



# **MEMORIAL DESCRITIVO ESTRUTURA METÁLICA PORTARIA AVIÁRIOS**

Concórdia – SC



## SUMÁRIO

SUMÁRIO .....	2
1. Objetivo .....	3
2. Normas e especificações adotadas .....	3
3. Premissas adotadas .....	3
3.1 DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS .....	3
3.2 LIGAÇÕES DA ESTRUTURA .....	3
3.3 TRAVAMENTOS ESTRUTURA .....	3
3.4 FECHAMENTO ESTRUTURA .....	4
3.5 PÓRTICO ESTRUTURA .....	4
3.6 TRATAMENTO .....	4
4. premissas de CÁLCULO .....	5



## 1. OBJETIVO

Este documento tem por objetivo apresentar o dimensionamento e os critérios adotados para o “Projeto de Cobertura em Estrutura Metálica” da “Portaria dos vestiários”.

## 2. NORMAS E ESPECIFICAÇÕES ADOTADAS

ABNT NBR 6120:2019 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações.

ABNT NBR 6123:1988 - Forças devidas ao vento em edificações.

ABNT NBR 6355:2012 - Perfis estruturais de aço formados a frio – padronização.

ABNT NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

ABNT NBR 14762:2010 - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio.

ABNT NBR 15980:2020 – Perfis laminados de aço para uso estrutural – dimensões e tolerâncias.

## 3. PREMISSAS ADOTADAS

A estrutura em questão possui :

- Tesouras, Vigas e Pilares em perfil TB;
- Ligações na fabricação soldadas;
- Ligações na montagem soldadas.

### 3.1 DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

Especificação dos materiais utilizados:

- Perfil de chapa dobrada em aço ASTM A36 ( $F_y=250\text{Mpa}$ );

### 3.2 LIGAÇÕES DA ESTRUTURA

Especificação das ligações da estrutura:

- Tesouras, vigas, terças e pilares: Ligação soldada com eletrodo E70XX.

### 3.3 TRAVAMENTOS ESTRUTURA

Para os travamentos da estrutura, conforme indicado no projeto, apresenta:

- Vigas: Perfil Tubular 2TB100x50x17x2.66 mm.



### 3.4 FECHAMENTO ESTRUTURA

- Terças de cobertura: Perfil U75x40x15X2,25 mm.

### 3.5 PÓRTICO ESTRUTURA

- Tesouras: Perfil Tubular 2TB100x50x17x2.66 mm.
- Pilares: Perfil Tubular 2TB200x75x20x2.00 mm.

### 3.6 TRATAMENTO

Antes da pintura dos perfis e da estrutura, limpar os perfis com material decapante e logo após fazer o tratamento da superfície com primer fundo para controle de corrosão.

## 4. PREMISSAS DE CÁLCULO

### PILARES

**Perfil: C200X75X20X2.00, Caixa dupla soldada (Cordão contínuo)**  
**Material: Aço (A-36)**

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
N3	N4	3.140	15.07	932.45	535.92	999.93
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme						
	Flambagem		Flambagem lateral			
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
β	1.00	1.00	1.00	1.00		
L <sub>K</sub>	3.140	3.140	3.140	3.140		
C <sub>m</sub>	-	-	1.000	1.000		
C <sub>b</sub>	-		1.000			
Notação: β: Coeficiente de flambagem L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico						

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)														Estado
	b/t	λ	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>x</sub> V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>x</sub>	N <sub>c</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub>	N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub>	M <sub>t</sub>		
N3/N4	(b <sub>w</sub> /t) ≤ 500 (b <sub>w</sub> /t) ≤ 500 Passa	λ <sub>xx</sub> ≤ 200.0 λ <sub>yy</sub> ≤ 200.0 Passa	x: 3.14 m η = 2.8	x: 0 m η = 4.0	x: 3.14 m η = 48.2	x: 3.14 m η = 41.5	η = 1.9	η = 3.4	x: 3.14 m η = 23.4	x: 3.14 m η = 17.2	x: 3.14 m η = 53.1	x: 3.14 m η = 92.5	M <sub>t,sl</sub> = 0.00 N.A. <sup>(1)</sup>		<b>PASSA</b> η = 92.5
Notação: b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura λ: Limitação de esbeltez N <sub>t</sub> : Resistência à tração N <sub>c</sub> : Resistência à compressão M <sub>x</sub> : Resistência à flexão eixo X M <sub>y</sub> : Resistência à flexão eixo Y V <sub>x</sub> : Resistência ao esforço cortante X V <sub>y</sub> : Resistência ao esforço cortante Y M <sub>x</sub> V <sub>y</sub> : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados M <sub>y</sub> V <sub>x</sub> : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados N <sub>c</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> : Resistência à flexo-compressão N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> : Resistência à flexo-tração M <sub>t</sub> : Resistência à torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.A.: Não aplicável															
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.): <sup>(1)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.															

### Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

(b/t) : 96 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**t**: A espessura.

**b** : 192.00 mm

**t** : 2.00 mm



Elemento: Alma

Em elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

$$(b/t) : \underline{71} \quad \checkmark$$

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

$$b : \underline{142.00} \text{ mm}$$

**t**: A espessura.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

#### **Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez  $\lambda$  das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$$\lambda_{xx} : \underline{40.4} \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : \underline{50.3} \quad \checkmark$$

Onde:

**$K_x L_x$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x L_x : \underline{3.140} \text{ m}$$

**$K_y L_y$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y L_y : \underline{3.140} \text{ m}$$

**$r_x$** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

$$r_x : \underline{7.77} \text{ cm}$$

**$r_y$** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

$$r_y : \underline{6.25} \text{ cm}$$

#### **Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.028} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N4, para a combinação de ações PP+Telha+1.4·Vento.

**$N_{t,Sd}$** : Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{t,Sd} : \underline{0.890} \text{ t}$$

A força normal de tração resistente de cálculo  **$N_{t,Rd}$**  deve ser tomada como:

$$N_{t,Rd} : \underline{31.820} \text{ t}$$



Onde:

**A**: Área bruta da seção transversal da barra.

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.

**A**: 13.73 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>**: 2548.42 kgf/cm<sup>2</sup>

**γ**: 1.1

### **Resistência à compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

**η**: 0.040 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N3, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·Telha+1.5·SCn.

