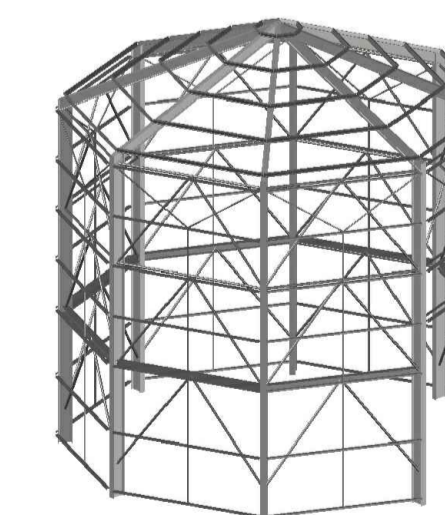
PORMENOR 6
ESC. 1/5

DESENHOS A CONSULTAR

- DESENHO N° 01 - IMPLANTAÇÃO - PLANTA E ALÇADO
- DESENHO N° 06 - TORRE METÁLICA - PAVIMENTO METÁLICO E PORMENORES
- DESENHO N° 07 - TORRE METÁLICA - COBERTURA DA TORRE METÁLICA E PORMENORES
- DESENHO N° 08 - TORRE METÁLICA - PÓRTICO PRINCIPAL E PORMENORES 01
- DESENHO N° 10 - TORRE METÁLICA - ALÇADOS LATERAIS E PORMENORES
- DESENHO N° 13 - LAJE - GEOMETRIA E DIMENSIONAMENTO

MATERIAIS

ESTRUTURAS METÁLICAS (EN 10025 E 10210-1)	
ELEMENTOS METÁLICOS	S275JR
PERFIS E CHAPAS BASE	S275JR
PARAFUSOS	ISO 272, ISO 7411
PARAFUSOS EM GERAL	CLASSE 5.6
PARAFUSOS PRÉ-ESFORÇADOS	CLASSE 8.8 E 10.9



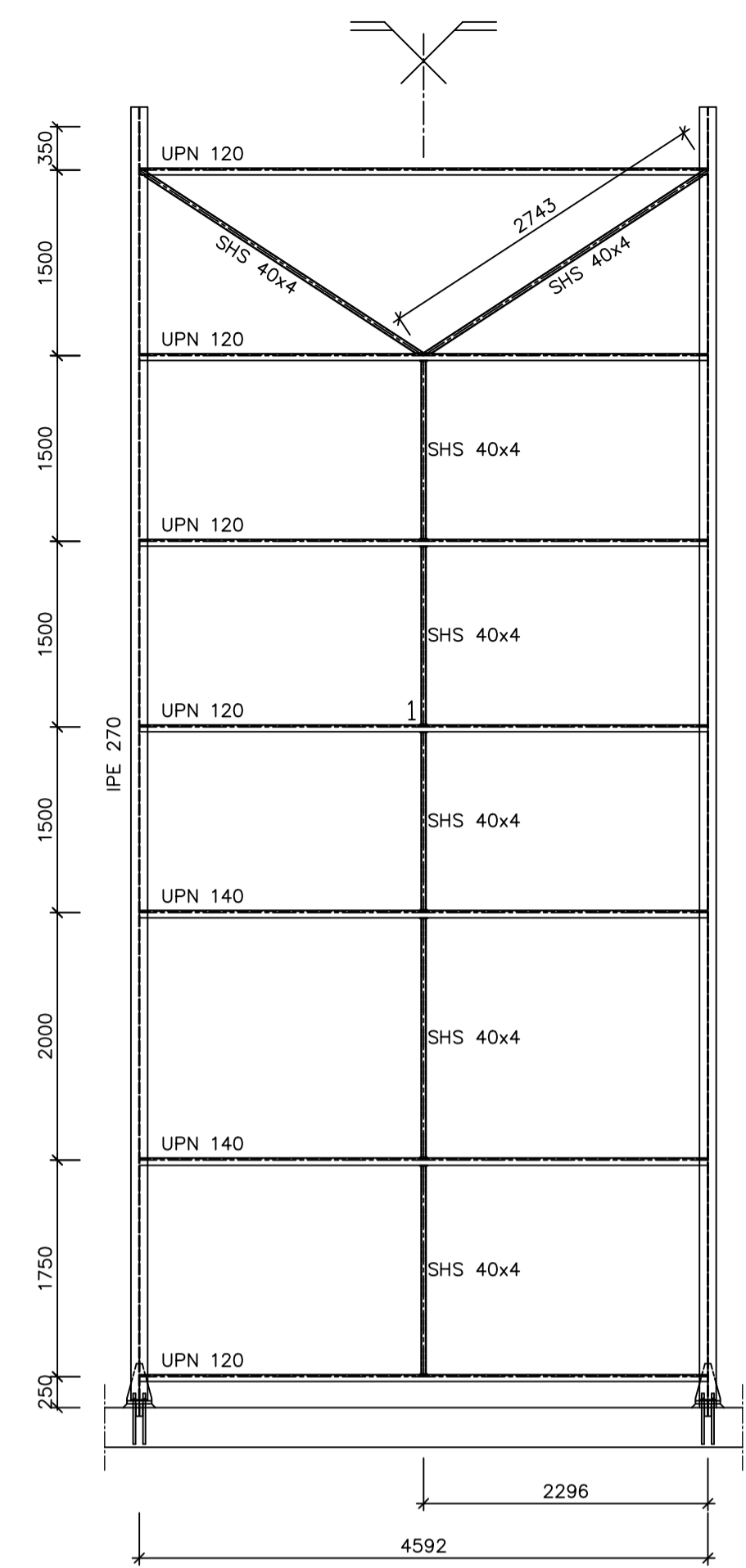
STOCK POLAR DE ARMAZENAMENTO DE CLÍNQUER

ESTRUTURA METÁLICA

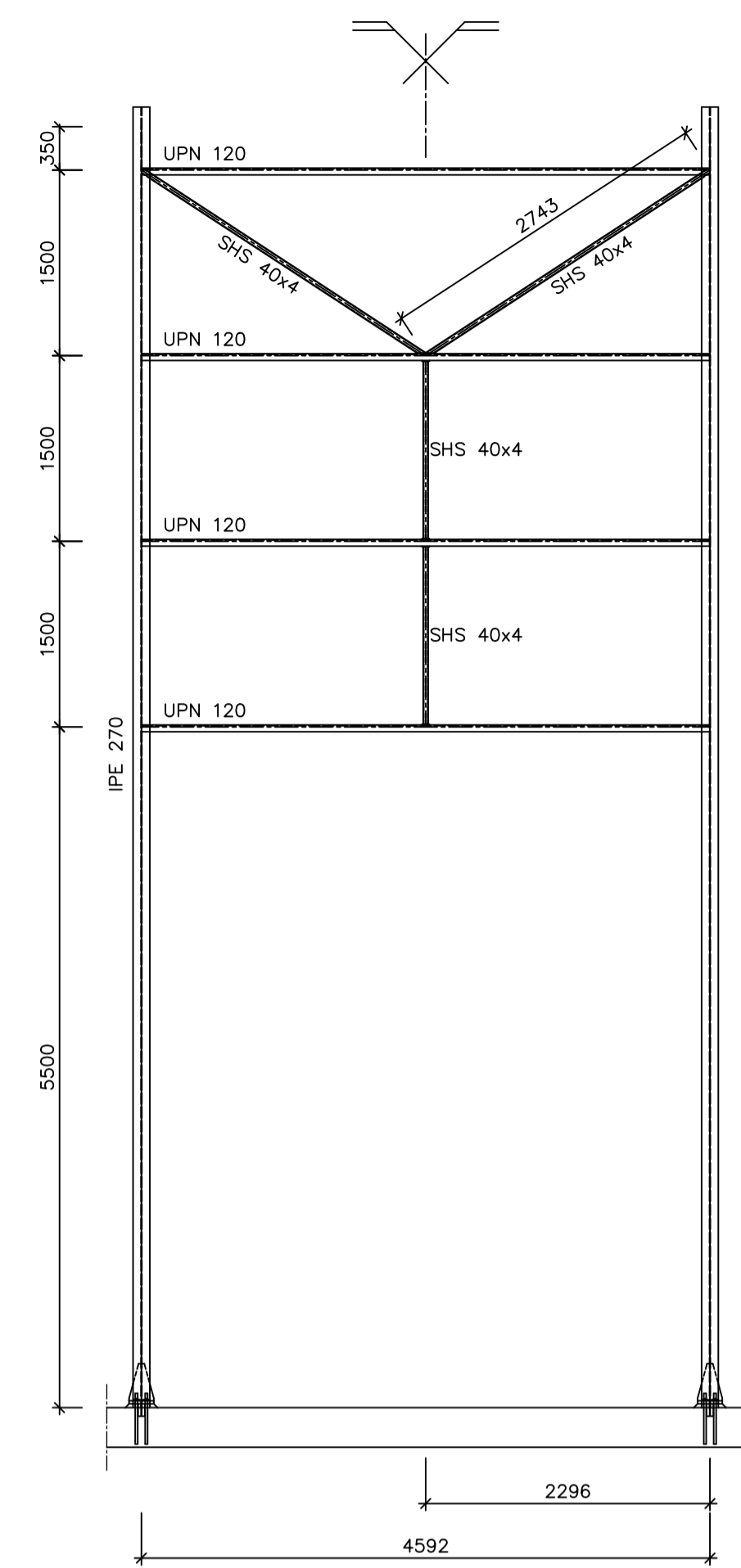
ANTEPROJETO		TORRE METÁLICA PÓRTICO PRINCIPAL E PORMENORES 02		Escalas	
Projectou	JOÃO NUNES JUNHO/2021	Desenho N°	DESENHO N° 09	1:50	
Desenhou	JOÃO NUNES JUNHO/2021	Revisão	0	1:5	
Verificou		Substitui:			
Aprovou		Substitui:			
Fact. plot. : 1=50	Arquivo:	Subs. por:			



