



MEMORIAL DESCRITIVO ESTRUTURA METÁLICA METABOLISMO E MINOÁCIDOS

Concórdia – SC



SUMÁRIO

SUMÁRIO	2
1. Objetivo	3
2. Normas e especificações adotadas	3
3. Premissas adotadas	3
4.1 DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS	3
4.2 LIGAÇÕES DA ESTRUTURA	3
4.3 FECHAMENTO ESTRUTURA.....	3
4.4 TRATAMENTO.....	4
4. premissas de CÁLCULO	4



1. OBJETIVO

Este documento tem por objetivo apresentar o dimensionamento e os critérios adotados para o “Projeto de Cobertura em Estrutura Metálica” do “Metabolismo e Aminoácidos”.

2. NORMAS E ESPECIFICAÇÕES ADOPTADAS

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 ADOPTADAS

A estrutura em questão possui:

- Tesouras e vigas com banzos em perfil U150x50x3,00 mm e treliçado com dupla cantoneira L1.1/4x1/8”;
- Contraventos no perfil Ø3/8”;
- Ligações na fabricação soldadas;
- Ligações na montagem soldadas.

4.1 DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

Especificação dos materiais utilizados:

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

4.2 LIGAÇÕES DA ESTRUTURA

Especificação das ligações da estrutura:

- Tesouras, terças: Ligação soldada com eletrodo E70XX.

4.3 FECHAMENTO ESTRUTURA

- Terças de cobertura: Perfil U150x50x20x2,66 mm.
- Tirantes no perfil Ø5/16”;
- Correntes no perfil L1x1/8”;

4.4 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

BANZO TESOURA

Perfil: U150X50X3.04

Material: Aço (A-36)

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _g ⁽³⁾ (mm)	y _g ⁽³⁾ (mm)
N536	N713	0.495	7.29	232.83	16.07	0.22	-13.67	0.00
Notas: (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 _K	0.495	0.495	0.495	0.495				
C _m	-	-	1.000	1.000				
C _b	-		1.000					
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos C _b : Fator de modificação para o momento crítico								

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _y	N _t M _x M _y	M _t	
N536/N713	(b _w /t) ≤ 90 Passa	λ _{xx} ≤ 200.0 λ _{yy} ≤ 200.0 Passa	x: 0.495 m η = 72.0	x: 0 m η = 60.9	x: 0.495 m η = 7.1	x: 0.495 m η = 14.7	x: 0.495 m η = 0.6	η = 0.9	x: 0.495 m η = 0.5	x: 0.495 m η = 2.2	x: 0.495 m η = 75.8	x: 0.495 m η = 93.8	M _{t,5d} = 0.00 N.A. ⁽¹⁾	PASSA η = 93.8
Notação: b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura λ: Limitação de esbeltez N _t : Resistência à tração N _c : Resistência à compressão M _x : Resistência à flexão eixo X M _y : Resistência à flexão eixo Y V _x : Resistência ao esforço cortante X V _y : Resistência ao esforço cortante Y M _x V _y : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados M _y V _x : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados N _c M _x M _y : Resistência à flexo-compressão N _t M _x M _y : Resistência à flexo-tração M _t : 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.): ⁽¹⁾ 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 almas de perfis U não enrijezidos sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.



(b/t) : 45 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.
t: A espessura.

b : 137.84 mm
t : 3.04 mm

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

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

λ_{xx} : 8.8 ✓

λ_{yy} : 33.4 ✓

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.
 $K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.
 r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.
 r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

$K_x L_x$: 0.495 m
 $K_y L_y$: 0.495 m
 r_x : 5.65 cm
 r_y : 1.48 cm

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

Deve satisfazer:

η : 0.720 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N713, para a combinação de ações PP+TELHA+1.4·VENTO.

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

$N_{t,Sd}$: 12.173 t

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

$N_{t,Rd}$: 16.897 t

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra.

A : 7.29 cm²



f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.609} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N536, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·TELHA+1.5·SC.

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

$$N_{c,Ed} : \underline{8.021} \text{ t}$$

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

$$N_{c,Rd} : \underline{13.178} \text{ t}$$

Onde:

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

$$A_{ef} : \underline{6.61} \text{ cm}^2$$

χ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi_{yy} : \underline{0.94}$$

$$\chi_{xz} : \underline{0.94}$$

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0, yy} : \underline{0.38}$$

$$\lambda_{0, xz} : \underline{0.39}$$

Sendo:

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

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{7.29} \text{ cm}^2$$

f_y : Tensão de escoamento.

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

γ : 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) e b):

$$N_e : \underline{123.348} \text{ t}$$

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



$$N_{ey} : \underline{131.931} \text{ t}$$

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

$$N_{exz} : \underline{123.348} \text{ t}$$

Onde:

$$N_{ex} : \underline{1910.947} \text{ t}$$

$$N_{ez} : \underline{124.783} \text{ t}$$

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

$$I_x : \underline{232.83} \text{ cm}^4$$

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

$$I_y : \underline{16.07} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : \underline{0.22} \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : \underline{602.67} \text{ cm}^6$$

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.

$$K_x L_x : \underline{0.495} \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : \underline{0.495} \text{ m}$$

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

$$K_z L_z : \underline{0.495} \text{ m}$$

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

$$r_0 : \underline{6.41} \text{ cm}$$

Sendo:

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

$$r_x : \underline{5.65} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{1.48} \text{ cm}$$

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

$$x_0 : \underline{-26.31} \text{ mm}$$

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.071} \quad \checkmark$$

$$M_{sd} : \underline{0.048} \text{ t}\cdot\text{m}$$



O momento fletor desfavorável de cálculo M_{sd} é obtido para o nó N713, para a combinação de hipóteses PP+TELHA+1.4·VENTO.

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

$$M_{Rd} : \underline{0.681} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{0.681} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\begin{aligned} W_{ef} &: \underline{29.41} \text{ cm}^3 \\ f_y &: \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2 \\ \gamma &: \underline{1.1} \end{aligned}$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$$M_{Rd}^{pos} : \underline{0.681} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd}^{neg} : \underline{0.709} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

χ_{FLT} : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$$\begin{aligned} W_{c,ef}^{pos} &: \underline{29.41} \text{ cm}^3 \\ W_{c,ef}^{neg} &: \underline{30.59} \text{ cm}^3 \\ f_y &: \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2 \\ \gamma &: \underline{1.1} \end{aligned}$$

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

Sendo:

$$\lambda_0 : \underline{0.31}$$

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

$$W_c : \underline{31.04} \text{ cm}^3$$

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



$$M_e : \underline{8.221} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

C_b : Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

$$C_b : \underline{1.00}$$

$$N_{ey} : \underline{131.931} \text{ t}$$

$$N_{ez} : \underline{124.783} \text{ t}$$

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

$$I_y : \underline{16.07} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : \underline{0.22} \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : \underline{602.67} \text{ cm}^6$$

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.

$$K_y L_y : \underline{0.495} \text{ m}$$

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

$$K_z L_z : \underline{0.495} \text{ m}$$

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

$$r_o : \underline{6.41} \text{ cm}$$

Sendo:

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

$$r_x : \underline{5.65} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{1.48} \text{ cm}$$

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

$$x_o : \underline{-26.31} \text{ mm}$$

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.147} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{sd} é obtido para o nó N713, para a combinação $M_{sd} : \underline{0.014} \text{ t}\cdot\text{m}$ de hipóteses PP+TELHA+1.4·VENTO.

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

$$M_{Rd} : \underline{0.096} \text{ t}\cdot\text{m}$$



Onde:

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

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\begin{aligned} W_{ef} &: 4.16 \text{ cm}^3 \\ f_y &: 2548.42 \text{ kgf/cm}^2 \\ \gamma &: 1.1 \end{aligned}$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.006 \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V_{Sd}** produz-se no nó N713, para a combinação de hipóteses PP+TELHA+1.4·VENTO.

$$V_{Sd} : 0.023 \text{ t}$$

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

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

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 1.856 \text{ t}$$

para

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

para

$$h/t : 14.45$$

para

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

Onde:

t : Espessura da alma.

$$t : 3.04 \text{ mm}$$

h : Largura da alma.

$$h : 43.92 \text{ mm}$$

f_y : 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_v : Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por:

$$K_v : 1.20$$

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

Deve satisfazer:

RUPP ENGENHARIA LTDA – CNPJ 45.385.131/0001-72

Rua Frederico Augusto Luiz Thieme, n°. 117, Sala 05, Centro - Itajaí/SC

E-mail: adm@ruppengenharia.com - Fone: (49) 9 9177-9340



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

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

$$V_{Sd} : \underline{0.051} \text{ t}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{5.825} \text{ t}$$

para

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

para

$$h/t : \underline{45.34}$$

para

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

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{3.04} \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{137.84} \text{ mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

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

E: Módulo de elasticidade.