**N<sub>c,sd</sub>**: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

**N<sub>c,sd</sub>**: 0.604 t

A força normal de compressão resistente de cálculo **N<sub>c,Rd</sub>** deve ser tomada como:

**N<sub>c,Rd</sub>**: 15.128 t

Onde:

**A<sub>ef</sub>**: Área efetiva da seção transversal da barra.

**χ**: Fator de redução associado à flambagem,

Sendo:

**λ<sub>0</sub>**: Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

**A<sub>ef</sub>**: 8.14 cm<sup>2</sup>

**χ<sub>xx</sub>**: 0.92

**χ<sub>yy</sub>**: 0.87

**χ<sub>zz</sub>**: 1.00

**λ<sub>0, xx</sub>**: 0.45

**λ<sub>0, yy</sub>**: 0.57

**λ<sub>0, zz</sub>**: 0.07

Sendo:

**N<sub>e</sub>**: Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

**A**: Área bruta da seção transversal da barra.

**A**: 13.73 cm<sup>2</sup>



$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\gamma : \underline{1.2}$$

A força normal de flambagem elástica  $N_e$  é o menor valor entre os obtidos por a), b) e c):

$$N_e : \underline{109.367} \text{ t}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo X.

$$N_{ex} : \underline{169.085} \text{ t}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$$N_{ey} : \underline{109.367} \text{ t}$$

c) Força normal de flambagem elástica por torção.

$$N_{ez} : \underline{7893.714} \text{ t}$$

Onde:

$I_x$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

$$I_x : \underline{828.52} \text{ cm}^4$$

$I_y$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

$$I_y : \underline{535.90} \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : \underline{999.93} \text{ cm}^4$$

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : \underline{521.38} \text{ cm}^6$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

$$G : \underline{784129} \text{ kgf/cm}^2$$

$K_x L_x$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x L_x : \underline{3.140} \text{ m}$$

$K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y L_y : \underline{3.140} \text{ m}$$

$K_z L_z$ : Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$$K_z L_z : \underline{3.140} \text{ m}$$

$r_0$ : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_0 : \underline{9.97} \text{ cm}$$

Sendo:

$r_x, r_y$ : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{7.77} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{6.25} \text{ cm}$$

$x_0, y_0$ : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$x_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

### **Resistência à flexão eixo X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)





Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.482} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N4, para a combinação de hipóteses PP+Telha+1.4·Vento.

$$M_{sd} : \underline{0.741} \text{ t}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : \underline{1.536} \text{ t}\cdot\text{m}$$

#### a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} : \underline{1.536} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{ef}$ : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{66.30} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

#### b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$$M_{Rd}^{pos} : \underline{1.536} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd}^{neg} : \underline{1.810} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{c,ef}$ : Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, adotando  $\sigma = \chi_{FLT} f_y$ .

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\chi_{FLT}$ : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$$W_{c,ef}^{pos} : \underline{66.30} \text{ cm}^3$$

$$W_{c,ef}^{neg} : \underline{78.12} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

$$^{(1)}\chi_{FLT} : \underline{1.00}$$

Sendo:



$\lambda_0$  : 0.15

**$W_c$** : Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida.

**$W_c$**  : 82.85 cm<sup>3</sup>

O momento fletor de flambagem lateral com torção  **$M_e$** , em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seccão fechada (caixão), sujeitas à flexão em torno do eixo X:

**$M_e$**  : 92.602 t·m

Onde:

**$C_b$** : Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

**$C_b$**  : 1.00

**$N_{ey}$**  : 109.367 t

**$I_y$** : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

**$I_y$**  : 535.90 cm<sup>4</sup>

**$I_t$** : Momento de inércia à torção uniforme.

**$I_t$**  : 999.93 cm<sup>4</sup>

**E**: Módulo de elasticidade.

**E** : 2038736 kgf/cm<sup>2</sup>

**G**: Módulo de elasticidade transversal.

**G** : 784129 kgf/cm<sup>2</sup>

**$K_y L_y$** : Comprimento efetivo de flambagem lateral.

**$K_y L_y$**  : 3.140 m

**$r_0$** : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

**$r_0$**  : 9.97 cm

Sendo:

**$r_x, r_y$** : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

**$r_x$**  : 7.77 cm

**$r_y$**  : 6.25 cm

**$x_0, y_0$** : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

**$x_0$**  : 0.00 mm

**$y_0$**  : 0.00 mm

### **Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$\eta$  : 0.415 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo  **$M_{sd}$**  é obtido para o nó N4, para a combinação  **$M_{sd}$**  : 0.453 t·m de hipóteses PP+Telha+1.4·Vento.



O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : \underline{1.091} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{ef}$ : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{47.10} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

### **Resistência ao esforço cortante X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.019} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses PP+Telha+1.4·Vento.

$$V_{Sd} : \underline{0.144} \text{ t}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é  $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$ .

$$V_{Sd} : \underline{0.072} \text{ t}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(2)}V_{Rd} : \underline{3.810} \text{ t}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{68.31}$$

para

$$h/t : \underline{71.00}$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{88.54}$$

Onde:

$t$ : Espessura da alma.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

$h$ : Largura da alma.

$$h : \underline{142.00} \text{ mm}$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

$K_v$ : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : \underline{5.00}$$



**Resistência ao esforço cortante Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.034} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses PP+Telha+1.4·Vento.

$$V_{Sd} : \underline{0.236} \quad t$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é  $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$ .

$$V_{Sd} : \underline{0.118} \quad t$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(3)}V_{Rd} : \underline{3.494} \quad t$$

para  $1.08(EK_V/f_y)^{0.5} : \underline{68.31}$

para  $h/t : \underline{96.00}$

para  $1.4(EK_V/f_y)^{0.5} : \underline{88.54}$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.00} \quad mm$$

**h**: Largura da alma.

$$h : \underline{192.00} \quad mm$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \quad kgf/cm^2$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{2038736} \quad kgf/cm^2$$

**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**K<sub>V</sub>**: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_V : \underline{5.00}$$

**Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N4, para a combinação de hipóteses PP+Telha+1.4·Vento.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:



$$\eta : \underline{0.234} \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : \underline{0.741} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : \underline{1.536} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : \underline{0.236} \text{ t}$$

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : \underline{6.989} \text{ t}$$

#### **Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N4, para a combinação de hipóteses PP+Telha+1.4·Vento.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.172} \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : \underline{0.453} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : \underline{1.091} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : \underline{0.144} \text{ t}$$

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : \underline{7.619} \text{ t}$$

#### **Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·Telha+1.5·SCn.

$$\eta : \underline{0.531} \checkmark$$

Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} : \underline{0.557} \text{ t}$$

$M_{x,Sd}$ ,  $M_{y,Sd}$ : Momentos flettores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$$M_{x,Sd} : \underline{0.338} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : \underline{0.299} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$$N_{c,Rd} : \underline{15.128} \text{ t}$$

$M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ : Momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{x,Rd} : \underline{1.536} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{1.091} \text{ t}\cdot\text{m}$$



### **Resistência à flexo-tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N4, para a combinação PP+Telha+1.4·Vento.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : \underline{0.925} \quad \checkmark$$

Onde:

**N<sub>t,Sd</sub>**: Força normal de tração solicitante de cálculo.

$$\mathbf{N_{t,Sd}} : \underline{0.890} \text{ t}$$

**M<sub>x,Sd</sub>, M<sub>y,Sd</sub>**: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$$\mathbf{M_{x,Sd}} : \underline{0.741} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{M_{y,Sd}} : \underline{0.453} \text{ t}\cdot\text{m}$$

**N<sub>Rd</sub>**: Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$$\mathbf{N_{Rd}} : \underline{31.820} \text{ t}$$

**M<sub>x,Rd</sub>, M<sub>y,Rd</sub>**: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$\mathbf{M_{x,Rd}} : \underline{1.536} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{M_{y,Rd}} : \underline{1.091} \text{ t}\cdot\text{m}$$

### **Resistência à torção** (Critério da CYPE Ingenieros)

A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.