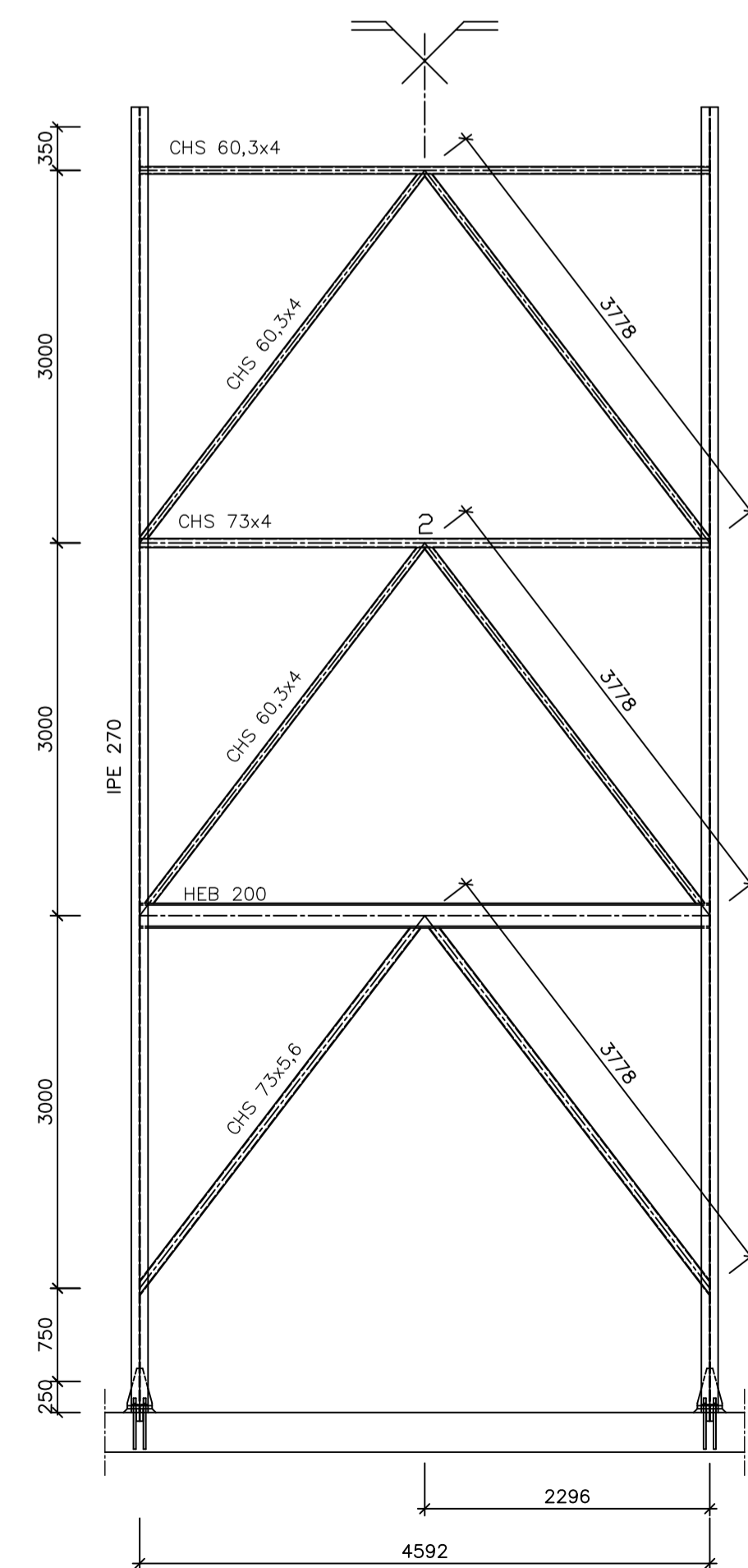
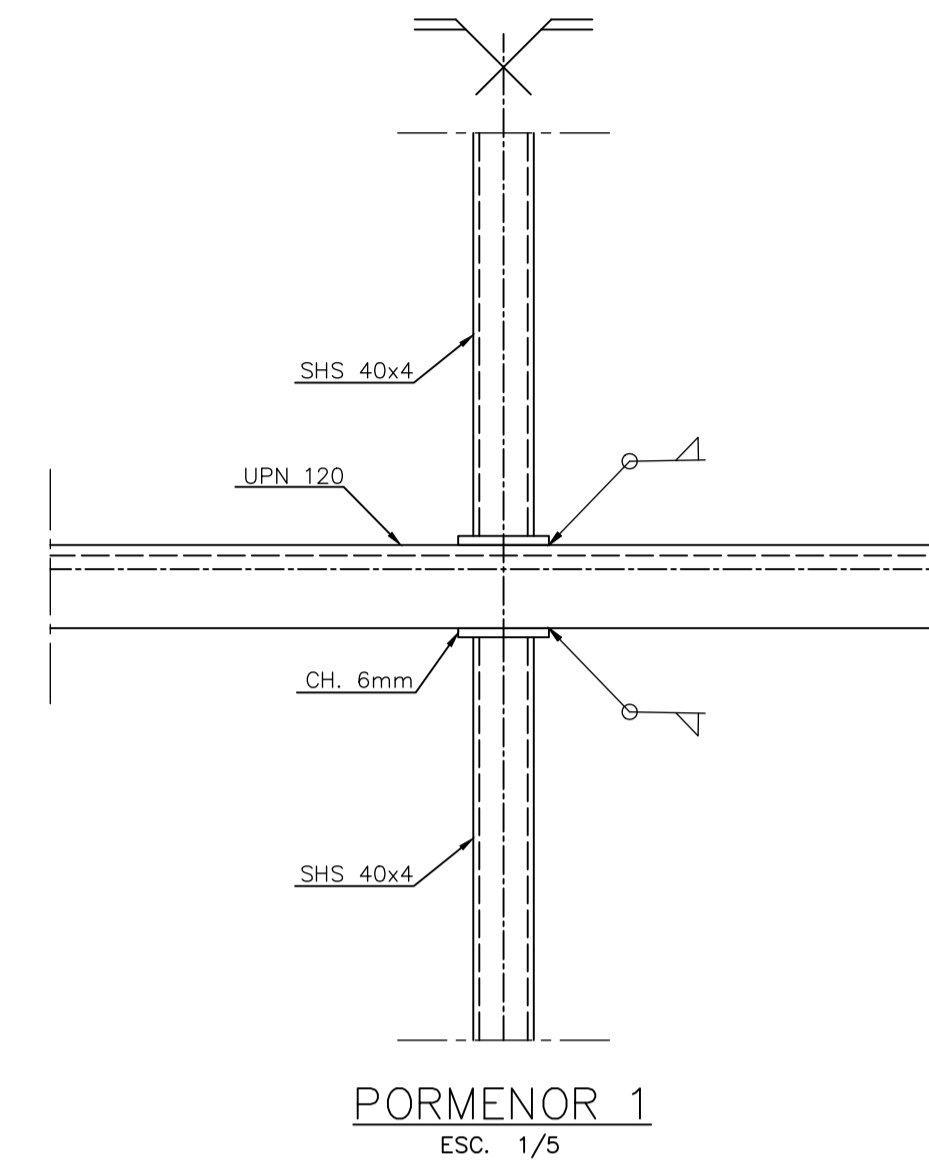
ISEL
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA