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

γ : 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 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 N713, 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:

$$\eta : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : \underline{0.048} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{0,Rd} : \underline{0.681} \text{ t}\cdot\text{m}$$

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : \underline{0.051} \text{ t}$$

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

$$V_{Rd} : \underline{5.825} \text{ t}$$



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 N713, 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:

$$\eta : \underline{0.022} \quad \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

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

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

$$M_{0,Rd} : \underline{0.096} \text{ t}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : \underline{0.023} \text{ t}$$

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

$$V_{Rd} : \underline{3.712} \text{ t}$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N713, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·TELHA+1.5·SC.

$$\eta : \underline{0.758} \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$N_{c,Sd} : \underline{8.020} \text{ t}$$

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

$$M_{x,Sd} : \underline{0.027} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : \underline{0.010} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$N_{c,Rd} : \underline{13.178} \text{ t}$$

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

$$M_{x,Rd} : \underline{0.681} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{0.095} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N713, para a combinação PP+TELHA+1.4·VENTO.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : \underline{0.938} \quad \checkmark$$



Onde:

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

$$\mathbf{N_{t,Sd}} : \underline{12.173 \text{ t}}$$

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

$$\mathbf{M_{x,Sd}} : \underline{0.048 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

$$\mathbf{M_{y,Sd}} : \underline{0.014 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

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

$$\mathbf{N_{Rd}} : \underline{16.897 \text{ t}}$$

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

$$\mathbf{M_{x,Rd}} : \underline{0.681 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

$$\mathbf{M_{y,Rd}} : \underline{0.096 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

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



DUPLA CANTONEIRA

Perfil: L 1.1/4 x 1/8", Duplo U união genérica (Distância entre os perfis: 80.5 / 80.5 mm e Perfis independentes)**Material: Aço (A-36 250Mpa)**

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
Inicial	Final		Área (cm²)	I _x ⁽¹⁾ (cm4)	I _y ⁽¹⁾ (cm4)	I _t ⁽²⁾ (cm4)	x _g ⁽³⁾ (mm)	y _g ⁽³⁾ (mm)
N530	N540	0.996	3.86	3.34	156.03	0.13	0.00	-6.77

Notas:

⁽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 _K	0.996	0.996	0.996	0.996
C _b	-		1.000	

Notação:

β: Coeficiente de flambagem

L_K: Comprimento de flambagem (m)

C_b: Fator de modificação para o momento crítico

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N _t	N _c	M _u	M _v	V _u	V _v	NM _u M _v	T	NMVT	$\sigma \tau f$	
N530/N540	$\lambda \leq 200.0$ Passa	x: 0 m $\eta = 20.8$	x: 0 m $\eta = 56.9$	x: 0 m $\eta = 3.9$	x: 0 m $\eta = 5.1$	x: 0 m $\eta = 0.3$	x: 0 m $\eta = 0.3$	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 72.5$	PASSA $\eta = 72.5$
Notação: <i>λ: Limitação do índice de esbeltez</i> <i>N_t: Resistência à tração</i> <i>N_c: Resistência à compressão</i> <i>M_u: Resistência à flexão eixo U</i> <i>M_v: Resistência à flexão eixo V</i> <i>V_u: Resistência ao esforço cortante U</i> <i>V_v: Resistência ao esforço cortante V</i> <i>NM_uM_v: Resistência ao esforço axial e flexão combinados</i> <i>T: Resistência à torção</i> <i>NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante</i> <i>$\sigma \tau f$: Resistência a interações de esforços e momento de torção</i> <i>x: Distância à origem da barra</i> <i>η: Coeficiente de aproveitamento (%)</i> <i>N.A.: Não aplicável</i>												
<i>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.):</i> <i>⁽¹⁾ Este caso não está contemplado pela norma e, portanto, não é possível realizar a verificação.</i> <i>⁽²⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.</i> <i>⁽³⁾ Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.</i>												

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

Limitação do índice de esbeltez (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.4)

O índice de esbeltez das barras comprimidas, tomado como o maior relação entre o comprimento de flambagem e o raio de giração, não deve ser superior a 200.

λ : **160.2** ✓



Onde:

λ : Índice de esbeltez.

$$\lambda_u : 85.9$$

$$\lambda_v : 160.2$$

Sendo:

$K_u \cdot L_u$: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo U.

$$K_u \cdot L_u : 0.996 \text{ m}$$

$K_v \cdot L_v$: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo V.

$$K_v \cdot L_v : 0.996 \text{ m}$$

r_u, r_v : Raios de giração em relação aos eixos principais U, V, respectivamente.

$$r_u : 1.16 \text{ cm}$$

$$r_v : 0.62 \text{ cm}$$

Resistência à tração (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.208 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N530, para a combinação de ações PP+TELHA+1.4·VENTO.

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

$$N_{t,Sd} : 0.929 \text{ t}$$

A força axial de tração resistente de cálculo, $N_{t,Rd}$, deve ser determinada pela expressão:

$$N_{t,Rd} : 4.471 \text{ t}$$

Onde:

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : 1.93 \text{ cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : 1.10$$

Resistência à compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.569 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N530, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·TELHA+1.5·SC.

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

$$N_{c,Sd} : 0.687 \text{ t}$$



A força axial de compressão resistente de cálculo, $N_{c,Rd}$, deve ser determinada pela expressão:

$$N_{c,Rd} : \underline{1.206} \text{ t}$$

Onde:

χ : Fator de redução total associado à resistência à compressão.

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\chi : \underline{0.270}$$

$$Q : \underline{1.000}$$

$$A_g : \underline{1.93} \text{ cm}^2$$

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

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Fator de redução χ : (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.3)

$$\chi : \underline{0.270}$$

Onde:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido.

$$\lambda_0 : \underline{1.803}$$

Sendo:

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

N_e : Força axial de flambagem elástica.

$$Q : \underline{1.000}$$

$$A_g : \underline{1.93} \text{ cm}^2$$

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

$$N_e : \underline{1.512} \text{ t}$$

Força axial de flambagem elástica: (ABNT NBR 8800:2008, Anexo E)

A força axial de flambagem elástica, N_e , de uma barra com seção transversal monossimétrica, cujo eixo principal U é o eixo de simetria, é dada pelo menor valor entre os obtidos por (a) e (b):

$$N_e : \underline{1.512} \text{ t}$$

(a) Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia V da seção transversal:

$$N_{ev} : \underline{1.512} \text{ t}$$

Onde:

$K_v \cdot L_v$: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo V.

I_v : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo V.

E : Módulo de elasticidade do aço.

$$K_v \cdot L_v : \underline{0.996} \text{ m}$$

$$I_v : \underline{0.75} \text{ cm}^4$$

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

(b) Para flambagem por flexotorção:

$$N_{euz} : \underline{4.618} \text{ t}$$

Onde:

$$N_{eu} : \underline{5.267} \text{ t}$$

Sendo:



$K_u \cdot L_u$: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo U.

$$K_u \cdot L_u : \underline{0.996} \text{ m}$$

I_u : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo U.

$$I_u : \underline{2.59} \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

$$N_{ez} : \underline{17.605} \text{ t}$$

Sendo:

$K_z \cdot L_z$: Comprimento de flambagem por torção.

$$K_z \cdot L_z : \underline{0.996} \text{ m}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

C_w : Constante de empenamento da seção transversal.

$$C_w : \underline{0.05} \text{ cm}^6$$

G: Módulo de elasticidade transversal do aço.

$$G : \underline{784913} \text{ kgf/cm}^2$$

J: Constante de torção da seção transversal.

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

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

$$r_o : \underline{1.69} \text{ cm}$$

Onde:

r_u, r_v : Raios de giração em relação aos eixos principais U, V, respectivamente.

$$r_u : \underline{1.16} \text{ cm}$$

$$r_v : \underline{0.62} \text{ cm}$$

U_o, V_o : Coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos principais U, V, respectivamente.

$$U_o : \underline{10.64} \text{ mm}$$

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

Flambagem local de barras axialmente comprimidas: (ABNT NBR 8800:2008, Anexo F)

Não se aplica nenhuma redução, já que todos os elementos componentes da seção transversal possuem relações entre largura e espessura (b/t) que não superam os valores limite dados na Tabela F.1.

Mesa: Elemento do Grupo 3 da Tabela F.1.

$$10.02 \leq 12.73$$

Sendo:

(b/t) : Relação entre largura e espessura.

$$(b/t) : \underline{10.02}$$

Onde:

b: Largura.

$$b : \underline{31.75} \text{ mm}$$

t: Espessura.

$$t : \underline{3.17} \text{ mm}$$

$(b/t)_{lim}$: Relação limite entre largura e espessura.

$$(b/t)_{lim} : \underline{12.73}$$

Onde:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

Resistência à flexão eixo U (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)



Este caso não está contemplado na norma. Aplica-se o critério da CYPE Ingenieros baseado na norma ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.039} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N530, para a combinação de ações PP+TELHA+1.4·VENTO.