## TERÇAS

### Perfil: C75X40X15X2.25 Material: Aço (A-36)

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
Inicial	Final		Área (cm²)	I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm⁴)	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm⁴)	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm⁴)	x <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	y <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)
N37	N28	2.330	3.83	33.38	8.61	0.06	-4.99	0.00
<b>Notas:</b> (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme (3) Coordenadas do centro de gravidade								
	Flambagem		Flambagem lateral					
	Plano ZX		Plano ZY		Aba sup.		Aba inf.	
β	1.00		1.00		1.00		1.00	
L <sub>K</sub>	2.330		2.330		2.330		2.330	
C <sub>m</sub>	-		-		1.000		1.000	
C <sub>b</sub>	-		-		1.000		1.000	
<b>Notação:</b> β: Coeficiente de flambagem L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico								

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	$\lambda$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>x</sub> V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>x</sub>	N <sub>c</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub>	N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub>	M <sub>t</sub>	
N37/N28	(b <sub>w</sub> /t) ≤ 500 (b <sub>f</sub> /t) ≤ 60 Passa	$\lambda_{xx} \leq 200.0$ $\lambda_{yy} \leq 200.0$ Passa	$\eta = 0.5$	$\eta = 0.3$	x: 0 m $\eta = 69.7$	x: 2.33 m $\eta = 18.7$	x: 2.33 m $\eta = 1.3$	x: 0 m $\eta = 10.2$	x: 0 m $\eta = 30.1$	x: 2.33 m $\eta = 3.5$	x: 0 m $\eta = 43.6$	x: 0 m $\eta = 74.1$	M <sub>t,Sd</sub> = 0.00 N.A. <sup>(1)</sup>	<b>PASSA</b> <b><math>\eta = 74.1</math></b>
<p>Notação:</p> <p>b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura</p> <p>λ: Limitação de esbeltez</p> <p>N<sub>t</sub>: Resistência à tração</p> <p>N<sub>c</sub>: Resistência à compressão</p> <p>M<sub>x</sub>: Resistência à flexão eixo X</p> <p>M<sub>y</sub>: Resistência à flexão eixo Y</p> <p>V<sub>x</sub>: Resistência ao esforço cortante X</p> <p>V<sub>y</sub>: Resistência ao esforço cortante Y</p> <p>M<sub>x</sub>V<sub>y</sub>: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados</p> <p>M<sub>y</sub>V<sub>x</sub>: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados</p> <p>N<sub>c</sub>M<sub>x</sub>M<sub>y</sub>: Resistência à flexo-compressão</p> <p>N<sub>t</sub>M<sub>x</sub>M<sub>y</sub>: Resistência à flexo-tração</p> <p>M<sub>t</sub>: Resistência à torção</p> <p>x: Distância à origem da barra</p> <p>η: Coeficiente de aproveitamento (%)</p> <p>N.A.: Não aplicável</p>														
<p>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.):</p> <p><sup>(1)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.</p>														

### Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

(b/t) : 29 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

t: A espessura.

b : 66.00 mm

t : 2.25 mm



Elemento: Mesa

Em elementos comprimidos AA, tendo uma borda vinculada à alma ou mesa e a outra ao enrijecedor de borda simples, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 60.

(b/t) : 14 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**b** : 31.00 mm

**t**: A espessura.

**t** : 2.25 mm

#### **Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez  $\lambda$  das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$\lambda_{xx}$  : 78.9 ✓

$\lambda_{yy}$  : 155.3 ✓

Onde:

**$K_x L_x$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

**$K_x L_x$**  : 2.330 m

**$K_y L_y$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

**$K_y L_y$**  : 2.330 m

**$r_x$** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

**$r_x$**  : 2.95 cm

**$r_y$** : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

**$r_y$**  : 1.50 cm

#### **Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

$\eta$  : 0.005 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações PP+Telha+1.4·Vento.

**$N_{t,Sd}$** : Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

**$N_{t,Sd}$**  : 0.046 t

A força normal de tração resistente de cálculo  **$N_{t,Rd}$**  deve ser tomada como:





$$N_{t,Rd} : \underline{8.865} \text{ t}$$

Onde:

**A**: Área bruta da seção transversal da barra.

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$A : \underline{3.83} \text{ cm}^2$$

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

### **Resistência à compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.003} \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·Telha+1.5·SCn.

**N<sub>c,sd</sub>**: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,sd} : \underline{0.007} \text{ t}$$

A resistência de cálculo à compressão **N<sub>c,Rd</sub>** é dada pelo menor dos valores obtidos segundo os seguintes itens:

$$N_{c,Rd} : \underline{2.333} \text{ t}$$

#### **a) Início de ruptura da seção efetiva e flambagem global (9.7.2)**

$$N_{c,Rd} : \underline{2.333} \text{ t}$$

Onde:

**A<sub>ef</sub>**: Área efetiva da seção transversal da barra.

**χ**: Fator de redução associado à flambagem,

Sendo:

$$A_{ef} : \underline{3.83} \text{ cm}^2$$

$$\chi_{yy} : \underline{0.29}$$

$$\chi_{xz} : \underline{0.31}$$

**λ<sub>0</sub>**: Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0, yy} : \underline{1.75}$$

$$\lambda_{0, xz} : \underline{1.68}$$

Sendo:

**N<sub>e</sub>**: Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.



**A:** Área bruta da seção transversal da barra.

**$f_y$ :** Tensão de escoamento.

**$\gamma$ :** Coeficiente de ponderação das resistências.

$$A : \underline{3.83} \text{ cm}^2$$

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\gamma : \underline{1.2}$$

A força normal de flambagem elástica  **$N_e$**  é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : \underline{3.193} \text{ t}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.

$$N_{ey} : \underline{3.193} \text{ t}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção.