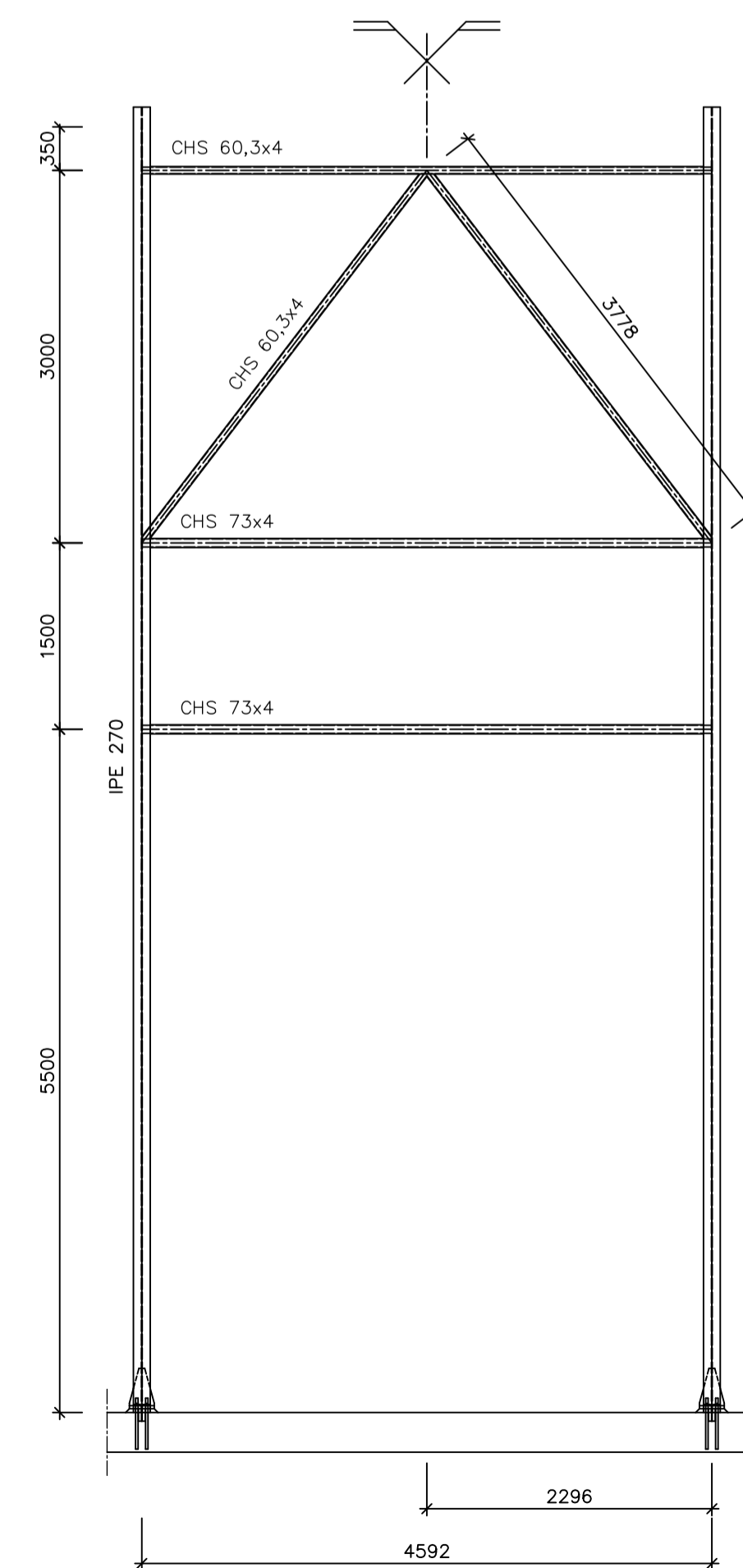
MADRES DO ALÇADO LATERAL TIPO
ESC. 1/50



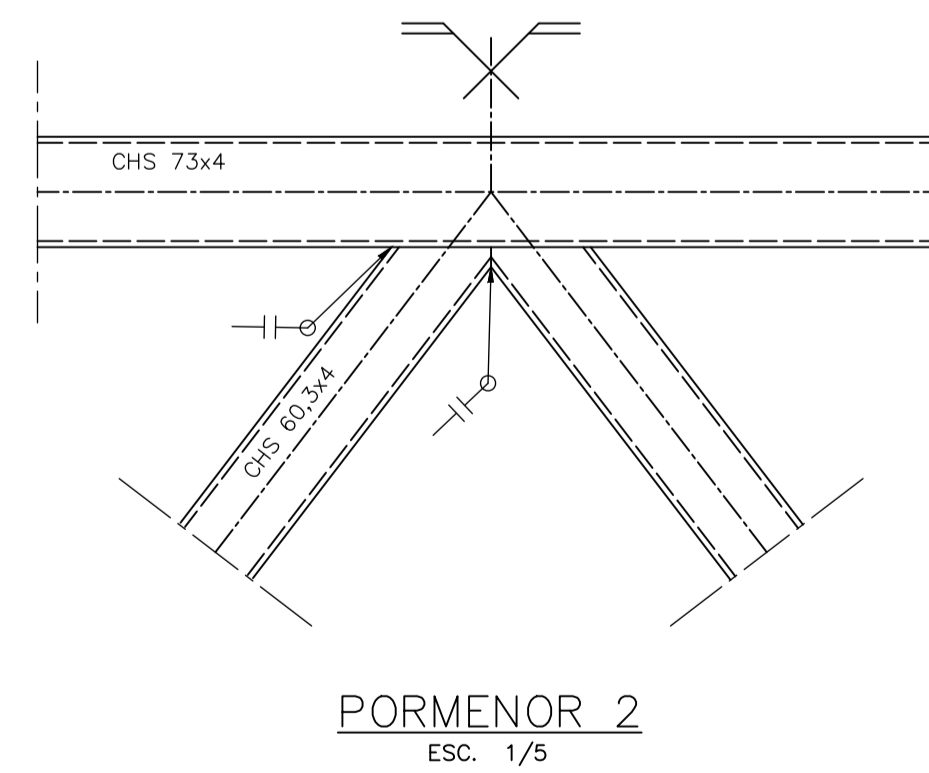
MADRES DO ALÇADO LATERAL - TELA TRANSPORTADORA
ESC. 1/50



TRAVAMENTOS DO ALÇADO LATERAL TIPO
ESC. 1/50



TRAVAMENTOS DO ALÇADO LATERAL - TELA TRANSPORTADORA
ESC. 1/50

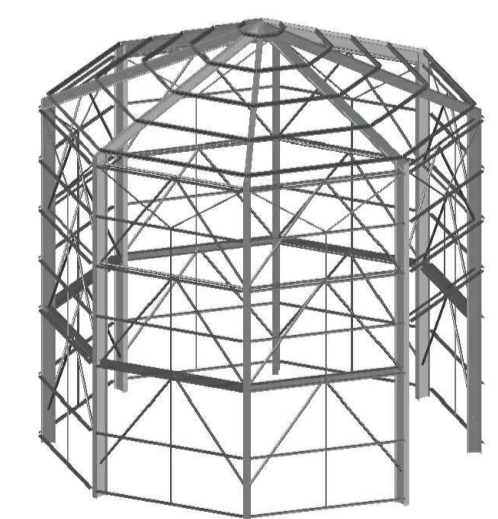


DESENHOS A CONSULTAR

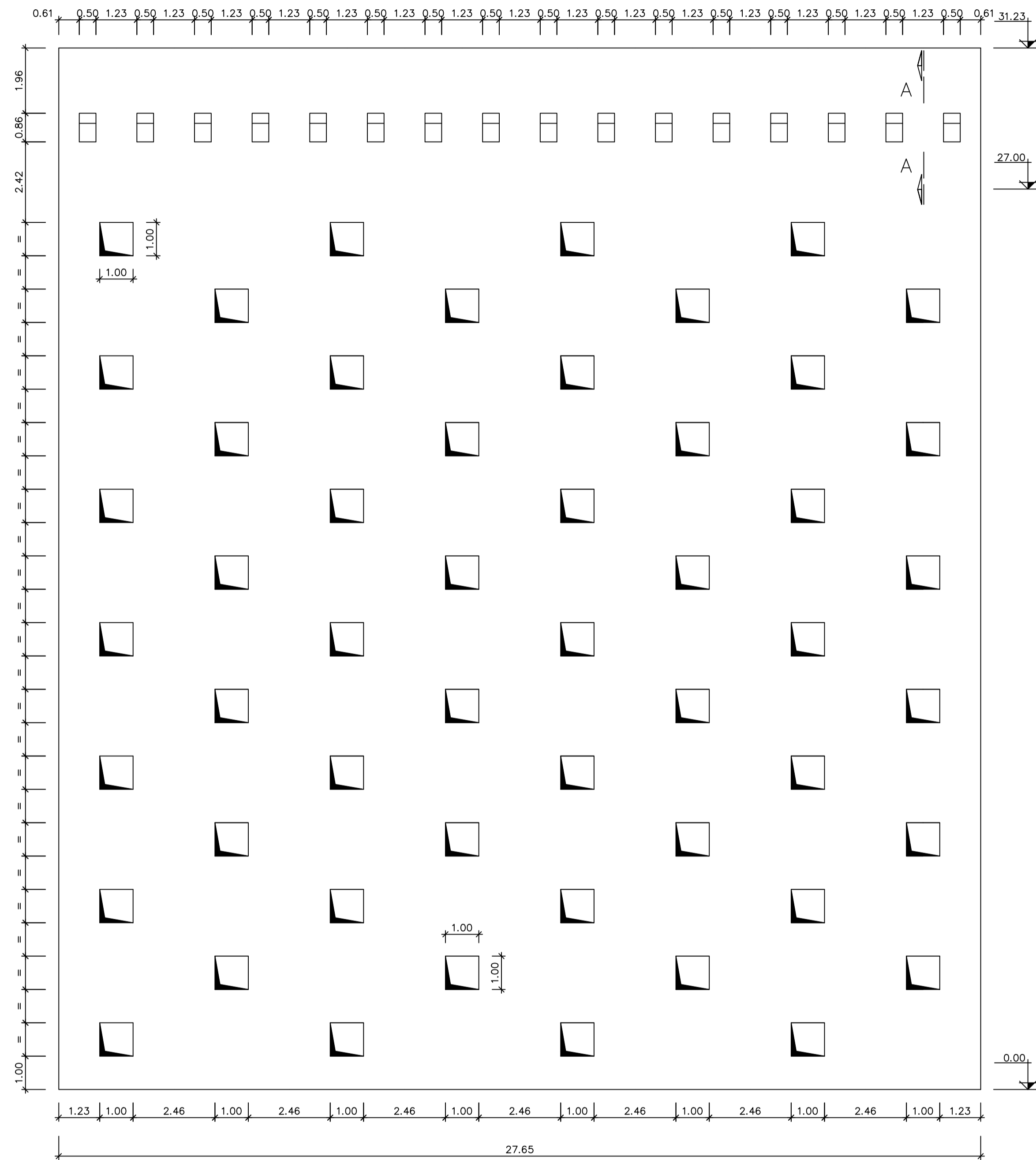
- DESENHO N° 01 - IMPLANTAÇÃO - PLANTA E ALÇADO
- DESENHO N° 06 - TORRE METÁLICA - PAVIMENTO METÁLICO E PORMENORES
- DESENHO N° 07 - TORRE METÁLICA - COBERTURA DA TORRE METÁLICA E PORMENORES
- DESENHO N° 08 - TORRE METÁLICA - PÓRTICO PRINCIPAL E PORMENORES 01
- DESENHO N° 09 - TORRE METÁLICA - PÓRTICO PRINCIPAL E PORMENORES 02
- DESENHO N° 13 - LAJE - GEOMETRIA E DIMENSIONAMENTO

MATERIAIS

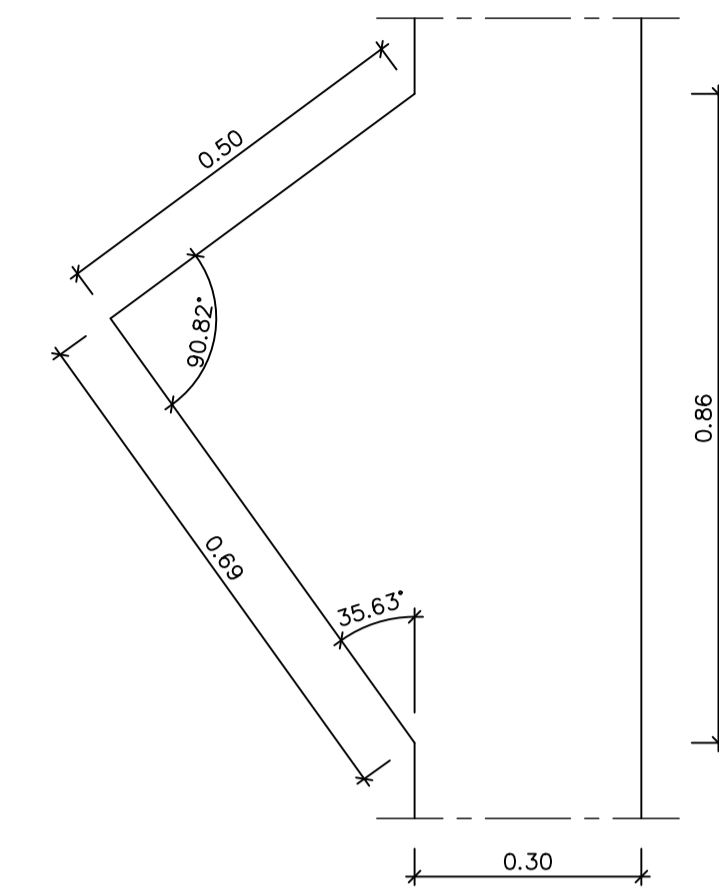
ESTRUTURAS METÁLICAS (EN 10025 E 10210-1)	
ELEMENTOS METÁLICOS	S275JR
PERFIS E CHAPAS BASE	S275JR
PARAFUSOS	ISO 272, ISO 7411
PARAFUSOS EM GERAL	CLASSE 5.6
PARAFUSOS PRÉ-ESFORÇADOS	CLASSE 8.8 E 10.9



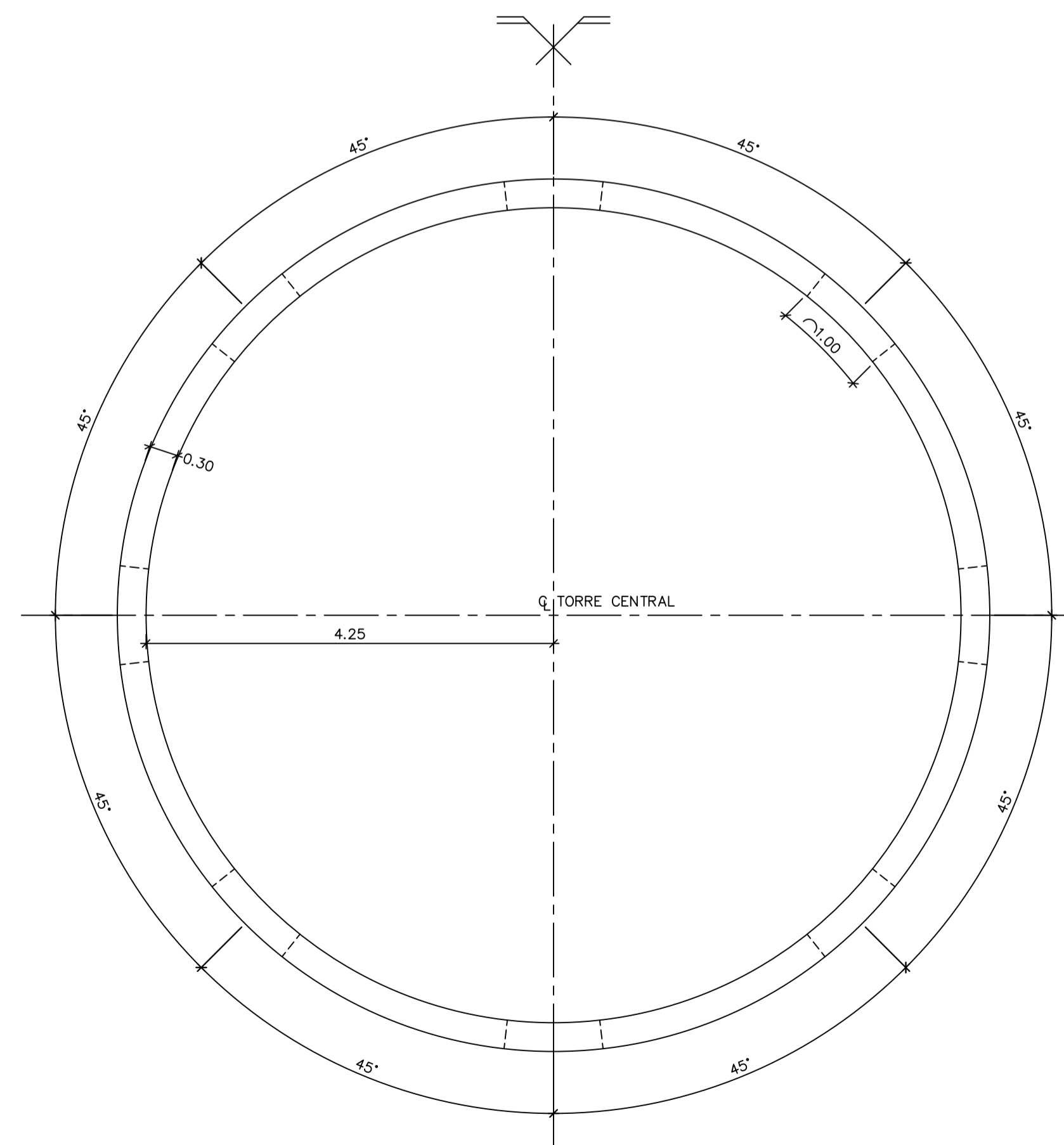
STOCK POLAR DE ARMAZENAMENTO DE CLÍNQUER				
ESTRUTURA METÁLICA				
ANTEPROJETO		TORRE METÁLICA ALÇADOS LATERAIS E PORMENORES		
	Projectou	JOÃO NUNES JUNHO/2021	Desenho N°	Escalas 1:50 1:5
	Desenhou	JOÃO NUNES JUNHO/2021	DESENHO N° 10	
	Revisou		0	
	Verificou			
	Aprovou			
Fact. plot. : 1=50	Arquivo:		Substitui:	Subs. por:



PLANIFICAÇÃO DA PAREDE DA TORRE CENTRAL
Esc. 1/100



VISTA LATERAL A-A
Esc. 1/10



PLANTA DA TORRE CENTRAL À COTA 27.00m
Esc. 1/50

DESENHOS A CONSULTAR

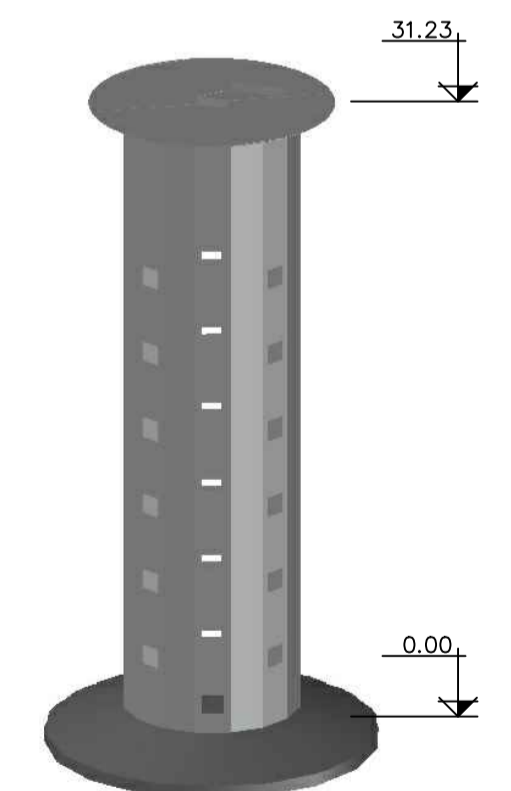
- DESENHO Nº 01 – IMPLANTAÇÃO – PLANTA E ALÇADO
- DESENHO Nº 02 – IMPLANTAÇÃO – PLANTA E GOMO TIPO DA COBERTURA DO STOCK
- DESENHO Nº 03 – COBERTURA METÁLICA DO STOCK – ASNA TIPO E PORMENORES – APOIOS
- DESENHO Nº 04 – COBERTURA METÁLICA DO STOCK – ASNA TIPO E PORMENORES – GOUSSETS E LIGAÇÕES SOLDADAS
- DESENHO Nº 05 – COBERTURA METÁLICA DO STOCK – ASNA TIPO E PORMENORES – LIG. APARAFUSADAS E SOLDADAS
- DESENHO Nº 12 – TORRE CENTRAL DE BETÃO ARMADO E PORMENORES – DIMENSIONAMENTO
- DESENHO Nº 13 – LAJE – GEOMETRIA E DIMENSIONAMENTO
- DESENHO Nº 15 – SAPATA DA TORRE CENTRAL – GEOMETRIA E DIMENSIONAMENTO

MATERIAIS

BETÃO (NP EN 206)	CLASSE DE RESISTENCIA	TIPO DE CIMENTO	INDICE DE CLORETO	CLASSE ESTRUTURAL	D _{mdx}	A/C	DOSAGEM MIN DE CIMENTO	C _{min}
SILO DE RETENÇÃO	C30/37	CEM I	CI 0,4	S4	20mm	0,60	280kg/m ³	30mm
TORRE CENTRAL	C30/37	CEM I	CI 0,4	S4	20mm	0,60	280kg/m ³	30mm
LAJE	C30/37	CEM I	CI 0,4	S3	20mm	0,60	280kg/m ³	30mm
SAPATAS DE FUNDAÇÃO	C30/37	CEM I	CI 0,4	S3	20mm	0,65	240kg/m ³	50mm

- NOTAS:
 1- OS COMPRIMENTOS DE AMARRAÇÃO E OS EMPALMES SÃO IGUAIS A 50Ø
 2- PROIBIDO O EMPALME DE MAIS DE 1/3 DA ARMADURA EM CADA SECÇÃO

AÇO
 A500NR

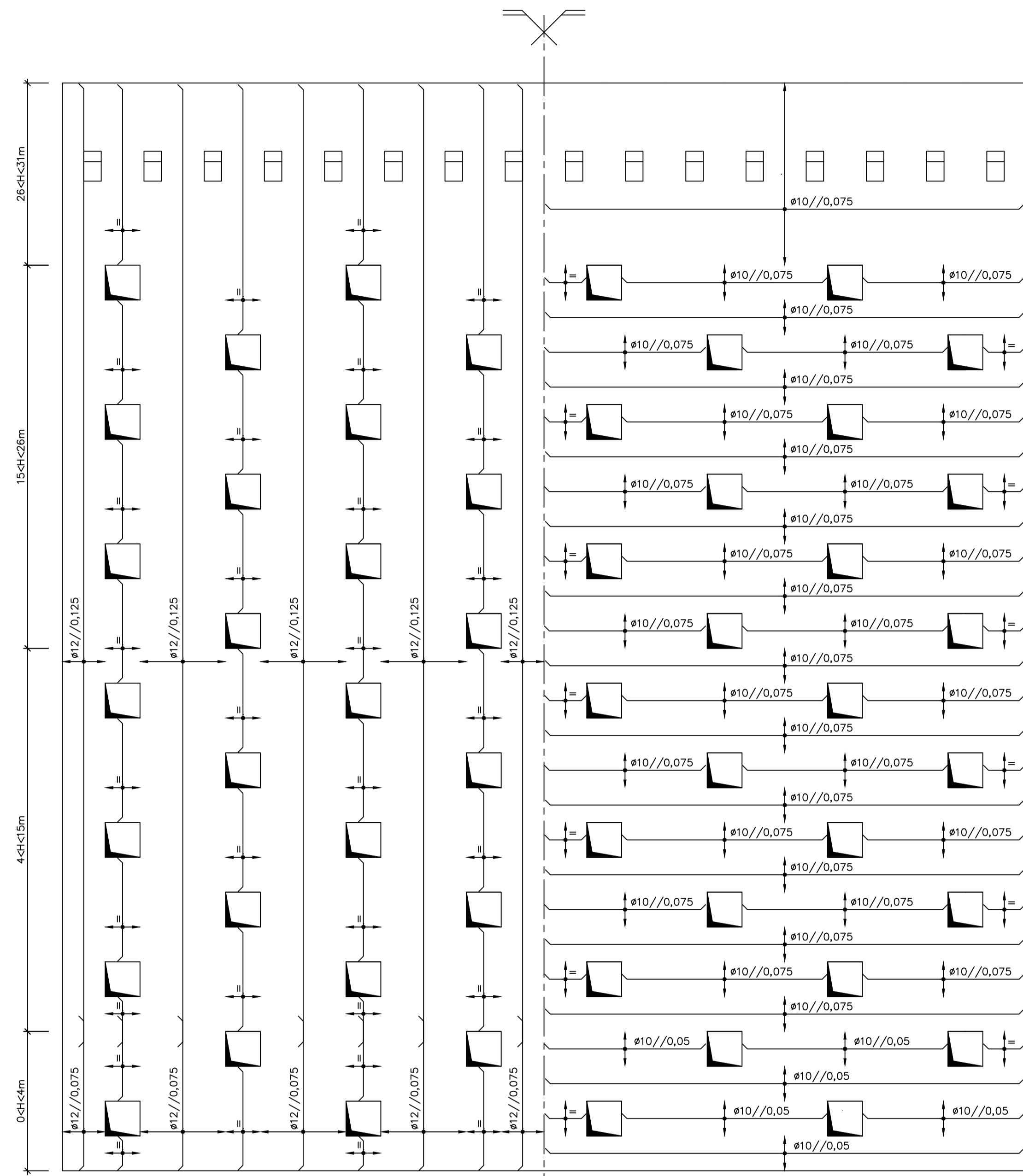


STOCK POLAR DE ARMAZENAMENTO DE CLÍNQUER

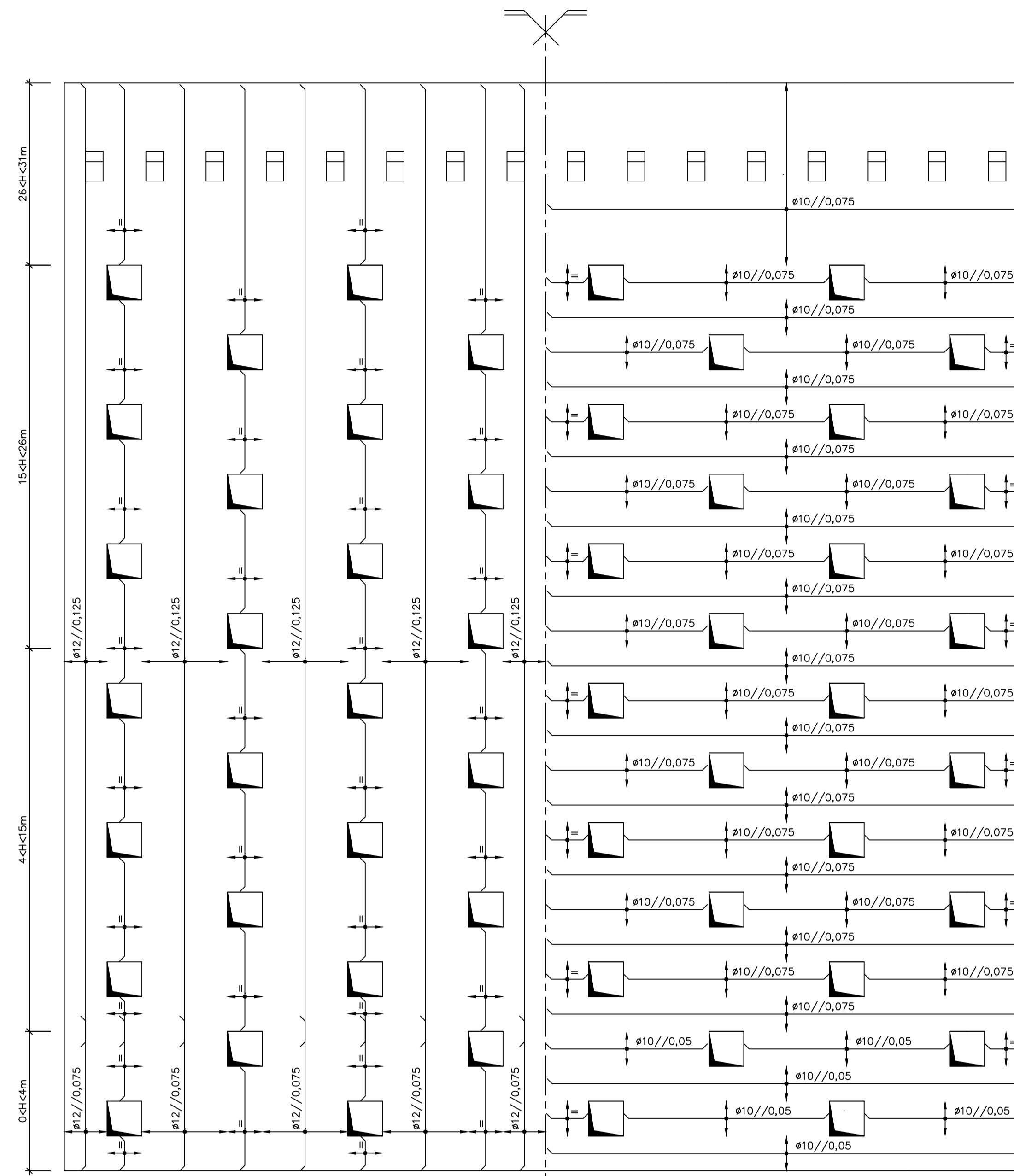
ESTRUTURA DE BETÃO ARMADO

ANTEPROJETO TORRE CENTRAL DE BETÃO ARMADO E PORMENORES GEOMETRIA

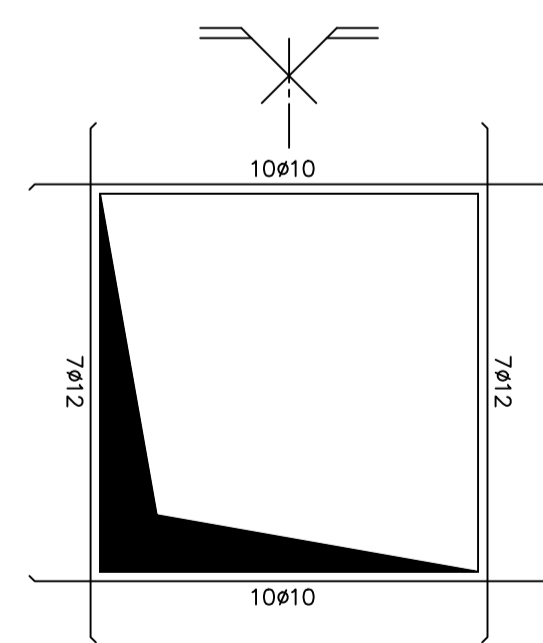
	Projectou	JOÃO NUNES JUNHO/2021	Desenho Nº	DESENHO Nº 11 1:100 1:50 1:10
	Desenhou	JOÃO NUNES JUNHO/2021	Verificou	
	Revisou		Substituiu	
	Verificou		Substituiu	
	Aprovou		Substituiu	
Fact. plot. : 1=100	Arquivo:	Subs. por:		