M_{sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{M_{u,Sd}^+} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

M_{x,Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{M_{x,Sd}^+} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{y,Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{M_{y,Sd}^+} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo **M_{Rd}** deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções:

$$\mathbf{M_{Rd}} : \underline{0.029} \text{ t}\cdot\text{m}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2.2):

$$\mathbf{M_{Rd}} : \underline{0.040} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_u: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

$$\mathbf{W_u} : \underline{1.16} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\mathbf{\gamma_{a1}} : \underline{1.10}$$

(b) Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$\mathbf{0.10} > \mathbf{0.02}$$

$$\mathbf{M_{Rd}} : \underline{0.029} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\mathbf{M_u} : \underline{0.024} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Sendo:

W_u: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

$$\mathbf{W_u} : \underline{1.16} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$\mathbf{M_e} : \underline{0.095} \text{ t}\cdot\text{m}$$



Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 2038736 kgf/cm²

b: Largura da aba da cantoneira.

b : 31.75 mm

t: Espessura da cantoneira.

t : 3.17 mm

C_b: Fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme.

C_b : 1.00

L_{b,sup}: Distância entre pontos travados à flambagem lateral.

L_{b,sup} : 0.996 m

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

(c) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

Não é necessária, já que a seção considera-se compacta.

Já que se cumpre ' $\lambda \leq \lambda_p$ ', não é necessário realizar esta verificação.

10.02 ≤ 15.27

Onde:

λ : 10.02

Sendo:

b: Largura da aba da cantoneira.

b : 31.75 mm

t: Espessura da cantoneira.

t : 3.17 mm

λ_p : 15.27

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 2038736 kgf/cm²

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 2548.42 kgf/cm²

Resistência à flexão eixo V (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

Este caso não está contemplado na norma. Aplica-se o critério da CYPE Ingenieros baseado na norma ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Deve satisfazer:

η : 0.051 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N530, para a combinação de ações PP+TELHA+1.4·VENTO.

M_{sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

M_{v,sd} : 0.001 t·m

Onde:

M_{x,sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

M_{x,sd} : 0.001 t·m



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

$M_{y,sd}$: 0.000 t·m

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções:

M_{Rd} : 0.022 t·m

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2.2):

M_{Rd} : 0.022 t·m

Onde:

W_v : Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

W_v : 0.63 cm³

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 2548.42 kgf/cm²

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

(b) Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

Não é necessária, já que o eixo de flexão não é o de maior inércia.

(c) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

Não é necessária, já que a seção considera-se compacta.

Já que se cumpre ' $\lambda \leq \lambda_p$ ', não é necessário realizar esta verificação.

10.02 ≤ 15.27

Onde:

λ : 10.02

Sendo:

b: Largura da aba da cantoneira.

b : 31.75 mm

t: Espessura da cantoneira.

t : 3.17 mm

λ_p : 15.27

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 2038736 kgf/cm²

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 2548.42 kgf/cm²

Resistência ao esforço cortante U (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)

Este caso não está contemplado na norma. Aplica-se o critério da CYPE Ingenieros baseado na norma ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Deve satisfazer:

η : 0.003 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N530, para a combinação de ações PP+TELHA+1.4·VENTO.



V_{Sd} : Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$V_{u,Sd}^- : 0.007 \text{ t}$$

Onde:

$V_{x,Sd}$: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$V_{x,Sd}^- : 0.008 \text{ t}$$

$V_{y,Sd}$: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$V_{y,Sd}^+ : 0.002 \text{ t}$$

A força cortante resistente de cálculo, V_{Rd} , é determinada pela expressão:

$$V_{Rd} : 1.979 \text{ t}$$

Onde:

$$V_{pl} : 2.176 \text{ t}$$

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w : 1.42 \text{ cm}^2$$

Onde:

b_{horz} : Largura da aba horizontal.

$$b_{horz} : 31.75 \text{ mm}$$

t_{horz} : Espessura da aba horizontal.

$$t_{horz} : 3.17 \text{ mm}$$

b_{vert} : Largura da aba vertical.

$$b_{vert} : 31.75 \text{ mm}$$

t_{vert} : Espessura da aba vertical.

$$t_{vert} : 3.17 \text{ mm}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : 1.10$$

Resistência ao esforço cortante V (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)

Este caso não está contemplado na norma. Aplica-se o critério da CYPE Ingenieros baseado na norma ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.003 \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N530, para a combinação de ações PP+TELHA+1.4·VENTO.

V_{Sd} : Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$V_{v,Sd}^+ : 0.007 \text{ t}$$

Onde:



$V_{x,Sd}$: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$V_{y,Sd}$: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

A força cortante resistente de cálculo, V_{Rd} , é determinada pela expressão:

$$V_{x,Sd}^+ : \underline{0.008} \text{ t}$$

$$V_{y,Sd}^+ : \underline{0.002} \text{ t}$$

$$V_{Rd} : \underline{1.979} \text{ t}$$

Onde:

$$V_{pl} : \underline{2.176} \text{ t}$$

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w : \underline{1.42} \text{ cm}^2$$

Onde:

b_{horz} : Largura da aba horizontal.

t_{horz} : Espessura da aba horizontal.

b_{vert} : Largura da aba vertical.

t_{vert} : Espessura da aba vertical.

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$b_{horz} : \underline{31.75} \text{ mm}$$

$$t_{horz} : \underline{3.17} \text{ mm}$$

$$b_{vert} : \underline{31.75} \text{ mm}$$

$$t_{vert} : \underline{3.17} \text{ mm}$$

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

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Resistência ao esforço axial e flexão combinados (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.1.2)

Este caso não está contemplado pela norma e, portanto, não é possível realizar a verificação.

Resistência à torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.1)

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

Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.2)

Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.

Resistência a interações de esforços e momento de torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.725} \quad \checkmark$$

O coeficiente de aproveitamento desfavorável produz-se no nó N530, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·TELHA+1.5·SC no ponto da seção transversal de coordenadas U = 11.79 mm, V = -1.12 mm em relação aos eixos principais de inércia.



As tensões normais σ_{sd} são dadas por:

$$\sigma_{sd} : \underline{-452.99} \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

$$\sigma_{nsd} : \underline{-355.78} \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo:

N_{c,sd}: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{N_{c,sd}} : \underline{0.687} \text{ t}$$

Q: Fator de redução total associado à flambagem local (ABNT NBR 8800:2008, Anexo F).

$$\mathbf{Q} : \underline{1.000}$$

A_g: Área bruta da seção transversal da barra.

$$\mathbf{A_g} : \underline{1.93} \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{mu,sd} : \underline{-1.50} \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo:

M_{u,sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{M_{u,sd}} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

I_u: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo U.

$$\mathbf{I_u} : \underline{2.59} \text{ cm}^4$$

V: Coordenada, em relação ao eixo V, do ponto desfavorável da seção transversal em relação ao centro de gravidade da seção bruta.

$$\mathbf{V} : \underline{-1.12} \text{ mm}$$

$$\sigma_{mv,sd} : \underline{-95.70} \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo:

M_{v,sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{M_{v,sd}} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

I_v: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo V.

$$\mathbf{I_v} : \underline{0.75} \text{ cm}^4$$

U: Coordenada, em relação ao eixo U, do ponto desfavorável da seção transversal em relação ao centro de gravidade da seção bruta.

$$\mathbf{U} : \underline{11.79} \text{ mm}$$

A tensão resistente de cálculo, σ_{Rd} , é dada pelo menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$\sigma_{Rd} : \underline{624.72} \text{ kgf/cm}^2$$

(a) Tensão resistente de cálculo para os estados-limites de escoamento sob efeito de tensão normal:

$$\sigma_{Rd} : \underline{2316.75} \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\mathbf{\gamma_{a1}} : \underline{1.10}$$

(b) Tensão resistente de cálculo para os estados-limites de instabilidade ou flambagem sob efeito de tensão normal:

$$\sigma_{Rd} : \underline{624.72} \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

χ: Fator de redução total associado à resistência à compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.3).



$$\chi : \underline{0.270}$$

Sendo:

$$\lambda_0 : \underline{1.803}$$

$$\sigma_e : \underline{783.58} \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

N_e: Força axial de flambagem elástica.

$$\mathbf{N_e} : \underline{1.512} \text{ t}$$

Q: Fator de redução total associado à flambagem local (ABNT NBR 8800:2008, Anexo F).

$$\mathbf{Q} : \underline{1.000}$$

A_g: Área bruta da seção transversal da barra.

$$\mathbf{A_g} : \underline{1.93} \text{ cm}^2$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\mathbf{\gamma_{a1}} : \underline{1.10}$$



TERÇAS

Perfil: C150X60X20X2.66
Material: Aço (A-36)

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
Inicial	Final		Área (cm²)	I _x ⁽¹⁾ (cm4)	I _y ⁽¹⁾ (cm4)	I _t ⁽²⁾ (cm4)	x _g ⁽³⁾ (mm)	y _g ⁽³⁾ (mm)
N890	N587	2.175	7.78	267.54	38.08	0.18	-10.79	0.00
Notas: (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 _K	2.175		2.175		2.175		2.175	
C _m	-		-		1.000		1.000	
C _b	-		-		1.000		1.000	
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos C _b : Fator de modificação para o momento crítico								