$$N_{exz} : \underline{3.472} \text{ t}$$

Onde:

$$N_{ex} : \underline{12.373} \text{ t}$$

$$N_{ez} : \underline{4.173} \text{ t}$$

**$I_x$ :** Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

$$I_x : \underline{33.38} \text{ cm}^4$$

**$I_y$ :** Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

$$I_y : \underline{8.61} \text{ cm}^4$$

**$I_t$ :** Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : \underline{0.06} \text{ cm}^4$$

**$C_w$ :** Constante de empenamento da seção.

$$C_w : \underline{119.67} \text{ cm}^6$$

**E:** Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

**G:** Módulo de elasticidade transversal.

$$G : \underline{784129} \text{ kgf/cm}^2$$

**$K_x L_x$ :** Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x L_x : \underline{2.330} \text{ m}$$

**$K_y L_y$ :** Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y L_y : \underline{2.330} \text{ m}$$

**$K_z L_z$ :** Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$$K_z L_z : \underline{2.330} \text{ m}$$

**$r_0$ :** Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_0 : \underline{4.77} \text{ cm}$$

Sendo:

**$r_x, r_y$ :** Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{2.95} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{1.50} \text{ cm}$$

**$x_0, y_0$ :** Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$x_0 : \underline{-34.33} \text{ mm}$$

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

### **b) Flambagem por distorção (9.7.3)**



Não é possível calcular o esforço axial de flambagem por distorção elástica, já que não se cumprem as seguintes limitações geométricas (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007))

Onde:

$$50.00 \leq b_w/t \leq 200.00$$

$$25.00 \leq b_f/t \leq 100.00$$

$$6.25 \leq D/t \leq 50.00$$

$$0.04 \leq D/b_f \leq 0.50$$

$$2.00 \leq b_w/b_f \leq 8.00$$

Sendo:

$b_w$ : Largura da alma.

$b_f$ : Largura da aba.

$D$ : Comprimento do enrijecedor da mesa.

$t$ : A espessura.

$$b_w/t : 33.33$$

$$b_f/t : 17.78$$

$$D/t : 6.67$$

$$D/b_f : 0.38$$

$$b_w/b_f : 1.88$$

$$b_w : 75.00 \text{ mm}$$

$$b_f : 40.00 \text{ mm}$$

$$D : 15.00 \text{ mm}$$

$$t : 2.25 \text{ mm}$$

### **Resistência à flexão eixo X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.697 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N37, para a combinação de hipóteses PP+Telha+1.4·Vento.

$$M_{sd} : 0.102 \text{ t}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor calculado em a), b) y c):

$$M_{Rd} : 0.146 \text{ t}\cdot\text{m}$$

#### **a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)**

$$M_{Rd} : 0.189 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{ef}$ : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 8.15 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 2548.42 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\gamma : 1.1$$



## b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$$M_{Rd} : \underline{0.146} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_{c,ef}$ : Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, adotando  $\sigma = \chi_{FLT} f_y$ .

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\chi_{FLT}$ : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$$\begin{aligned} W_{c,ef} : & \underline{8.90} \text{ cm}^3 \\ f_y : & \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2 \\ \gamma : & \underline{1.1} \end{aligned}$$

$$^{(2)}\chi_{FLT} : \underline{0.71}$$

Sendo:

$$\lambda_0 : \underline{1.14}$$

$W_c$ : Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida.

$$W_c : \underline{8.90} \text{ cm}^3$$

O momento fletor de flambagem lateral com torção  $M_e$ , em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seção duplamente simétrica ou monossimétrica sujeitas à flexão em torno do eixo de simetria:

$$M_e : \underline{0.174} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$C_b$ : Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

$$C_b : \underline{1.00}$$

$$N_{ey} : \underline{3.193} \text{ t}$$

$$N_{ez} : \underline{4.173} \text{ t}$$

$I_y$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

$$I_y : \underline{8.61} \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : \underline{0.06} \text{ cm}^4$$

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : \underline{119.67} \text{ cm}^6$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

$$G : \underline{784129} \text{ kgf/cm}^2$$

$K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem lateral.

$$K_y L_y : \underline{2.330} \text{ m}$$

$K_z L_z$ : Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$$K_z L_z : \underline{2.330} \text{ m}$$



$r_0$ : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_0 : \underline{4.77} \text{ cm}$$

Sendo:

$r_x, r_y$ : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{2.95} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{1.50} \text{ cm}$$

$x_0, y_0$ : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$x_0 : \underline{-34.33} \text{ mm}$$

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

### c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)

Não é possível calcular o esforço axial de flambagem por distorção elástica, já que não se cumprem as seguintes limitações geométricas (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007))

Onde:

$$50.00 \leq b_w/t \leq 200.00$$

$$25.00 \leq b_f/t \leq 100.00$$

$$6.25 \leq D/t \leq 50.00$$

$$0.04 \leq D/b_f \leq 0.50$$

$$2.00 \leq b_w/b_f \leq 8.00$$

$$b_w/t : \underline{33.33}$$

$$b_f/t : \underline{17.78}$$

$$D/t : \underline{6.67}$$

$$D/b_f : \underline{0.38}$$

$$b_w/b_f : \underline{1.88}$$

Sendo:

$b_w$ : Largura da alma.

$$b_w : \underline{75.00} \text{ mm}$$

$b_f$ : Largura da aba.

$$b_f : \underline{40.00} \text{ mm}$$

$D$ : Comprimento do enrijecedor da mesa.

$$D : \underline{15.00} \text{ mm}$$

$t$ : A espessura.

$$t : \underline{2.25} \text{ mm}$$

### **Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.187} \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N28, para a combinação  $M_{sd} : \underline{0.014} \text{ t}\cdot\text{m}$  de hipóteses PP+1.25·Telha+0.75·SCn+1.4·Vento.

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como:

$$M_{Rd} : \underline{0.076} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:



**$W_{ef}$** : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

**$f_y$** : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{3.30} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

### **Resistência ao esforço cortante X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.013} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  **$V_{Sd}$**  produz-se no nó N28, para a combinação de hipóteses PP+1.25·Telha+0.75·SCn+1.4·Vento.

$$V_{Sd} : \underline{0.024} \text{ t}$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é  **$V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$** .

$$V_{Sd} : \underline{0.012} \text{ t}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  **$V_{Rd}$**  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{0.970} \text{ t}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{33.46}$$

para

$$h/t : \underline{13.78}$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{43.38}$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.25} \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : \underline{31.00} \text{ mm}$$

**$f_y$** : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**$K_v$** : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : \underline{1.20}$$

### **Resistência ao esforço cortante Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)



Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.102} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{sd}$  produz-se no nó N37, para a combinação de hipóteses PP+Telha+1.4·Vento.

$$V_{sd} : \underline{0.210} \text{ t}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{2.064} \text{ t}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{68.31}$$

para

$$h/t : \underline{29.33}$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{88.54}$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.25} \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : \underline{66.00} \text{ mm}$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : \underline{5.00}$$

#### **Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{sd}$  e  $V_{sd}$  são obtidos no nó N37, para a combinação de hipóteses PP+Telha+1.4·Vento.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.301} \quad \checkmark$$

Onde:

**M<sub>sd</sub>**: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{sd} : \underline{0.102} \text{ t}\cdot\text{m}$$