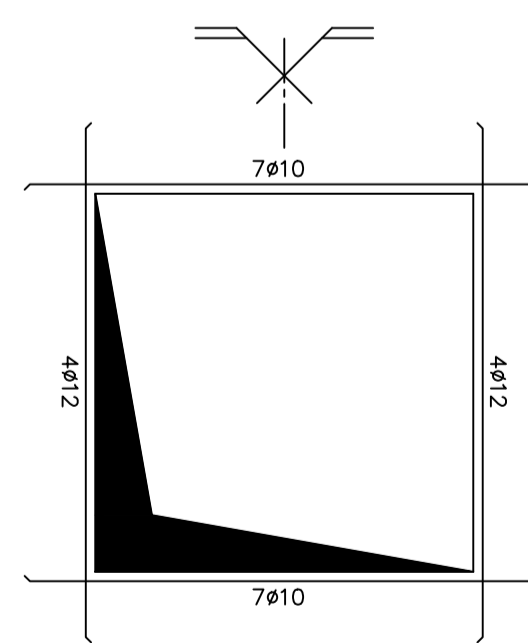
ARMADURAS EXTERIORES
ESC. 1/100



ARMADURAS INTERIORES
ESC. 1/100



ARMADURAS NA ABERTURA
TIPO 0<math>\leq h < 4</math>
ESC. 1/20



ARMADURAS NA ABERTURA
TIPO 4<math>\leq h < 31</math>
ESC. 1/20

DESENHOS A CONSULTAR

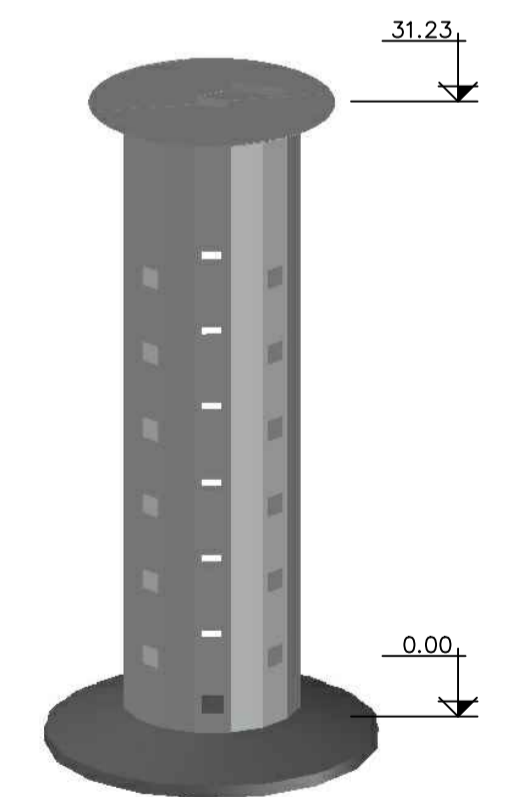
- DESENHO N° 01 – IMPLANTAÇÃO – PLANTA E ALÇADO
- DESENHO N° 02 – IMPLANTAÇÃO – PLANTA E GOMO TIPO DA COBERTURA DO STOCK
- DESENHO N° 03 – COBERTURA METÁLICA DO STOCK – ASNA TIPO E PORMENORES – APOIOS
- DESENHO N° 04 – COBERTURA METÁLICA DO STOCK – ASNA TIPO E PORMENORES – GOUSSETS E LIGAÇÕES SOLDADAS
- DESENHO N° 05 – COBERTURA METÁLICA DO STOCK – ASNA TIPO E PORMENORES – LIG. APARAFUSADAS E SOLDADAS
- DESENHO N° 11 – TORRE CENTRAL DE BETÃO ARMADO E PORMENORES – GEOMETRIA
- DESENHO N° 13 – LAJE – GEOMETRIA E DIMENSIONAMENTO
- DESENHO N° 15 – SAPATA DA TORRE CENTRAL – GEOMETRIA E DIMENSIONAMENTO

MATERIAIS

ELEMENTOS ESTRUTURAIS	CLASSE DE RESISTENCIA	TIPO DE CIMENTO	INDICE DE CLORETOS	CLASSE ESTRUTURAL	D _{máx}	A/C	DOSAGEM MIN DE CIMENTO	C _{mín}
SILO DE RETENÇÃO	C30/37	CEM I	CI 0,4	S4	20mm	0,60	280kg/m ³	30mm
TORRE CENTRAL	C30/37	CEM I	CI 0,4	S4	20mm	0,60	280kg/m ³	30mm
LAJE	C30/37	CEM I	CI 0,4	S3	20mm	0,60	280kg/m ³	30mm
SAPATAS DE FUNDAÇÃO	C30/37	CEM I	CI 0,4	S3	20mm	0,65	240kg/m ³	50mm

- NOTAS:
1- OS COMPRIMENTOS DE AMARRAÇÃO E OS EMPALMES SÃO IGUAIS A 50ϕ
2- PROIBIDO O EMPALME DE MAIS DE $\frac{1}{3}$ DA ARMADURA EM CADA SECÇÃO

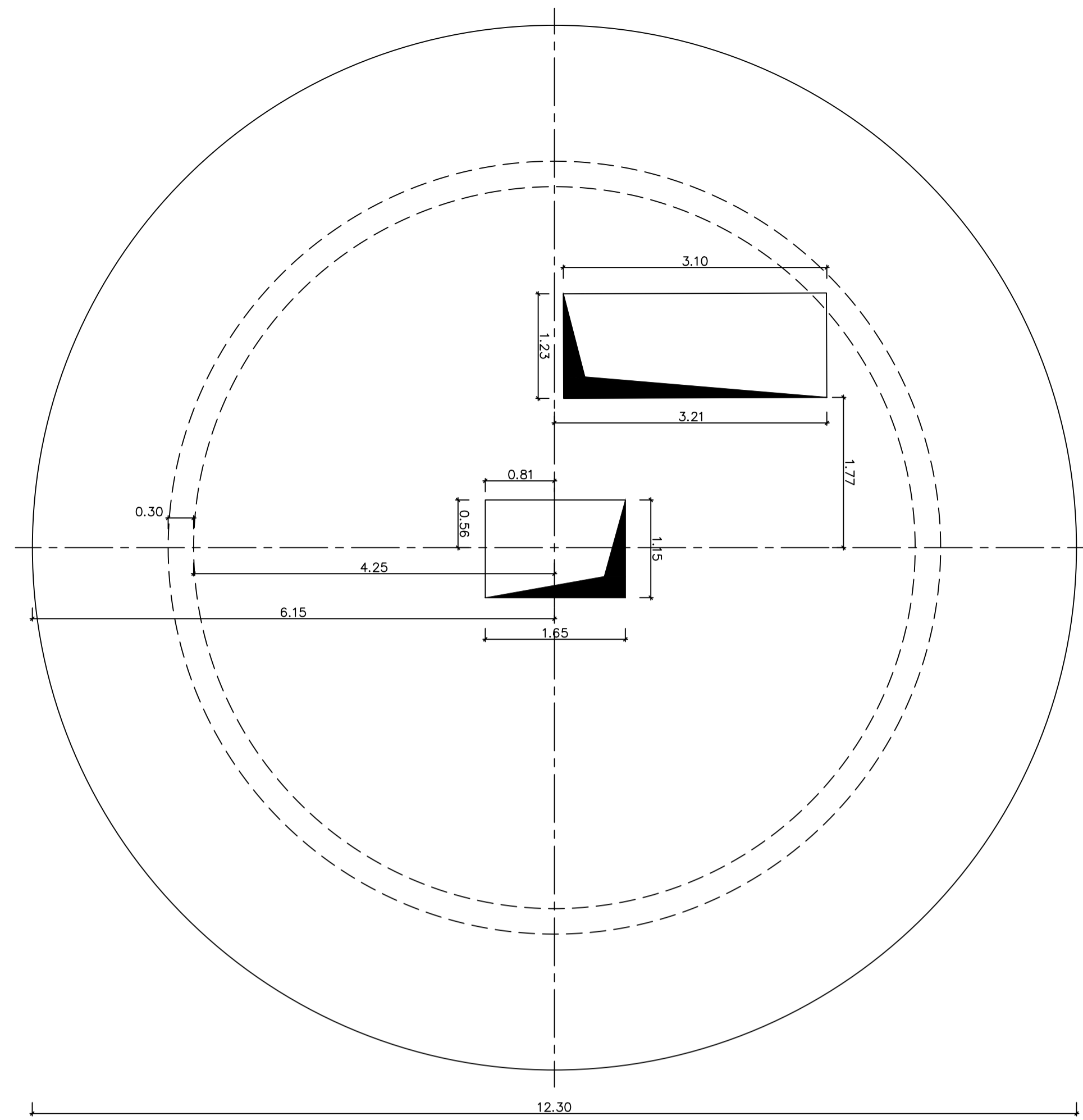
ÁÇO
A500NR



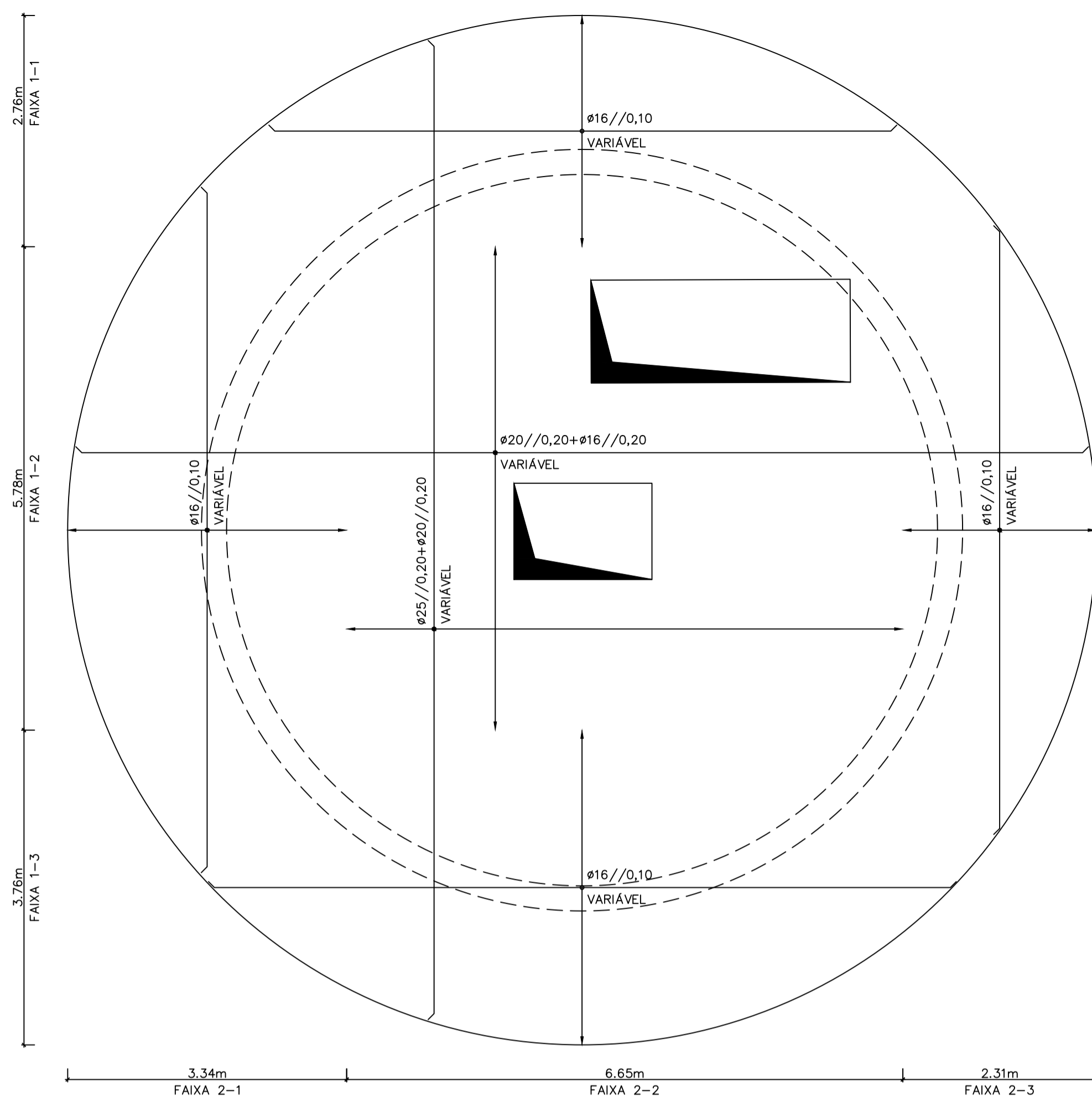
STOCK POLAR DE ARMAZENAMENTO DE CLÍNQUER