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _y	N _t M _x M _y	M _t	
N890/N587	(b _w /t) ≤ 500 (b _f /t) ≤ 60 Passa	λ _{xx} ≤ 200.0 λ _{yy} ≤ 200.0 Passa	η = 1.3	η = 1.8	x: 2.175 m η = 82.5	x: 2.175 m η = 10.0	x: 2.175 m η = 0.5	x: 2.175 m η = 9.9	x: 2.175 m η = 53.6	x: 2.175 m η = 1.0	x: 2.175 m η = 58.9	x: 2.175 m η = 93.8	M _{t,50} = 0.00 N.A. ⁽¹⁾	PASSA η = 93.8
Notação: b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura λ: Limitação de esbeltez N _t : Resistência à tração N _c : Resistência à compressão M _x : Resistência à flexão eixo X M _y : Resistência à flexão eixo Y V _x : Resistência ao esforço cortante X V _y : Resistência ao esforço cortante Y M _x V _y : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados M _y V _x : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados N _c M _x M _y : Resistência à flexo-compressão N _t M _x M _y : Resistência à flexo-tração M _t : 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.): (1) 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) : 52 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.**t**: A espessura.**b** : 139.36 mm**t** : 2.66 mm

Elemento: Mesa

RUPE ENGENHARIA LTDA – CNPJ 45.385.131/0001-72

Rua Frederico Augusto Luiz Thieme, n°. 117, Sala 05, Centro - Itajaí/SC

E-mail: adm@ruppengenharia.com - Fone: (49) 9 9177-9340



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.

$$(b/t) : \underline{19} \quad \checkmark$$

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

$$b : \underline{49.36} \text{ mm}$$

t: A espessura.

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

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

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$$\lambda_{xx} : \underline{37.1} \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : \underline{98.3} \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$K_x L_x : \underline{2.175} \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : \underline{2.175} \text{ m}$$

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

$$r_x : \underline{5.87} \text{ cm}$$

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

$$r_y : \underline{2.21} \text{ cm}$$

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

Deve satisfazer:

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

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

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

$$N_{t,Ed} : \underline{0.236} \text{ t}$$

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

$$N_{t,Rd} : \underline{18.016} \text{ t}$$



Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra.

f_y: Tensão de escoamento.

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

A : 7.78 cm²

f_y : 2548.42 kgf/cm²

γ : 1.1

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

Deve satisfazer:

η : 0.018 ✓

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

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

N_{c,Sd} : 0.148 t

A resistência de cálculo à compressão **N_{c,Rd}** é dada pelo menor dos valores obtidos segundo os seguintes itens:

N_{c,Rd} : 8.291 t

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

N_{c,Rd} : 8.291 t

Onde:

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

χ: Fator de redução associado à flambagem,

Sendo:

A_{ef} : 6.94 cm²

χ_{yy} : 0.60

χ_{xz} : 0.56

λ₀: Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

λ_{0, yy} : 1.11

λ_{0, xz} : 1.17

Sendo:

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

A: Área bruta da seção transversal da barra.

f_y: Tensão de escoamento.

A : 7.78 cm²

f_y : 2548.42 kgf/cm²



γ : 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) e b):

$$N_e : \underline{14.414} \text{ t}$$

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

$$N_{ey} : \underline{16.197} \text{ t}$$

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

$$N_{exz} : \underline{14.414} \text{ t}$$

Onde:

$$N_{ex} : \underline{113.797} \text{ t}$$

$$N_{ez} : \underline{15.141} \text{ t}$$

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

$$I_x : \underline{267.54} \text{ cm}^4$$

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

$$I_y : \underline{38.08} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : \underline{0.18} \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : \underline{1805.89} \text{ cm}^6$$

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.

$$K_x L_x : \underline{2.175} \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : \underline{2.175} \text{ m}$$

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

$$K_z L_z : \underline{2.175} \text{ m}$$

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

$$r_0 : \underline{7.76} \text{ cm}$$

Sendo:

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

$$r_x : \underline{5.87} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{2.21} \text{ cm}$$

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

$$x_0 : \underline{-45.75} \text{ mm}$$

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

b) Flambagem por distorção (9.7.3)

Não se leva em conta a flambagem por distorção, já que a relação D/b_w é maior que o valor mínimo que permite ignorar a verificação $((D/b_w)_{\min})$.



Onde:

D/b_w : Relação entre enrijecedor e alma.

$$D/b_w : 0.13$$

$(D/b_w)_{\min}$: Valor mínimo para poder ignorar a verificação de flambagem por distorção, em função das seguintes relações geométricas (tabela 11):

$$(D/b_w)_{\min} : 0.07$$

b_f/b_w : Relação entre mesa e alma.

$$b_f/b_w : 0.40$$

b_w/t : Relação entre alma e espessura.

$$b_w/t : 56.39$$

Sendo:

b_w : Largura da alma.

$$b_w : 150.00 \text{ mm}$$

b_f : Largura da aba.

$$b_f : 60.00 \text{ mm}$$

D : Comprimento do enrijecedor da mesa.

$$D : 20.00 \text{ mm}$$

t : A espessura.

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.825 \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo **M_{Sd}** é obtido para o nó N587, para a combinação de hipóteses PP+TELHA+1.4·VENTO.

$$M_{Sd} : 0.599 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 0.727 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 0.826 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$W_{ef} : 35.67 \text{ cm}^3$$

f_y : Tensão de escoamento.

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

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$$M_{Rd} : 0.727 \text{ t}\cdot\text{m}$$



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.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

χ_{FLT} : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$$\begin{aligned} W_{c,ef} &: \underline{35.67} \text{ cm}^3 \\ f_y &: \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2 \\ \gamma &: \underline{1.1} \end{aligned}$$

$$^{(2)}\chi_{FLT} : \underline{0.88}$$

Sendo:

$$\lambda_0 : \underline{0.86}$$

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

$$W_c : \underline{35.67} \text{ cm}^3$$

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:

$$M_e : \underline{1.215} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

C_b : Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

$$C_b : \underline{1.00}$$

$$N_{ey} : \underline{16.197} \text{ t}$$

$$N_{ez} : \underline{15.141} \text{ t}$$

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

$$I_y : \underline{38.08} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : \underline{0.18} \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : \underline{1805.89} \text{ cm}^6$$

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.

$$K_y L_y : \underline{2.175} \text{ m}$$

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

$$K_z L_z : \underline{2.175} \text{ m}$$

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

$$r_0 : \underline{7.76} \text{ cm}$$

Sendo:



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

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

$$\begin{array}{lcl} r_x & : & 5.87 \text{ cm} \\ r_y & : & 2.21 \text{ cm} \\ x_0 & : & -45.75 \text{ mm} \\ y_0 & : & 0.00 \text{ mm} \end{array}$$

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:

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

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

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

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

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

Sendo:

b_w : Largura da alma.

b_f : Largura da aba.

D : Comprimento do enrijecedor da mesa.

t : A espessura.

$$\begin{array}{lcl} b_w/t & : & 56.39 \\ b_f/t & : & 22.56 \\ D/t & : & 7.52 \\ D/b_f & : & 0.33 \\ b_w/b_f & : & 2.50 \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl} b_w & : & 150.00 \text{ mm} \\ b_f & : & 60.00 \text{ mm} \\ D & : & 20.00 \text{ mm} \\ t & : & 2.66 \text{ mm} \end{array}$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.100} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{sd} é obtido para o nó N587, para a combinação $M_{sd} : \underline{0.021} \text{ t}\cdot\text{m}$ de hipóteses PP+TELHA+1.4·VENTO.

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

$$M_{Rd} : \underline{0.211} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\begin{array}{lcl} W_{ef} & : & 9.11 \text{ cm}^3 \\ f_y & : & 2548.42 \text{ kgf/cm}^2 \\ \gamma & : & 1.1 \end{array}$$



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

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se no nó N587, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·TELHA+1.5·SC.

$$V_{sd} : \underline{0.019} \quad t$$

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

$$V_{sd} : \underline{0.009} \quad t$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{1.825} \quad t$$

para

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

para

$$h/t : \underline{18.56}$$

para

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

Onde:

t: Espessura da alma.

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

h: Largura da alma.

$$h : \underline{49.36} \quad mm$$

f_y: Tensão de escoamento.

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

E: Módulo de elasticidade.

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

γ: 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:

$$\eta : \underline{0.099} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se no nó N587, para a combinação de hipóteses PP+TELHA+1.4·VENTO.

$$V_{sd} : \underline{0.510} \quad t$$



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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{5.153 \text{ t}}$$

para

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

para

$$h/t : \underline{52.39}$$

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.

$$h : \underline{139.36 \text{ mm}}$$

f_y: Tensão de escoamento.