**M<sub>0,Rd</sub>**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : \underline{0.189} \text{ t}\cdot\text{m}$$



$V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 0.210 \text{ t}$$

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 2.064 \text{ t}$$

#### **Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N28, para a combinação de hipóteses PP+1.25·Telha+0.75·SCn+1.4·Vento.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.035 \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 0.014 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 0.076 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 0.024 \text{ t}$$

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 1.939 \text{ t}$$

#### **Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N37, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·Telha+1.5·SCn.

$$\eta : 0.436 \checkmark$$

Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} : 0.007 \text{ t}$$

$M_{x,Sd}$ ,  $M_{y,Sd}$ : Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$$M_{x,Sd} : 0.054 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : 0.005 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$$N_{c,Rd} : 2.333 \text{ t}$$

$M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{x,Rd} : 0.146 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 0.076 \text{ t}\cdot\text{m}$$

#### **Resistência à flexo-tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N37, para a combinação PP+Telha+1.4·Vento.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:





$\eta$  : **0.741** ✓

Onde:

**$N_{t,Sd}$** : Força normal de tração solicitante de cálculo.

**$N_{t,Sd}$**  : 0.046 t

**$M_{x,Sd}$ ,  $M_{y,Sd}$** : Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

**$M_{x,Sd}$**  : 0.102 t·m

**$M_{y,Sd}$**  : 0.003 t·m

**$N_{Rd}$** : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

**$N_{Rd}$**  : 8.865 t

**$M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$** : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

**$M_{x,Rd}$**  : 0.146 t·m

**$M_{y,Rd}$**  : 0.080 t·m

#### **Resistência à torção** (Critério da CYPE Ingenieros)

A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.



## TESOURAS

### Perfil: C100X50X17X2.66, Caixa dupla soldada (Cordão contínuo) Material: Aço (A-36)

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm⁴)	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm⁴)	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm⁴)
N37	N4	1.227	11.51	179.25	159.04	249.22
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme						
	Flambagem		Flambagem lateral			
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
β	1.00	1.00	1.00	1.00		
L <sub>K</sub>	1.227	1.227	1.227	1.227		
C <sub>m</sub>	-	-	1.000	1.000		
C <sub>b</sub>	-		1.000			
Notação: β: Coeficiente de flambagem L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico						

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>x</sub> V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>x</sub>	N <sub>c</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub>	N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub>	M <sub>t</sub>	
N37/N4	(b <sub>w</sub> /t) ≤ 500 Passa	λ <sub>xx</sub> ≤ 200.0 λ <sub>yy</sub> ≤ 200.0 Passa	x: 1.227 m η = 0.6	x: 0 m η = 0.4	x: 1.227 m η = 86.7	x: 0 m η = 4.9	η = 0.1	x: 0 m η = 7.8	x: 1.227 m η = 75.7	x: 0 m η = 0.2	x: 1.227 m η = 40.9	x: 1.227 m η = 91.9	η = 17.4	<b>PASSA</b> η = 91.9
<b>Notação:</b> b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura λ: Limitação de esbeltez N <sub>t</sub> : Resistência à tração N <sub>c</sub> : Resistência à compressão M <sub>x</sub> : Resistência à flexão eixo X M <sub>y</sub> : Resistência à flexão eixo Y V <sub>x</sub> : Resistência ao esforço cortante X V <sub>y</sub> : Resistência ao esforço cortante Y M <sub>x</sub> V <sub>y</sub> : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados M <sub>y</sub> V <sub>x</sub> : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados N <sub>c</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> : Resistência à flexo-compressão N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> : Resistência à flexo-tração M <sub>t</sub> : Resistência à torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%)														

### Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

(b/t) : 34 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.  
**t**: A espessura.

**b** : 89.36 mm  
**t** : 2.66 mm



#### **Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez  $\lambda$  das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$$\lambda_{xx} : \underline{31.0} \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : \underline{31.0} \quad \checkmark$$

Onde:

$K_x L_x$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x L_x : \underline{1.227} \text{ m}$$

$K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y L_y : \underline{1.227} \text{ m}$$

$r_x$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

$$r_x : \underline{3.95} \text{ cm}$$

$r_y$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

$$r_y : \underline{3.95} \text{ cm}$$

#### **Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.006} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N4, para a combinação de ações PP+Telha+1.4·Vento.

$N_{t,Sd}$ : Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{t,Sd} : \underline{0.140} \text{ t}$$

A força normal de tração resistente de cálculo  $N_{t,Rd}$  deve ser tomada como:

$$N_{t,Rd} : \underline{23.562} \text{ t}$$

Onde:

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{10.17} \text{ cm}^2$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

#### **Resistência à compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:



$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N37, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·Telha+1.5·SCn.

**N<sub>c,Sd</sub>**: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$\mathbf{N_{c,Sd}} : \underline{0.076} \text{ t}$$

A força normal de compressão resistente de cálculo **N<sub>c,Rd</sub>** deve ser tomada como:

$$\mathbf{N_{c,Rd}} : \underline{20.524} \text{ t}$$

Onde:

**A<sub>ef</sub>**: Área efetiva da seção transversal da barra.

$$\mathbf{A_{ef}} : \underline{10.17} \text{ cm}^2$$

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi_{xx} : \underline{0.95}$$

$$\chi_{yy} : \underline{0.95}$$

$$\chi_{zz} : \underline{1.00}$$

Sendo:

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0, xx} : \underline{0.35}$$

$$\lambda_{0, yy} : \underline{0.35}$$

$$\lambda_{0, zz} : \underline{0.06}$$

Sendo:

**N<sub>e</sub>**: Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

**A**: Área bruta da seção transversal da barra.

$$\mathbf{A} : \underline{10.17} \text{ cm}^2$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$\mathbf{f_y} : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.2}$$

A força normal de flambagem elástica **N<sub>e</sub>** é o menor valor entre os obtidos por a), b) e c):

$$\mathbf{N_e} : \underline{212.512} \text{ t}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo X.

$$\mathbf{N_{ex}} : \underline{212.512} \text{ t}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.



$$N_{ey} : \underline{212.512} \text{ t}$$

c) Força normal de flambagem elástica por torção.

$$N_{ez} : \underline{6249.889} \text{ t}$$

Onde:

**$I_x$** : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

$$I_x : \underline{159.01} \text{ cm}^4$$

**$I_y$** : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

$$I_y : \underline{159.01} \text{ cm}^4$$

**$I_t$** : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : \underline{249.22} \text{ cm}^4$$

**$C_w$** : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : \underline{0.46} \text{ cm}^6$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

**G**: Módulo de elasticidade transversal.

$$G : \underline{784129} \text{ kgf/cm}^2$$

**$K_x L_x$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x L_x : \underline{1.227} \text{ m}$$

**$K_y L_y$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y L_y : \underline{1.227} \text{ m}$$

**$K_z L_z$** : Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$$K_z L_z : \underline{1.227} \text{ m}$$

**$r_o$** : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_o : \underline{5.59} \text{ cm}$$

Sendo:

**$r_x, r_y$** : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{3.95} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{3.95} \text{ cm}$$

**$x_o, y_o$** : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$x_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$y_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

### **Resistência à flexão eixo X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.867} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  **$M_{sd}$**  é obtido para o nó N4, para a combinação de hipóteses PP+Telha+1.4·Vento.

$$M_{sd} : \underline{0.639} \text{ t}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  **$M_{Rd}$**  deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : \underline{0.737} \text{ t}\cdot\text{m}$$



**a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)**

$$M_{Rd} : \underline{0.737} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

**$W_{ef}$** : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

**$f_y$** : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\begin{aligned} W_{ef} &: \underline{31.80} \text{ cm}^3 \\ f_y &: \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2 \\ \gamma &: \underline{1.1} \end{aligned}$$

**b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)**

$$M_{Rd} : \underline{0.737} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

**$W_{c,ef}$** : Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, adotando  $\sigma = \chi_{FLT} f_y$ .

**$f_y$** : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\chi_{FLT}$ : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$$\begin{aligned} W_{c,ef} &: \underline{31.80} \text{ cm}^3 \\ f_y &: \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2 \\ \gamma &: \underline{1.1} \end{aligned}$$

$$^{(1)}\chi_{FLT} : \underline{1.00}$$

Sendo:

$$\lambda_0 : \underline{0.11}$$

**$W_c$** : Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida.

$$W_c : \underline{31.80} \text{ cm}^3$$

O momento fletor de flambagem lateral com torção  **$M_e$** , em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seccão fechada (caixão), sujeitas à flexão em torno do eixo X:

$$M_e : \underline{64.444} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:



**C<sub>b</sub>**: Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

**C<sub>b</sub>** : 1.00

**I<sub>y</sub>**: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

**I<sub>y</sub>** : 159.01 cm<sup>4</sup>

**I<sub>t</sub>**: Momento de inércia à torção uniforme.

**I<sub>t</sub>** : 249.22 cm<sup>4</sup>

**E**: Módulo de elasticidade.

**E** : 2038736 kgf/cm<sup>2</sup>

**G**: Módulo de elasticidade transversal.

**G** : 784129 kgf/cm<sup>2</sup>

**K<sub>y</sub>L<sub>y</sub>**: Comprimento efetivo de flambagem lateral.

**K<sub>y</sub>L<sub>y</sub>** : 1.227 m

**r<sub>o</sub>**: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

**r<sub>o</sub>** : 5.59 cm

Sendo:

**r<sub>x</sub>, r<sub>y</sub>**: Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

**r<sub>x</sub>** : 3.95 cm

**r<sub>y</sub>** : 3.95 cm

**x<sub>o</sub>, y<sub>o</sub>**: Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

**x<sub>o</sub>** : 0.00 mm

**y<sub>o</sub>** : 0.00 mm

### **Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

**η** : 0.049 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo **M<sub>Sd</sub>** é obtido para o nó N37, para a combinação **M<sub>Sd</sub>** : 0.036 t·m de hipóteses PP+Telha+1.4·Vento.

O momento fletor resistente de cálculo **M<sub>Rd</sub>** deve ser tomado como:

**M<sub>Rd</sub>** : 0.737 t·m

Onde:

**W<sub>ef</sub>**: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

**W<sub>ef</sub>** : 31.80 cm<sup>3</sup>

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

**f<sub>y</sub>** : 2548.42 kgf/cm<sup>2</sup>

**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.

**γ** : 1.1



**Resistência ao esforço cortante X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot Telha + 1.5 \cdot SCn + 0.84 \cdot Vento$ .

$$V_{Sd} : \underline{0.004} \quad t$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é  $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$ .

$$V_{Sd} : \underline{0.002} \quad t$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{3.304} \quad t$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{68.31}$$

para

$$h/t : \underline{33.59}$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{88.54}$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.66} \quad mm$$

**h**: Largura da alma.

$$h : \underline{89.36} \quad mm$$

**$f_y$** : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \quad kgf/cm^2$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{2038736} \quad kgf/cm^2$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**$K_v$** : Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : \underline{5.00}$$

**Resistência ao esforço cortante Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.078} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N37, para a combinação de hipóteses  $PP + Telha + 1.4 \cdot Vento$ .

$$V_{Sd} : \underline{0.514} \quad t$$





A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é  $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$ .

$$V_{Sd} : 0.257 \text{ t}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : 3.304 \text{ t}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : 68.31$$

para

$$h/t : 33.59$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : 88.54$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 2.66 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 89.36 \text{ mm}$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : 2548.42 \text{ kgf/cm}^2$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : 2038736 \text{ kgf/cm}^2$$

**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : 5.00$$

#### **Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N4, para a combinação de hipóteses PP+Telha+1.4·Vento.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : 0.757 \checkmark$$

Onde:

**M<sub>Sd</sub>**: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : 0.639 \text{ t}\cdot\text{m}$$

**M<sub>0,Rd</sub>**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 0.737 \text{ t}\cdot\text{m}$$

**V<sub>Sd</sub>**: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : 0.503 \text{ t}$$

**V<sub>Rd</sub>**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 6.608 \text{ t}$$

**Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{sd}$  e  $V_{sd}$  são obtidos no nó N37, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·Telha+0.75·SCn+1.4·Vento.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

Onde:

$M_{sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$V_{sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$M_{sd} : \underline{0.036} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{0,Rd} : \underline{0.737} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$V_{sd} : \underline{0.003} \text{ t}$$

$$V_{Rd} : \underline{6.608} \text{ t}$$

**Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N4, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·Telha+1.5·SCn.

$$\eta : \underline{0.409} \quad \checkmark$$

Onde:

$N_{c,sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$M_{x,sd}$ ,  $M_{y,sd}$ : Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$N_{c,sd} : \underline{0.074} \text{ t}$$

$$M_{x,sd} : \underline{0.293} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,sd} : \underline{0.005} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{20.524} \text{ t}$$

$$M_{x,Rd} : \underline{0.737} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{0.737} \text{ t}\cdot\text{m}$$

**Resistência à flexo-tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N4, para a combinação PP+Telha+1.4·Vento.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : \underline{0.919} \quad \checkmark$$

Onde:



$N_{t,Sd}$ : Força normal de tração solicitante de cálculo.

$$N_{t,Sd} : \underline{0.140} \text{ t}$$

$M_{x,Sd}$ ,  $M_{y,Sd}$ : Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$$M_{x,Sd} : \underline{0.639} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : \underline{0.034} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$N_{Rd}$ : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$$N_{Rd} : \underline{23.562} \text{ t}$$

$M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{x,Rd} : \underline{0.737} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{0.737} \text{ t}\cdot\text{m}$$

### **Resistência à torção** (Critério da CYPE Ingenieros)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.174} \quad \checkmark$$

O momento torsor solicitante de cálculo desfavorável  $M_{t,Sd}$  produz-se para a combinação  $M_{t,Sd} : \underline{0.121} \text{ t}\cdot\text{m}$  de hipóteses PP+Telha+1.4·Vento.