ESTRUTURA DE BETÃO ARMADO

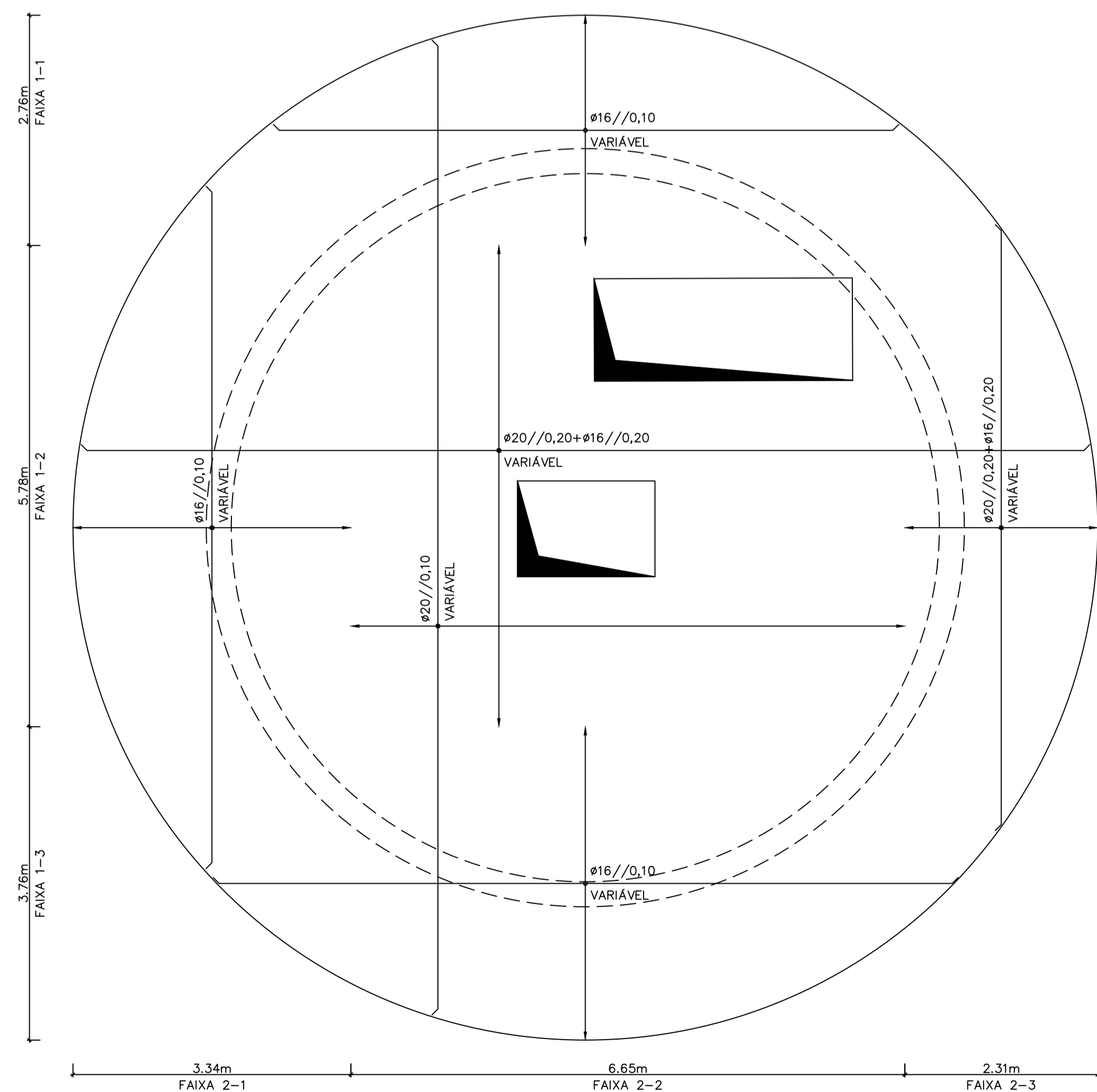
ANTEPROJETO		TORRE CENTRAL DE BETÃO ARMADO E PORMENORES DIMENSIONAMENTO		
Projectou	JOÃO NUNES JUNHO/2021	Desenho N°	DESENHO N° 12	
Desenhou	JOÃO NUNES JUNHO/2021	Revisão	0	
Verificou		Substitui:		
Aprovou		Substitui:		
Fact. plot. : 1=100	Arquivo:	Subs. por:		
Escalas		1:100 1:20 1:10		



PLANTA À COTA 31,55m
Esc. 1/50



ARMADURAS SUPERIORES
Esc. 1/50



ARMADURAS INFERIORES
Esc. 1/50

DESENHOS A CONSULTAR

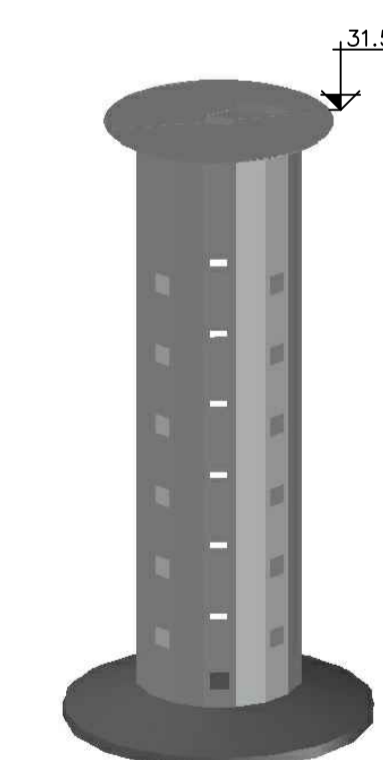
- DESENHO Nº 01 – IMPLANTAÇÃO – PLANTA E ALÇADO
- DESENHO Nº 06 – TORRE METÁLICA – PAVIMENTO METÁLICO E PORMENORES
- DESENHO Nº 07 – TORRE METÁLICA – COBERTURA DA TORRE METÁLICA E PORMENORES
- DESENHO Nº 08 – TORRE METÁLICA – PÓRTICO PRINCIPAL E PORMENORES 01
- DESENHO Nº 09 – TORRE METÁLICA – PÓRTICO PRINCIPAL E PORMENORES 02
- DESENHO Nº 10 – TORRE METÁLICA – ALÇADOS LATERAIS E PORMENORES
- DESENHO Nº 11 – TORRE CENTRAL DE BETÃO ARMADO E PORMENORES – GEOMETRIA
- DESENHO Nº 12 – TORRE CENTRAL DE BETÃO ARMADO E PORMENORES – DIMENSIONAMENTO

MATERIAIS

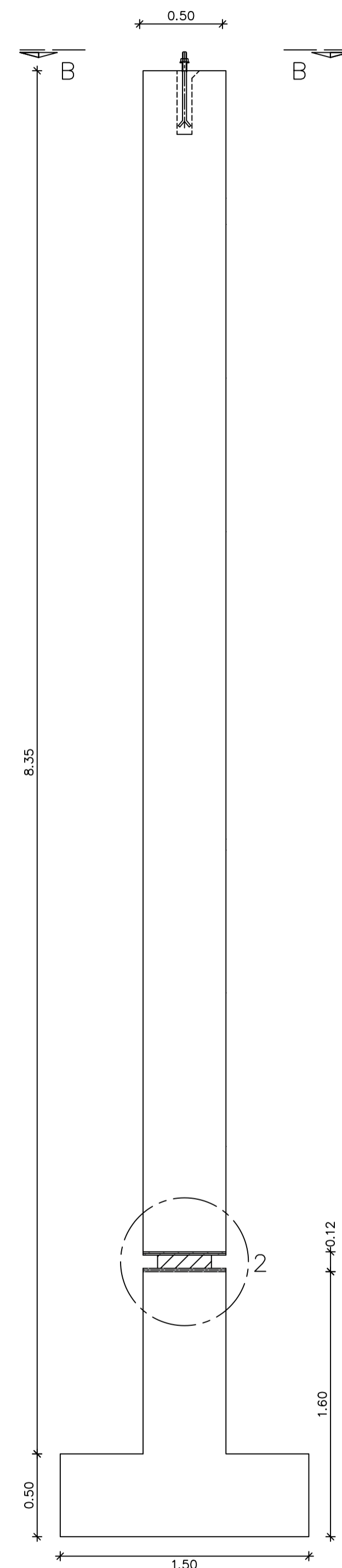
BETÃO (NP EN 206)	CLASSE DE RESISTÊNCIA	TIPO DE CIMENTO	ÍNDICE DE CLORETOS	CLASSE ESTRUTURAL	D _{max}	A/C	DOSAGEM MIN DE CIMENTO	C _{min}
SILO DE RETENÇÃO	C30/37	CEM I	CI 0,4	S4	20mm	0,60	280kg/m ³	30mm
TORRE CENTRAL	C30/37	CEM I	CI 0,4	S4	20mm	0,60	280kg/m ³	30mm
LAJE	C30/37	CEM I	CI 0,4	S3	20mm	0,60	280kg/m ³	30mm
SAPATAS DE FUNDAÇÃO	C30/37	CEM I	CI 0,4	S3	20mm	0,65	240kg/m ³	50mm

NOTAS:
1- OS COMPRIMENTOS DE AMARRAÇÃO E OS EMPALMES SÃO IGUAIS A 50φ
2- PROIBIDO O EMPALME DE MAIS DE 1/3 DA ARMADURA EM CADA SECÇÃO