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

E: Módulo de elasticidade.

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

γ: 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 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 N587, 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:

$$\eta : \underline{0.536} \checkmark$$

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : \underline{0.599 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

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

$$M_{0,Rd} : \underline{0.826 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : \underline{0.510 \text{ t}}$$

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

$$V_{Rd} : \underline{5.153 \text{ t}}$$

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 N587, 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:



$$\eta : \underline{0.010} \checkmark$$

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.

$$M_{Sd} : \underline{0.021} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{0,Rd} : \underline{0.211} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$V_{Sd} : \underline{0.014} \text{ t}$$

$$V_{Rd} : \underline{3.650} \text{ t}$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N587, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·TELHA+1.5·SC.

$$\eta : \underline{0.589} \checkmark$$

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.

$$N_{c,Sd} : \underline{0.148} \text{ t}$$

$$M_{x,Sd} : \underline{0.348} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : \underline{0.020} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{8.291} \text{ t}$$

$$M_{x,Rd} : \underline{0.727} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{0.216} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N587, para a combinação PP+TELHA+1.4·VENTO.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : \underline{0.938} \checkmark$$

Onde:

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

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

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

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

$$N_{t,Sd} : \underline{0.236} \text{ t}$$

$$M_{x,Sd} : \underline{0.599} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : \underline{0.021} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$N_{Rd} : \underline{18.016} \text{ t}$$

$$M_{x,Rd} : \underline{0.727} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{0.211} \text{ t}\cdot\text{m}$$



Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

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

**BANZO VIGA****Perfil: U150X50X3.04****Material: Aço (A-36)**

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas																	
Inicial	Final		Área (cm²)	$I_x^{(1)}$ (cm⁴)	$I_y^{(1)}$ (cm⁴)	$I_t^{(2)}$ (cm⁴)	$x_g^{(3)}$ (mm)	$y_g^{(3)}$ (mm)												
N370	N301	0.500	7.29	232.83	16.07	0.22	-13.67	0.00												
Notas:																				
(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_K	0.500	0.500	0.500	0.500																
C_m	-	-	1.000	1.000																
C_b	-		1.000																	
Notação:																				
β : Coeficiente de flambagem																				
L_K : Comprimento de flambagem (m)																				
C_m : Coeficiente de momentos																				
C_b : Fator de modificação para o momento crítico																				

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	$M_x V_y$	$M_y V_x$	$N_c M_x M_y$	$N_t M_x M_y$	M_t	
N370/N301	$(b_w/t) \leq 90$ Passa	$\lambda_{xx} \leq 200.0$ $\lambda_{yy} \leq 200.0$ Passa	$\eta = 6.1$	$\eta = 11.7$	x: 0.5 m $\eta = 15.9$	x: 0.5 m $\eta = 23.4$	x: 0 m $\eta = 1.7$	$\eta = 3.8$	x: 0.5 m $\eta = 2.7$	x: 0.5 m $\eta = 5.5$	x: 0.5 m $\eta = 50.0$	x: 0.5 m $\eta = 37.7$	$M_{t, Sd} = 0.00$ N.A. ⁽¹⁾	PASSA $\eta = 50.0$
Notação: b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura λ : Limitação de esbeltez N_t : Resistência à tração N_c : Resistência à compressão M_x : Resistência à flexão eixo X M_y : Resistência à flexão eixo Y V_x : Resistência ao esforço cortante X V_y : Resistência ao esforço cortante Y $M_x V_y$: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados $M_y V_x$: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados $N_c M_x M_y$: Resistência à flexo-compressão $N_t M_x M_y$: Resistência à flexo-tração M_t : 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.): ⁽¹⁾ 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 almas de perfis U não enrijecidos sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.

(b/t) : 45 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.**b**: 137.84 mm**t**: A espessura.**t**: 3.04 mm



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

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$$\lambda_{xx} : \underline{8.8} \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : \underline{33.7} \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$K_x L_x : \underline{0.500} \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : \underline{0.500} \text{ m}$$

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

$$r_x : \underline{5.65} \text{ cm}$$

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

$$r_y : \underline{1.48} \text{ cm}$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.061} \quad \checkmark$$

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

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

$$N_{t,Sd} : \underline{1.030} \text{ t}$$

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

$$N_{t,Rd} : \underline{16.897} \text{ t}$$

Onde:

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{7.29} \text{ cm}^2$$

f_y : Tensão de escoamento.

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

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

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

Deve satisfazer:



$$\eta : \underline{0.117} \quad \checkmark$$

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

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

$$\mathbf{N_{c,sd}} : \underline{1.540} \text{ t}$$

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

$$\mathbf{N_{c,Rd}} : \underline{13.167} \text{ t}$$

Onde:

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

$$\mathbf{A_{ef}} : \underline{6.61} \text{ cm}^2$$

χ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi_{yy} : \underline{0.94}$$

$$\chi_{xz} : \underline{0.94}$$

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0,yy} : \underline{0.38}$$

$$\lambda_{0,xz} : \underline{0.39}$$

Sendo:

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

A: Área bruta da seção transversal da barra.

$$\mathbf{A} : \underline{7.29} \text{ cm}^2$$

f_y: Tensão de escoamento.

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

γ : 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) e b):

$$\mathbf{N_e} : \underline{121.043} \text{ t}$$

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

$$\mathbf{N_{ey}} : \underline{129.378} \text{ t}$$

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

$$\mathbf{N_{exz}} : \underline{121.043} \text{ t}$$



Onde:

$$N_{ex} : 1873.979 \text{ t}$$

$$N_{ez} : 122.452 \text{ t}$$

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

$$I_x : 232.83 \text{ cm}^4$$

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

$$I_y : 16.07 \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : 0.22 \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : 602.67 \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidade.

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

G : Módulo de elasticidade transversal.

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

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

$$K_x L_x : 0.500 \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : 0.500 \text{ m}$$

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

$$K_z L_z : 0.500 \text{ m}$$

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

$$r_0 : 6.41 \text{ cm}$$

Sendo:

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

$$r_x : 5.65 \text{ cm}$$

$$r_y : 1.48 \text{ cm}$$

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

$$x_0 : -26.31 \text{ mm}$$

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.159 \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N301, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·TELHA+1.5·SC.

$$M_{Sd} : 0.108 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 0.681 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 0.681 \text{ t}\cdot\text{m}$$



Onde:

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

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\begin{aligned} W_{ef} &: \underline{29.41} \text{ cm}^3 \\ f_y &: \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2 \\ \gamma &: \underline{1.1} \end{aligned}$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$$\begin{aligned} M_{Rd}^{pos} &: \underline{0.681} \text{ t}\cdot\text{m} \\ M_{Rd}^{neg} &: \underline{0.709} \text{ t}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

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.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

χ_{FLT} : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$$\begin{aligned} W_{c,ef}^{pos} &: \underline{29.41} \text{ cm}^3 \\ W_{c,ef}^{neg} &: \underline{30.59} \text{ cm}^3 \\ f_y &: \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2 \\ \gamma &: \underline{1.1} \end{aligned}$$

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

Sendo:

$$\lambda_0 : \underline{0.31}$$

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

$$W_c : \underline{31.04} \text{ cm}^3$$

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:

$$M_e : \underline{8.064} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

C_b : Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

$$C_b : \underline{1.00}$$

$$N_{ey} : \underline{129.378} \text{ t}$$

$$N_{ez} : \underline{122.452} \text{ t}$$



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

I_y : 16.07 cm⁴

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

I_t : 0.22 cm⁴

C_w : Constante de empenamento da seção.

C_w : 602.67 cm⁶

E : Módulo de elasticidade.

E : 2038736 kgf/cm²

G : Módulo de elasticidade transversal.

G : 784129 kgf/cm²

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem lateral.

$K_y L_y$: 0.500 m

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

$K_z L_z$: 0.500 m

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

r_0 : 6.41 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 : 5.65 cm

r_y : 1.48 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 : -26.31 mm

y_0 : 0.00 mm

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

Deve satisfazer:

η : 0.234 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo **M_{sd}** é obtido para o nó N301, para a combinação **M_{sd}** : 0.022 t·m de hipóteses PP+TELHA+1.4·VENTO.

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

M_{Rd} : 0.095 t·m

Onde:

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

W_{ef} : 4.10 cm³

f_y : Tensão de escoamento.

f_y : 2548.42 kgf/cm²

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.1

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

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.017} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N370, para a combinação de hipóteses PP+TELHA+1.4·VENTO.

$$V_{Sd} : \underline{0.063} \quad t$$

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

$$V_{Sd} : \underline{0.031} \quad t$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{1.856} \quad t$$

para

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

para

$$h/t : \underline{14.45}$$

para

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

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{3.04} \quad mm$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{43.92} \quad mm$$

f_y: Tensão de escoamento.

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

E: Módulo de elasticidade.