O momento torsor resistente de cálculo  $M_{t,Rd}$  é dado por:

$$M_{t,Rd} : \underline{0.700} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$W_t$ : módulo de resistência à torção

$$W_t : \underline{50.33} \text{ cm}^3$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$



## VIGAS

### Perfil: C100X50X17X2.66, Caixa dupla soldada (Cordão contínuo) Material: Aço (A-36)

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas											
Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )								
N10	N7	2.330	11.51	179.25	159.04	249.22								
Notas:														
(1) Inércia em relação ao eixo indicado														
(2) Momento de inércia à torção uniforme														
	Flambagem		Flambagem lateral											
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.										
β	1.00	1.00	1.00	1.00										
L <sub>K</sub>	2.330	2.330	2.330	2.330										
C <sub>m</sub>	-	-	1.000	1.000										
C <sub>b</sub>	-		1.000											
Notação:														
β: Coeficiente de flambagem														
L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m)														
C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos														
C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico														

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	$\lambda$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>x</sub> V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>x</sub>	N <sub>c</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub>	N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub>	M <sub>t</sub>	
N10/N7	(b <sub>w</sub> /t) ≤ 500 Passa	$\lambda_{xx} \leq 200.0$ $\lambda_{yy} \leq 200.0$ Passa	η = 0.9	η = 0.3	x: 0 m η = 48.6	x: 0 m η = 18.6	η = 1.4	x: 0 m η = 2.1	x: 0 m η = 23.7	x: 0 m η = 3.5	x: 0 m η = 35.5	x: 0 m η = 68.2	η = 1.1	<b>PASSA</b> η = <b>68.2</b>
Notação: b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura λ: Limitação de esbeltez N <sub>t</sub> : Resistência à tração N <sub>c</sub> : Resistência à compressão M <sub>x</sub> : Resistência à flexão eixo X M <sub>y</sub> : Resistência à flexão eixo Y V <sub>x</sub> : Resistência ao esforço cortante X V <sub>y</sub> : Resistência ao esforço cortante Y M <sub>x</sub> V <sub>y</sub> : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados M <sub>y</sub> V <sub>x</sub> : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados N <sub>c</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> : Resistência à flexo-compressão N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> : Resistência à flexo-tração M <sub>t</sub> : Resistência à torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%)														

### Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)

Elemento: Alma

Em elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

(b/t) : 34 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.  
**t**: A espessura.

**b** : 89.36 mm  
**t** : 2.66 mm



#### **Limitação de esbeltez** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez  $\lambda$  das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$$\lambda_{xx} : \underline{58.9} \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : \underline{58.9} \quad \checkmark$$

Onde:

$K_x L_x$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x L_x : \underline{2.330} \text{ m}$$

$K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y L_y : \underline{2.330} \text{ m}$$

$r_x$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

$$r_x : \underline{3.95} \text{ cm}$$

$r_y$ : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

$$r_y : \underline{3.95} \text{ cm}$$

#### **Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.009} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações PP+Telha+1.4·Vento.

$N_{t,Sd}$ : Esforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável.

$$N_{t,Sd} : \underline{0.220} \text{ t}$$

A força normal de tração resistente de cálculo  $N_{t,Rd}$  deve ser tomada como:

$$N_{t,Rd} : \underline{23.562} \text{ t}$$

Onde:

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{10.17} \text{ cm}^2$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

#### **Resistência à compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.003} \quad \checkmark$$



O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot Telha + 1.5 \cdot SCn$ .

$N_{c, Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c, Sd} : \underline{0.056} \text{ t}$$

A força normal de compressão resistente de cálculo  $N_{c, Rd}$  deve ser tomada como:

$$N_{c, Rd} : \underline{17.968} \text{ t}$$

Onde:

$A_{ef}$ : Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : \underline{10.17} \text{ cm}^2$$

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi_{xx} : \underline{0.83}$$

$$\chi_{yy} : \underline{0.83}$$

$$\chi_{zz} : \underline{1.00}$$

Sendo:

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0, xx} : \underline{0.66}$$

$$\lambda_{0, yy} : \underline{0.66}$$

$$\lambda_{0, zz} : \underline{0.06}$$

Sendo:

$N_e$ : Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{10.17} \text{ cm}^2$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.2}$$

A força normal de flambagem elástica  $N_e$  é o menor valor entre os obtidos por a), b) e c):

$$N_e : \underline{58.934} \text{ t}$$

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo X.

$$N_{ex} : \underline{58.934} \text{ t}$$

b) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y.



$$N_{ey} : \underline{58.934} \text{ t}$$

c) Força normal de flambagem elástica por torção.

$$N_{ez} : \underline{6249.875} \text{ t}$$

Onde:

$I_x$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

$$I_x : \underline{159.01} \text{ cm}^4$$

$I_y$ : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

$$I_y : \underline{159.01} \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : \underline{249.22} \text{ cm}^4$$

$C_w$ : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : \underline{0.46} \text{ cm}^6$$

$E$ : Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{2038736} \text{ kgf/cm}^2$$

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

$$G : \underline{784129} \text{ kgf/cm}^2$$

$K_x L_x$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$$K_x L_x : \underline{2.330} \text{ m}$$

$K_y L_y$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

$$K_y L_y : \underline{2.330} \text{ m}$$

$K_z L_z$ : Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$$K_z L_z : \underline{2.330} \text{ m}$$

$r_o$ : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_o : \underline{5.59} \text{ cm}$$

Sendo:

$r_x, r_y$ : Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{3.95} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{3.95} \text{ cm}$$

$x_o, y_o$ : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$x_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$y_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

### **Resistência à flexão eixo X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.486} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N10, para a combinação de hipóteses PP+Telha+1.4·Vento.

$$M_{sd} : \underline{0.358} \text{ t}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

$$M_{Rd} : \underline{0.737} \text{ t}\cdot\text{m}$$



**a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)**

$$M_{Rd} : \underline{0.737} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

**$W_{ef}$** : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

**$f_y$** : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\begin{aligned} W_{ef} &: \underline{31.80} \text{ cm}^3 \\ f_y &: \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2 \\ \gamma &: \underline{1.1} \end{aligned}$$

**b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)**

$$M_{Rd} : \underline{0.737} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