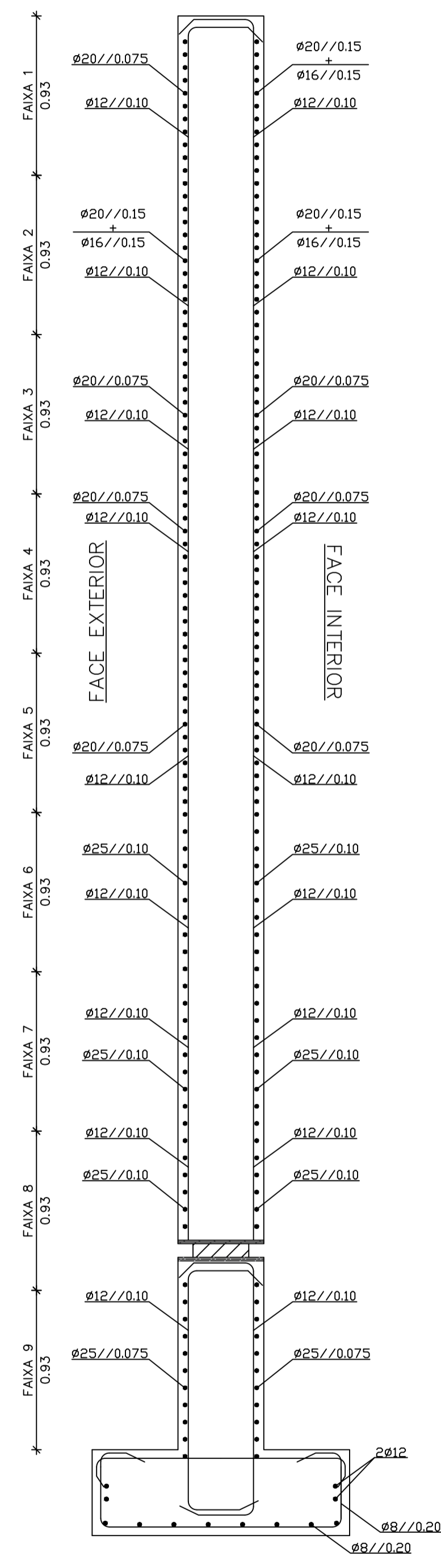
ÁÇO
A500NR



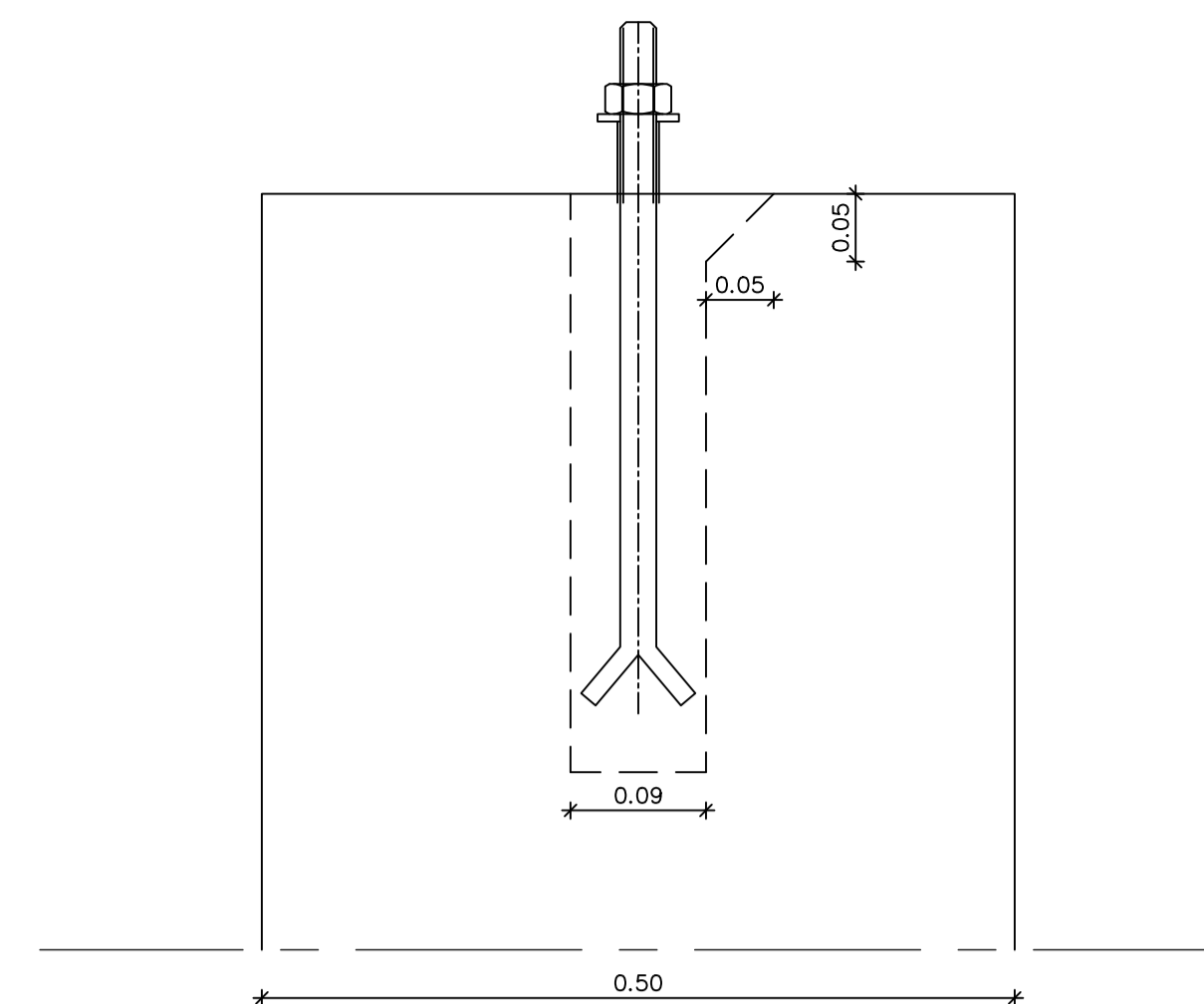
STOCK POLAR DE ARMAZENAMENTO DE CLÍNQUER				
ESTRUTURA DE BETÃO ARMADO				
ANTEPROJETO		LAJE GEOMETRIA E DIMENSIONAMENTO		
	Projectou	JOÃO NUNES ABRIL/2021	Desenho Nº	Escalas 1:50
	Desenhou	JOÃO NUNES ABRIL/2021	DESENHO Nº 13	
	Revisou		0	
	Verificou			
	Aprovou		Substitui:	
Fact. plot. : 1:50		Arquivo:		Subs. por:



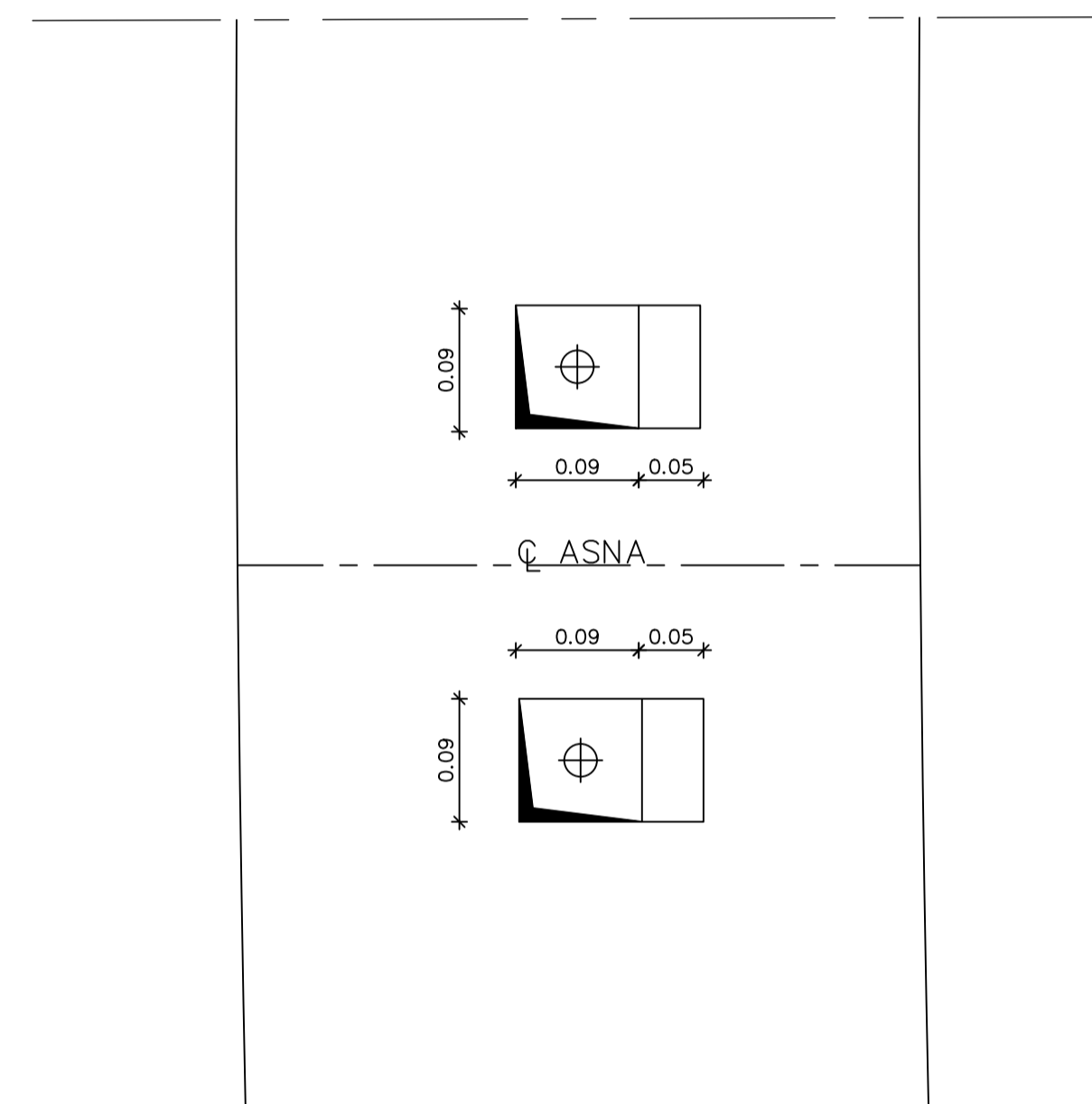
CORTE A-A
ESC. 1/25



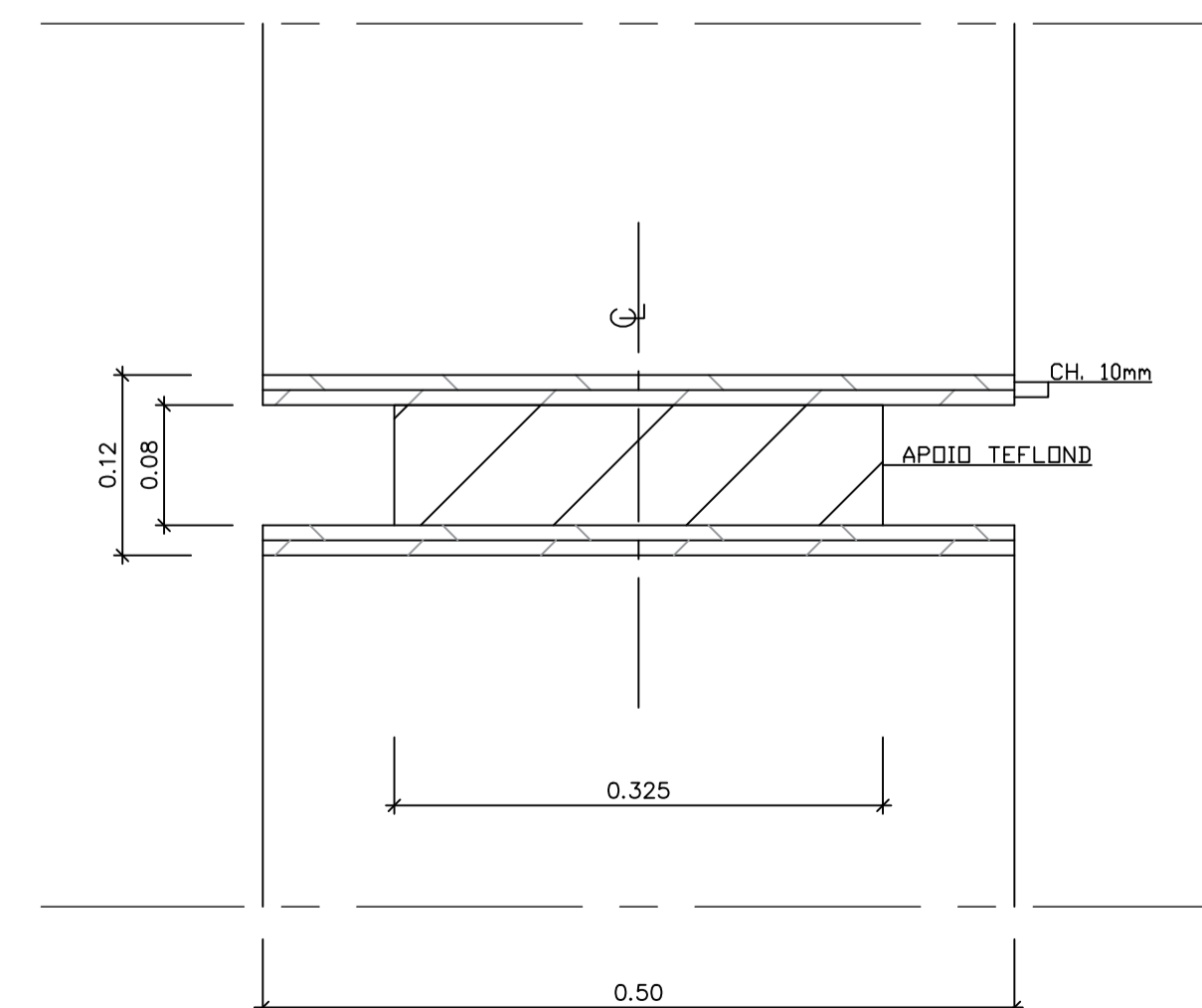
CORTE A-A
ESC. 1/25



PORMENOR 1
ESC. 1/5



VISTA B-B
ESC. 1/5



PORMENOR 2
ESC. 1/5

DESENHOS A CONSULTAR

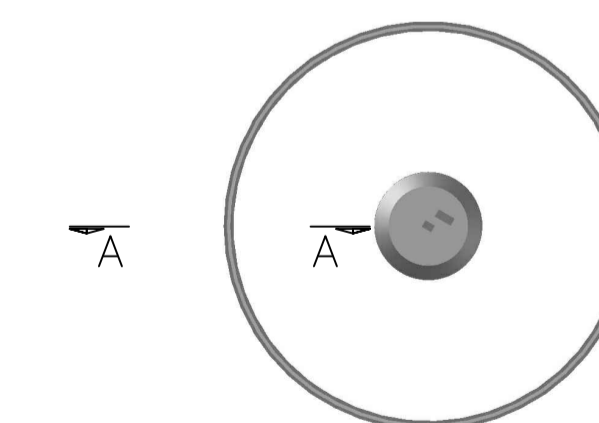
- DESENHO N° 01 – IMPLANTAÇÃO – PLANTA E ALÇADO
- DESENHO N° 03 – COBERTURA METÁLICA DO STOCK – ASNA TIPO E PORMENORES – APOIOS
- DESENHO N° 04 – COBERTURA METÁLICA DO STOCK – ASNA TIPO E PORMENORES – GOUSSETS E LIGAÇÕES SOLDADAS
- DESENHO N° 05 – COBERTURA METÁLICA DO STOCK – ASNA TIPO E PORMENORES – LIG. APARAFUSADAS E SOLDADAS

MATERIAIS

BETÃO (NP EN 206)	CLASSE DE RESISTÊNCIA	TIPO DE CIMENTO	ÍNDICE DE CLORETOS	CLASSE ESTRUTURAL	D _{max}	A/C	DOSAGEM MIN DE CIMENTO	C _{min}
SILO DE RETENÇÃO	C30/37	CEM I	Cl 0,4	S4	20mm	0,60	280kg/m ³	30mm
TORRE CENTRAL	C30/37	CEM I	Cl 0,4	S4	20mm	0,60	280kg/m ³	30mm
LAJE	C30/37	CEM I	Cl 0,4	S3	20mm	0,60	280kg/m ³	30mm
SAPATAS DE FUNDAÇÃO	C30/37	CEM I	Cl 0,4	S3	20mm	0,65	240kg/m ³	50mm

- NOTAS:
 1- OS COMPRIMENTOS DE AMARRAÇÃO E OS EMPALMES SÃO IGUAIS A 50Ø
 2- PROIBIDO O EMPALME DE MAIS DE 1/3 DA ARMADURA EM CADA SECÇÃO

AÇO
A500NR

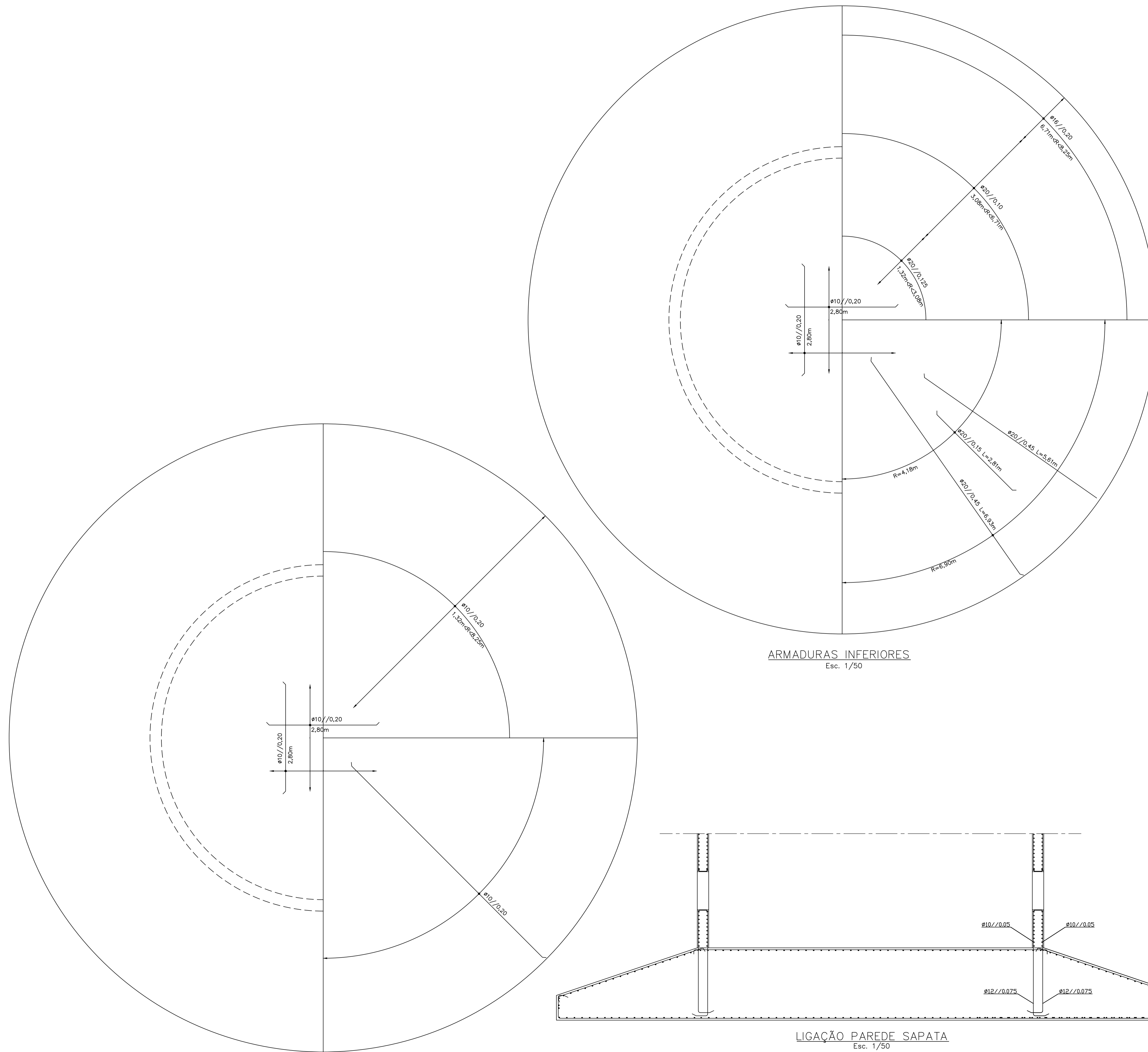


STOCK POLAR DE ARMAZENAMENTO DE CLÍNQUER

ESTRUTURA DE BETÃO ARMADO

ANTEPROJETO	SILO DE RETENÇÃO, APOIO DESLIZANTE E PORMENORES GEOMETRIA E DIMENSIONAMENTO	Desenho N°	Escalas
Projectou	JOÃO NUNES JUNHO/2021	DESENHO N° 14	1:25
Desenhou	JOÃO NUNES JUNHO/2021		
Revisu			
Verificou			
Aprovou			
Fact. plot. : 1=25	Arquivo:	Substitui:	Subs. por:





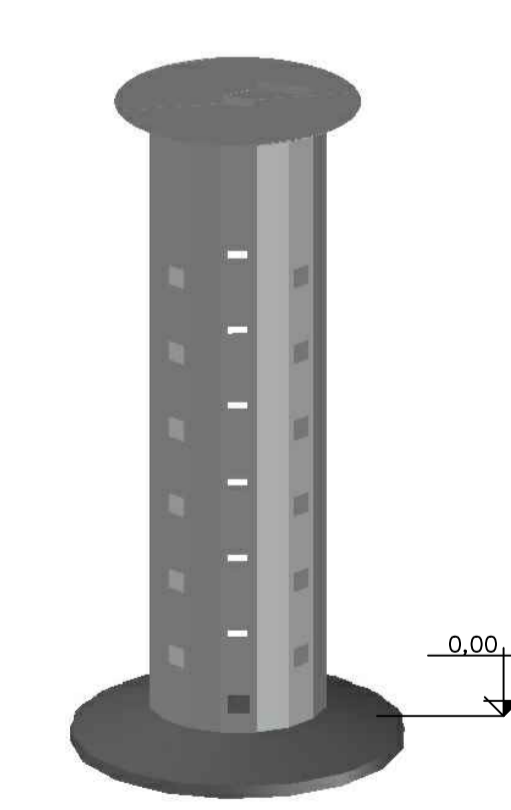
DESENHOS A CONSULTAR

- DESENHO N° 01 – IMPLANTAÇÃO – PLANTA E ALÇADO
- DESENHO N° 11 – TORRE CENTRAL DE BETÃO ARMADO E PORMENORES – GEOMETRIA
- DESENHO N° 12 – TORRE CENTRAL DE BETÃO ARMADO E PORMENORES – DIMENSIONAMENTO

MATERIAIS

BETÃO (NP EN 206)	CLASSE DE RESISTENCIA	TIPO DE CIMENTO	ÍNDICE DE CLORETO	CLASSE ESTRUTURAL	D _{mdx}	A/C	DOSAGEM MIN DE CIMENTO	C _{min}
SILO DE RETENÇÃO	C30/37	CEM I	Cl 0,4	S4	20mm	0,60	280kg/m ³	30mm
TORRE CENTRAL	C30/37	CEM I	Cl 0,4	S4	20mm	0,60	280kg/m ³	30mm
LAJE	C30/37	CEM I	Cl 0,4	S3	20mm	0,60	280kg/m ³	30mm
SAPATAS DE FUNDAÇÃO	C30/37	CEM I	Cl 0,4	S3	20mm	0,65	240kg/m ³	50mm

- NOTAS:
 1- OS COMPRIMENTOS DE AMARRAÇÃO E OS EMPALMES SÃO IGUAIS A 50φ
 2- PROIBIDO O EMPALME DE MAIS DE 1/3 DA ARMADURA EM CADA SECÇÃO



STOCK POLAR DE ARMAZENAMENTO DE CLÍNQUER

ESTRUTURA DE BETÃO ARMADO

ANTEPROJETO		SAPATA DA TORRE CENTRAL GEOMETRIA E DIMENSIONAMENTO		
	Projectou	JOÃO NUNES JUNHO/2021	Desenho N°	Escalas 1:50
	Desenhou	JOÃO NUNES JUNHO/2021	DESENHO N° 15	
	Reviu		0	
	Verificou			
	Aprovou		Substitui:	
Fact. plot. : 1:50		Arquivo:	Subs. por:	