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

γ: 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:

$$\eta : \underline{0.038} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·TELHA+1.5·SC.

$$V_{Sd} : \underline{0.221} \quad t$$



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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{5.825 \text{ t}}$$

para

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

para

$$h/t : \underline{45.34}$$

para

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

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{3.04 \text{ mm}}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{137.84 \text{ mm}}$$

f_y: Tensão de escoamento.

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

E: Módulo de elasticidade.

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

γ: 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 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 N301, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·TELHA+1.5·SC.

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:

$$\eta : \underline{0.027} \checkmark$$

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : \underline{0.108 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

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

$$M_{0,Rd} : \underline{0.681 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : \underline{0.221 \text{ t}}$$

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

$$V_{Rd} : \underline{5.825 \text{ t}}$$

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 N301, 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:



$$\eta : \underline{0.055} \checkmark$$

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.

$$\underline{\mathbf{M}_{Sd} : 0.022 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

$$\underline{\mathbf{M}_{0,Rd} : 0.095 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

$$\underline{\mathbf{V}_{Sd} : 0.060 \text{ t}}$$

$$\underline{\mathbf{V}_{Rd} : 3.712 \text{ t}}$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N301, para a combinação de hipóteses PP+TELHA+1.4·VENTO.

$$\eta : \underline{0.500} \checkmark$$

Onde:

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

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

$$\underline{\mathbf{N}_{c,Sd} : 1.540 \text{ t}}$$

$$\underline{\mathbf{M}_{x,Sd} : 0.101 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

$$\underline{\mathbf{M}_{y,Sd} : 0.022 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

$$\underline{\mathbf{N}_{c,Rd} : 13.167 \text{ t}}$$

$$\underline{\mathbf{M}_{x,Rd} : 0.681 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

$$\underline{\mathbf{M}_{y,Rd} : 0.095 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

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

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N301, para a combinação 1.25·PP+1.25·TELHA+1.5·SC.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta : \underline{0.377} \checkmark$$

Onde:

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

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

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

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

$$\underline{\mathbf{N}_{t,Sd} : 1.030 \text{ t}}$$

$$\underline{\mathbf{M}_{x,Sd} : 0.108 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

$$\underline{\mathbf{M}_{y,Sd} : 0.015 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

$$\underline{\mathbf{N}_{Rd} : 16.897 \text{ t}}$$

$$\underline{\mathbf{M}_{x,Rd} : 0.681 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

$$\underline{\mathbf{M}_{y,Rd} : 0.096 \text{ t}\cdot\text{m}}$$



Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

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

**TRELIÇADO TESOURA**

Perfil: L 1.1/4 x 1/8", Duplo U união genérica (Distância entre os perfis: 80.5 / 80.5 mm e Perfis independentes)
Material: Aço (A-36 250Mpa)

	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
	Inicial	Final		Área (cm²)	I _x ⁽¹⁾ (cm4)	I _y ⁽¹⁾ (cm4)	I _t ⁽²⁾ (cm4)	x _g ⁽³⁾ (mm)	y _g ⁽³⁾ (mm)
	N369	N301	0.733	3.86	3.34	156.03	0.13	0.00	-6.77
Notas: ⁽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 _K	0.733		0.733	0.733			0.733		
C _b	-			1.000					
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _b : Fator de modificação para o momento crítico									

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N _t	N _c	M _u	M _v	V _u	V _v	NM _u M _v	T	NMVT	σ τ f	
N369/N301	λ ≤ 200.0 Passa	x: 0 m η = 31.2	x: 0 m η = 83.4	x: 0 m η = 4.8	x: 0 m η = 6.6	x: 0 m η = 0.7	x: 0 m η = 0.7	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m η = 104.6	ACEITAVEL η = 104.6
Notação: λ: Limitação do índice de esbeltez N _t : Resistência à tração N _c : Resistência à compressão M _u : Resistência à flexão eixo U M _v : Resistência à flexão eixo V V _u : Resistência ao esforço cortante U V _v : Resistência ao esforço cortante V NM _u M _v : Resistência ao esforço axial e flexão combinados T: Resistência à torção NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante σ τ f: Resistência a interações de esforços e momento de torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.A.: Não aplicável												
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.): ⁽¹⁾ Este caso não está contemplado pela norma e, portanto, não é possível realizar a verificação. ⁽²⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor. ⁽³⁾ Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.												

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

Limitação do índice de esbeltez (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.4)

O índice de esbeltez das barras comprimidas, tomado como o maior relação entre o comprimento de flambagem e o raio de giração, não deve ser superior a 200.

λ : **118.0** ✓

Onde:

λ: Índice de esbeltez.

RUPP ENGENHARIA LTDA – CNPJ 45.385.131/0001-72

Rua Frederico Augusto Luiz Thieme, n°. 117, Sala 05, Centro - Itajaí/SC

E-mail: adm@ruppengenharia.com - Fone: (49) 9 9177-9340



$$\lambda_u : 63.2$$

$$\lambda_v : 118.0$$

Sendo:

$K_u \cdot L_u$: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo U.

$$K_u \cdot L_u : 0.733 \text{ m}$$

$K_v \cdot L_v$: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo V.

$$K_v \cdot L_v : 0.733 \text{ m}$$

r_u, r_v : Raios de giração em relação aos eixos principais U, V, respectivamente.

$$r_u : 1.16 \text{ cm}$$

$$r_v : 0.62 \text{ cm}$$

Resistência à tração (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.312 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N369, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·TELHA+1.5·SC.

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

$$N_{t,Sd} : 1.393 \text{ t}$$

A força axial de tração resistente de cálculo, $N_{t,Rd}$, deve ser determinada pela expressão:

$$N_{t,Rd} : 4.471 \text{ t}$$

Onde:

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : 1.93 \text{ cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : 1.10$$

Resistência à compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3)

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.834 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N369, para a combinação de ações PP+TELHA+1.4·VENTO.

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

$$N_{c,Sd} : 1.784 \text{ t}$$

A força axial de compressão resistente de cálculo, $N_{c,Rd}$, deve ser determinada pela expressão:



$$N_{c,Rd} : \underline{2.138} \text{ t}$$

Onde:

χ : Fator de redução total associado à resistência à compressão.

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\chi : \underline{0.478}$$

$$Q : \underline{1.000}$$

$$A_g : \underline{1.93} \text{ cm}^2$$

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

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Fator de redução χ : (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.3)

$$\chi : \underline{0.478}$$

Onde:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido.

$$\lambda_0 : \underline{1.328}$$

Sendo:

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

N_e : Força axial de flambagem elástica.

$$Q : \underline{1.000}$$

$$A_g : \underline{1.93} \text{ cm}^2$$

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

$$N_e : \underline{2.790} \text{ t}$$

Força axial de flambagem elástica: (ABNT NBR 8800:2008, Anexo E)

A força axial de flambagem elástica, N_e , de uma barra com seção transversal monossimétrica, cujo eixo principal U é o eixo de simetria, é dada pelo menor valor entre os obtidos por (a) e (b):

$$N_e : \underline{2.790} \text{ t}$$

(a) Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia V da seção transversal:

$$N_{ev} : \underline{2.790} \text{ t}$$

Onde:

$K_v \cdot L_v$: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo V.

I_v : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo V.

E : Módulo de elasticidade do aço.

$$K_v \cdot L_v : \underline{0.733} \text{ m}$$

$$I_v : \underline{0.75} \text{ cm}^4$$

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

(b) Para flambagem por flexotorção:

$$N_{euz} : \underline{7.513} \text{ t}$$

Onde:

$$N_{eu} : \underline{9.718} \text{ t}$$

Sendo:

$K_u \cdot L_u$: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo U.

$$K_u \cdot L_u : \underline{0.733} \text{ m}$$



I_u : Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo U.

$$I_u : \underline{2.59} \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

$$N_{ez} : \underline{17.634} \text{ t}$$

Sendo:

$K_z \cdot L_z$: Comprimento de flambagem por torção.

$$K_z \cdot L_z : \underline{0.733} \text{ m}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

C_w : Constante de empenamento da seção transversal.

$$C_w : \underline{0.05} \text{ cm}^6$$

G: Módulo de elasticidade transversal do aço.

$$G : \underline{784913} \text{ kgf/cm}^2$$

J: Constante de torção da seção transversal.

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

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

$$r_o : \underline{1.69} \text{ cm}$$

Onde:

r_u, r_v : Raios de giração em relação aos eixos principais U, V, respectivamente.

$$r_u : \underline{1.16} \text{ cm}$$

$$r_v : \underline{0.62} \text{ cm}$$

U_o, V_o : Coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos principais U, V, respectivamente.

$$U_o : \underline{10.64} \text{ mm}$$

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

Flambagem local de barras axialmente comprimidas: (ABNT NBR 8800:2008, Anexo F)

Não se aplica nenhuma redução, já que todos os elementos componentes da seção transversal possuem relações entre largura e espessura (b/t) que não superam os valores limite dados na Tabela F.1.