**$W_{c,ef}$** : Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, adotando  $\sigma = \chi_{FLT} f_y$ .

**$f_y$** : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\chi_{FLT}$ : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$$\begin{aligned} W_{c,ef} &: \underline{31.80} \text{ cm}^3 \\ f_y &: \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2 \\ \gamma &: \underline{1.1} \end{aligned}$$

$$^{(1)}\chi_{FLT} : \underline{1.00}$$

Sendo:

$$\lambda_0 : \underline{0.15}$$

**$W_c$** : Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida.

$$W_c : \underline{31.80} \text{ cm}^3$$

O momento fletor de flambagem lateral com torção  **$M_e$** , em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seccão fechada (caixão), sujeitas à flexão em torno do eixo X:

$$M_e : \underline{33.937} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:





**C<sub>b</sub>**: Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

**C<sub>b</sub>** : 1.00

**I<sub>y</sub>**: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

**I<sub>y</sub>** : 159.01 cm<sup>4</sup>

**I<sub>t</sub>**: Momento de inércia à torção uniforme.

**I<sub>t</sub>** : 249.22 cm<sup>4</sup>

**E**: Módulo de elasticidade.

**E** : 2038736 kgf/cm<sup>2</sup>

**G**: Módulo de elasticidade transversal.

**G** : 784129 kgf/cm<sup>2</sup>

**K<sub>y</sub>L<sub>y</sub>**: Comprimento efetivo de flambagem lateral.

**K<sub>y</sub>L<sub>y</sub>** : 2.330 m

**r<sub>o</sub>**: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

**r<sub>o</sub>** : 5.59 cm

Sendo:

**r<sub>x</sub>, r<sub>y</sub>**: Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

**r<sub>x</sub>** : 3.95 cm

**r<sub>y</sub>** : 3.95 cm

**x<sub>o</sub>, y<sub>o</sub>**: Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

**x<sub>o</sub>** : 0.00 mm

**y<sub>o</sub>** : 0.00 mm

### **Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Deve satisfazer:

**η** : 0.186 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo **M<sub>sd</sub>** é obtido para o nó N10, para a combinação **M<sub>sd</sub>** : 0.137 t·m de hipóteses PP+Telha+1.4·Vento.

O momento fletor resistente de cálculo **M<sub>Rd</sub>** deve ser tomado como:

**M<sub>Rd</sub>** : 0.737 t·m

Onde:

**W<sub>ef</sub>**: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com  $\sigma$  calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

**W<sub>ef</sub>** : 31.80 cm<sup>3</sup>

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

**f<sub>y</sub>** : 2548.42 kgf/cm<sup>2</sup>

**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.

**γ** : 1.1



**Resistência ao esforço cortante X** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.014} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{sd}$  produz-se para a combinação de hipóteses PP+Telha+1.4·Vento.

$$V_{sd} : \underline{0.093} \quad t$$

A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é  $V_{sd} = 0.5 V_{sd}$ .

$$V_{sd} : \underline{0.047} \quad t$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{3.304} \quad t$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{68.31}$$

para

$$h/t : \underline{33.59}$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{88.54}$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.66} \quad mm$$

**h**: Largura da alma.

$$h : \underline{89.36} \quad mm$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \quad kgf/cm^2$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{2038736} \quad kgf/cm^2$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : \underline{5.00}$$

**Resistência ao esforço cortante Y** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.021} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{sd}$  produz-se no nó N10, para a combinação de hipóteses PP+Telha+1.4·Vento.

$$V_{sd} : \underline{0.138} \quad t$$



A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é  $V_{Sd} = 0.5 V_{Sd}$ .

$$V_{Sd} : \underline{0.069 \text{ t}}$$

A força cortante resistente de cálculo da alma  $V_{Rd}$  deve ser calculada por:

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{3.304 \text{ t}}$$

para

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{68.31}$$

para

$$h/t : \underline{33.59}$$

para

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{88.54}$$

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.66 \text{ mm}}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : \underline{89.36 \text{ mm}}$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42 \text{ kgf/cm}^2}$$

**E**: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{2038736 \text{ kgf/cm}^2}$$

**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.1}$$

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : \underline{5.00}$$

#### **Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N10, para a combinação de hipóteses PP+Telha+1.4·Vento.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.237} \checkmark$$

Onde:

**M<sub>Sd</sub>**: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : \underline{0.358 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

**M<sub>0,Rd</sub>**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : \underline{0.737 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

**V<sub>Sd</sub>**: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : \underline{0.138 \text{ t}}$$

**V<sub>Rd</sub>**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : \underline{6.608 \text{ t}}$$

#### **Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N10, para a combinação de hipóteses PP+Telha+1.4·Vento.



Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.035} \checkmark$$

Onde:

$M_{Sd}$ : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : \underline{0.137} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$M_{0,Rd}$ : Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : \underline{0.737} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : \underline{0.093} \text{ t}$$

$V_{Rd}$ : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : \underline{6.608} \text{ t}$$

#### **Resistência à flexo-compressão** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N10, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·Telha+1.5·SCn.

$$\eta : \underline{0.355} \checkmark$$

Onde:

$N_{c,Sd}$ : Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$$N_{c,Sd} : \underline{0.056} \text{ t}$$

$M_{x,Sd}$ ,  $M_{y,Sd}$ : Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$$M_{x,Sd} : \underline{0.237} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : \underline{0.022} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$N_{c,Rd}$ : Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$$N_{c,Rd} : \underline{17.968} \text{ t}$$

$M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

$$M_{x,Rd} : \underline{0.737} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{0.737} \text{ t}\cdot\text{m}$$

#### **Resistência à flexo-tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N10, para a combinação PP+Telha+1.4·Vento.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : \underline{0.682} \checkmark$$

Onde:

$N_{t,Sd}$ : Força normal de tração solicitante de cálculo.

$$N_{t,Sd} : \underline{0.220} \text{ t}$$

$M_{x,Sd}$ ,  $M_{y,Sd}$ : Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$$M_{x,Sd} : \underline{0.358} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : \underline{0.137} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$N_{Rd}$ : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.

$$N_{Rd} : \underline{23.562} \text{ t}$$



$M_{x,Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ : Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y,  $M_{x,Rd} : \underline{0.737}$  t·m  
respectivamente, calculados conforme 9.8.2.  $M_{y,Rd} : \underline{0.737}$  t·m

**Resistência à torção** (Critério da CYPE Ingenieros)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.011} \quad \checkmark$$

O momento torsor solicitante de cálculo desfavorável  $M_{t,Sd}$  produz-se para a combinação  $M_{t,Sd} : \underline{0.008}$  t·m de hipóteses PP+Telha+1.4·Vento.

O momento torsor resistente de cálculo  $M_{t,Rd}$  é dado por:

$$M_{t,Rd} : \underline{0.700} \text{ t·m}$$

Onde:

$W_t$ : módulo de resistência à torção

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_t : \underline{50.33} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\gamma : \underline{1.1}$$

Itajaí, 29 de novembro de 2024.

**Eduardo José Bordin Rupp**

Engenheiro Civil

Coordenador