Mesa: Elemento do Grupo 3 da Tabela F.1.

$$10.02 \leq 12.73$$

Sendo:

(b/t) : Relação entre largura e espessura.

$$(b/t) : \underline{10.02}$$

Onde:

b: Largura.

$$b : \underline{31.75} \text{ mm}$$

t: Espessura.

$$t : \underline{3.17} \text{ mm}$$

$(b/t)_{lim}$: Relação limite entre largura e espessura.

$$(b/t)_{lim} : \underline{12.73}$$

Onde:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

Resistência à flexão eixo U (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

Este caso não está contemplado na norma. Aplica-se o critério da CYPE Ingenieros baseado na norma ANSI/AISC 360-05 (LRFD).



Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.048} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N369, para a combinação de ações PP+TELHA+1.4·VENTO.

M_{sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{M_{u,sd}} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

M_{x,sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{M_{x,sd}} : \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{y,sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{M_{y,sd}} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo **M_{Rd}** deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções:

$$\mathbf{M_{Rd}} : \underline{0.030} \text{ t}\cdot\text{m}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2.2):

$$\mathbf{M_{Rd}} : \underline{0.040} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_u: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

$$\mathbf{W_u} : \underline{1.16} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\mathbf{\gamma_{a1}} : \underline{1.10}$$

(b) Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$\mathbf{0.13} > \mathbf{0.02}$$

$$\mathbf{M_{Rd}} : \underline{0.030} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\mathbf{M_u} : \underline{0.024} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Sendo:

W_u: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

$$\mathbf{W_u} : \underline{1.16} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$\mathbf{M_e} : \underline{0.130} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Sendo:



E: Módulo de elasticidade do aço.

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

b: Largura da aba da cantoneira.

$$b : \frac{31.75}{\text{mm}}$$

t: Espessura da cantoneira.

$$t : \frac{3.17}{\text{mm}}$$

C_b: Fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme.

$$C_b : \frac{1.00}{\text{mm}}$$

L_{b,inf}: Distância entre pontos travados à flambagem lateral.

$$L_{b,inf} : \frac{0.733}{\text{m}}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \frac{1.10}{\text{mm}}$$

(c) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

Não é necessária, já que a seção considera-se compacta.

Já que se cumpre ' $\lambda \leq \lambda_p$ ', não é necessário realizar esta verificação.

$$10.02 \leq 15.27$$

Onde:

$$\lambda : \frac{10.02}{\text{mm}}$$

Sendo:

b: Largura da aba da cantoneira.

$$b : \frac{31.75}{\text{mm}}$$

t: Espessura da cantoneira.

$$t : \frac{3.17}{\text{mm}}$$

$$\lambda_p : \frac{15.27}{\text{mm}}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

Resistência à flexão eixo V (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

Este caso não está contemplado na norma. Aplica-se o critério da CYPE Ingenieros baseado na norma ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Deve satisfazer:

$$\eta : \frac{0.066}{\text{mm}}$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N369, para a combinação de ações PP+TELHA+1.4·VENTO.

M_{sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{v,sd^+} : \frac{0.001}{\text{t}\cdot\text{m}}$$

Onde:

M_{x,sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{x,sd^-} : \frac{0.002}{\text{t}\cdot\text{m}}$$

M_{y,sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{y,sd^+} : \frac{0.000}{\text{t}\cdot\text{m}}$$



O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções:

- (a) Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2.2):

$$M_{Rd} : \underline{0.022} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd} : \underline{0.022} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_v : Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

$$W_v : \underline{0.63} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

- (b) Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

Não é necessária, já que o eixo de flexão não é o de maior inércia.

- (c) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

Não é necessária, já que a seção considera-se compacta.

Já que se cumpre ' $\lambda \leq \lambda_p$ ', não é necessário realizar esta verificação.

$$10.02 \leq 15.27$$

Onde:

$$\lambda : \underline{10.02}$$

Sendo:

b: Largura da aba da cantoneira.

$$b : \underline{31.75} \text{ mm}$$

t: Espessura da cantoneira.

$$t : \underline{3.17} \text{ mm}$$

$$\lambda_p : \underline{15.27}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

Resistência ao esforço cortante U (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)

Este caso não está contemplado na norma. Aplica-se o critério da CYPE Ingenieros baseado na norma ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.007} \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N369, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·TELHA+1.5·SC.

V_{sd}: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.



$$V_{u,Sd} : 0.014 \text{ t}$$

Onde:

$V_{x,Sd}$: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$V_{x,Sd} : 0.017 \text{ t}$$

$V_{y,Sd}$: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$V_{y,Sd} : 0.003 \text{ t}$$

A força cortante resistente de cálculo, V_{Rd} , é determinada pela expressão:

$$V_{Rd} : 1.979 \text{ t}$$

Onde:

$$V_{pl} : 2.176 \text{ t}$$

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w : 1.42 \text{ cm}^2$$

Onde:

b_{horz} : Largura da aba horizontal.

$$b_{horz} : 31.75 \text{ mm}$$

t_{horz} : Espessura da aba horizontal.

$$t_{horz} : 3.17 \text{ mm}$$

b_{vert} : Largura da aba vertical.

$$b_{vert} : 31.75 \text{ mm}$$

t_{vert} : Espessura da aba vertical.

$$t_{vert} : 3.17 \text{ mm}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : 1.10$$

Resistência ao esforço cortante V (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)

Este caso não está contemplado na norma. Aplica-se o critério da CYPE Ingenieros baseado na norma ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.007 \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N369, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·TELHA+1.5·SC.

V_{Sd} : Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$V_{v,Sd} : 0.014 \text{ t}$$

Onde:

$V_{x,Sd}$: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$V_{x,Sd} : 0.017 \text{ t}$$

$V_{y,Sd}$: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$V_{y,Sd} : 0.003 \text{ t}$$



A força cortante resistente de cálculo, V_{Rd} , é determinada pela expressão:

$$V_{Rd} : \underline{1.979} \text{ t}$$

Onde:

$$V_{pl} : \underline{2.176} \text{ t}$$

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w : \underline{1.42} \text{ cm}^2$$

Onde:

b_{horz} : Largura da aba horizontal.

$$b_{horz} : \underline{31.75} \text{ mm}$$

t_{horz} : Espessura da aba horizontal.

$$t_{horz} : \underline{3.17} \text{ mm}$$

b_{vert} : Largura da aba vertical.

$$b_{vert} : \underline{31.75} \text{ mm}$$

t_{vert} : Espessura da aba vertical.

$$t_{vert} : \underline{3.17} \text{ mm}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Resistência ao esforço axial e flexão combinados (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.1.2)

Este caso não está contemplado pela norma e, portanto, não é possível realizar a verificação.

Resistência à torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.1)

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

Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.2)

Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.

Resistência a interações de esforços e momento de torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.3)



Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{1.046} \text{ X}$$

O coeficiente de aproveitamento desfavorável produz-se no nó N369, para a combinação de ações PP+TELHA+1.4·VENTO no ponto da seção transversal de coordenadas $U = 11.79 \text{ mm}$, $V = -1.12 \text{ mm}$ em relação aos eixos principais de inércia.

As tensões normais σ_{sd} são dadas por:



$$\sigma_{Sd} : \underline{-1159.15 \text{ kgf/cm}^2}$$

Onde:

$$\sigma_{NSd} : \underline{-924.32 \text{ kgf/cm}^2}$$

Sendo:

N_{c,Sd}: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{N_{c,Sd}} : \underline{1.784 \text{ t}}$$

Q: Fator de redução total associado à flambagem local (ABNT NBR 8800:2008, Anexo F).

$$\mathbf{Q} : \underline{1.000}$$

A_g: Área bruta da seção transversal da barra.

$$\mathbf{A_g} : \underline{1.93 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma_{Mu,Sd} : \underline{-4.97 \text{ kgf/cm}^2}$$

Sendo:

M_{u,Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{M_{u,Sd}} : \underline{0.001 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

I_u: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo U.

$$\mathbf{I_u} : \underline{2.59 \text{ cm}^4}$$

V: Coordenada, em relação ao eixo V, do ponto desfavorável da seção transversal em relação ao centro de gravidade da seção bruta.

$$\mathbf{V} : \underline{-1.12 \text{ mm}}$$

$$\sigma_{Mv,Sd} : \underline{-229.86 \text{ kgf/cm}^2}$$

Sendo:

M_{v,Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{M_{v,Sd}}^+ : \underline{0.001 \text{ t}\cdot\text{m}}$$

I_v: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo V.

$$\mathbf{I_v} : \underline{0.75 \text{ cm}^4}$$

U: Coordenada, em relação ao eixo U, do ponto desfavorável da seção transversal em relação ao centro de gravidade da seção bruta.

$$\mathbf{U} : \underline{11.79 \text{ mm}}$$

A tensão resistente de cálculo, σ_{Rd} , é dada pelo menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$\sigma_{Rd} : \underline{1107.82 \text{ kgf/cm}^2}$$

(a) Tensão resistente de cálculo para os estados-limites de escoamento sob efeito de tensão normal:

$$\sigma_{Rd} : \underline{2316.75 \text{ kgf/cm}^2}$$

Onde:

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

(b) Tensão resistente de cálculo para os estados-limites de instabilidade ou flambagem sob efeito de tensão normal:

$$\sigma_{Rd} : \underline{1107.82 \text{ kgf/cm}^2}$$

Onde:

χ: Fator de redução total associado à resistência à compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.3).

$$\chi : \underline{0.478}$$



Sendo:

$$\lambda_0 : \underline{1.328}$$

$$\sigma_e : \underline{1445.76} \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

N_e: Força axial de flambagem elástica.

Q: Fator de redução total associado à flambagem local (ABNT NBR 8800:2008, Anexo F).

A_g: Área bruta da seção transversal da barra.

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\mathbf{N_e} : \underline{2.790} \text{ t}$$

$$\mathbf{Q} : \underline{1.000}$$

$$\mathbf{A_g} : \underline{1.93} \text{ cm}^2$$

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

$$\mathbf{\gamma_{a1}} : \underline{1.10}$$

**TIRANTES****Perfil: 5/16"****Material: Aço (A-36 250Mpa)**

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I _x ⁽¹⁾ (cm⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm⁴)
N168	N810	2.465	0.50	0.02	0.02	0.04
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	0.00	0.00	0.00	0.00		
L _K	0.000	0.000	0.000	0.000		
C _b	-		1.000			
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _b : Fator de modificação para o momento crítico						

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	NM_xM_y	T	NMVT	$\sigma \tau f$	
N168/N810	N.A. ⁽¹⁾	x: 2.465 m $\eta = 29.1$	x: 0 m $\eta = 30.3$	x: 0 m $\eta = 17.4$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0 m $\eta = 45.8$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	PASSA $\eta = 45.8$
<p>Notação: λ: Limitação do índice de esbeltez N_t: Resistência à tração N_c: Resistência à compressão M_x: Resistência à flexão eixo X M_y: Resistência à flexão eixo Y V_x: Resistência ao esforço cortante X V_y: Resistência ao esforço cortante Y NM_xM_y: Resistência ao esforço axial e flexão combinados T: Resistência à torção NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante $\sigma \tau f$: Resistência a interações de esforços e momento de torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.A.: Não aplicável</p>												
<p>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.):</p> <p>⁽¹⁾ A verificação não procede, já que os comprimentos de flambagem por flexão são nulos.</p> <p>⁽²⁾ A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.</p> <p>⁽³⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.</p> <p>⁽⁴⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.</p> <p>⁽⁵⁾ Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.</p> <p>⁽⁶⁾ Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.</p>												

Limitação do índice de esbeltez (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.4)

A verificação não procede, já que os comprimentos de flambagem por flexão são nulos.

Resistência à tração (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.2)

Deve satisfazer:

η : **0.291** ✓



O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N810, para a combinação de ações PP+TELHA+1.4·VENTO.

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

N_{t,Sd} : 0.334 t

A força axial de tração resistente de cálculo, N_{t,Rd}, deve ser determinada pela expressão:

N_{t,Rd} : 1.147 t

Onde:

A_g: Área bruta da seção transversal da barra.

A_g : 0.50 cm²

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 2548.42 kgf/cm²

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

Resistência à compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3)

Deve satisfazer:

η : 0.303 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N168, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·TELHA+1.5·SC.

N_{c,Sd}: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável.

N_{c,Sd} : 0.348 t

A força axial de compressão resistente de cálculo, N_{c,Rd}, deve ser determinada pela expressão:

N_{c,Rd} : 1.147 t

Onde:

χ: Fator de redução total associado à resistência à compressão.

χ : 1.000

Q: Fator de redução total associado à flambagem local.

Q : 1.000

A_g: Área bruta da seção transversal da barra.

A_g : 0.50 cm²

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 2548.42 kgf/cm²

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

Fator de redução χ: (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.3)

Não se aplica nenhuma redução, já que os comprimentos efetivos de flambagem são nulos.

Flambagem local de barras axialmente comprimidas: (ABNT NBR 8800:2008, Anexo F)

Não se aplica nenhuma redução.



Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

Deve satisfazer:

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N168, para a combinação de ações 1.5·PP+TELHA.

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$M_{Sd} < \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções:

$$M_{Rd} : \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2.2):

$$M_{Rd} : \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_x : Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

$$W_x : \underline{0.05} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

(b) Estado-limite último de escoamento (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$M_{Rd} : \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$M_{pl} : \underline{0.002} \text{ t}$$

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \underline{0.08} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : \underline{1.10}$$

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.



Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)

Deve satisfazer:

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N168, para a combinação de ações 1.5·PP+TELHA.

V_{sd}: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{V_{sd}} : \underline{0.001} \text{ t}$$

A força cortante resistente de cálculo, **V_{Rd}**, é determinada pela expressão:

$$\mathbf{V_{Rd}} : \underline{0.688} \text{ t}$$

Onde:

$$\mathbf{V_{pl}} : \underline{0.757} \text{ t}$$

Sendo:

A_w: Área efetiva ao cisalhamento.

$$\mathbf{A_w} : \underline{0.50} \text{ cm}^2$$

Onde:

D: Diâmetro externo da seção transversal.

$$\mathbf{D} : \underline{7.94} \text{ mm}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\mathbf{\gamma_{a1}} : \underline{1.10}$$

Resistência ao esforço axial e flexão combinados (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.1.2)

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.458} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N168, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·TELHA+1.5·SC.

N_{c,sd}: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{N_{c,sd}} : \underline{0.348} \text{ t}$$

M_{x,sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{M_{x,sd}} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{y,sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.

$$\mathbf{M_{y,sd}} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{0.303 \geq 0.200}$$

$$\eta : \underline{0.458}$$



Onde:

$N_{c,Rd}$: Força axial resistente de cálculo de compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3).

$$N_{c,Rd} : 1.147 \text{ t}$$

$M_{x,Rd}, M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos X e Y da seção transversal (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2).

$$M_{x,Rd} : 0.002 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : 0.002 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistência à torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.1)

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

Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.2)

Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.

Resistência a interações de esforços e momento de torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.3)

Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.

CONTRAVENTOS

Perfil: 3/8"
Material: Aço (A-36 250Mpa)

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas												
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)									
N529	N714	9.190	0.71	0.04	0.04	0.08									
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	0.00	0.00	0.00	0.00											
L _K	0.000	0.000	0.000	0.000											
C _b	-		1.000												
Notação:															
β: Coeficiente de flambagem															
L _K : Comprimento de flambagem (m)															
C _b : Fator de modificação para o momento crítico															

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	NM_xM_y	T	$NMVT$	$\sigma \tau f$	
N529/N714	N.A. ⁽¹⁾	$\eta = 10.5$	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	N.A. ⁽³⁾	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	N.A. ⁽⁶⁾	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽⁸⁾	PASSA $\eta = 10.5$

Notação:

λ : Limitação do índice de esbeltez
 N_t : Resistência à tração
 N_c : Resistência à compressão
 M_x : Resistência à flexão eixo X
 M_y : Resistência à flexão eixo Y
 V_x : Resistência ao esforço cortante X
 V_y : Resistência ao esforço cortante Y
 NM_xM_y : Resistência ao esforço axial e flexão combinados
 T : Resistência à torção
 $NMVT$: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante
 $\sigma \tau f$: Resistência a interações de esforços e momento de torção
 x : Distância à origem da barra
 η : Coeficiente de aproveitamento (%)
 N.A.: Não aplicável

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.):

- ⁽¹⁾ A verificação não procede, já que não há força axial de compressão.
- ⁽²⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.
- ⁽³⁾ A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.
- ⁽⁴⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.
- ⁽⁵⁾ Não existe interação entre o esforço axial e o momento fletor nem entre momentos fletores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária.
- ⁽⁶⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.
- ⁽⁷⁾ Não há interação entre a força axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.
- ⁽⁸⁾ Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.

Limitação do índice de esbeltez (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.4)

A verificação não procede, já que não há força axial de compressão.

Resistência à tração (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.2)

Deve satisfazer:



η : 0.105 ✓

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

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

$N_{t,Sd}$: 0.173 t

A força axial de tração resistente de cálculo, $N_{t,Rd}$, deve ser determinada pela expressão:

$N_{t,Rd}$: 1.653 t

Onde:

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

A_g : 0.71 cm²

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 2548.42 kgf/cm²

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

Resistência à compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.

Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3)

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

Resistência ao esforço axial e flexão combinados (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.1.2)

Não existe interação entre o esforço axial e o momento fletor nem entre momentos fletores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária.

Resistência à torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.1)

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



Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.2)

Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.

Resistência a interações de esforços e momento de torção (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.5.2.3)

Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.

Itajaí, 29 de novembro de 2024.

Eduardo José Bordin Rupp

Engenheiro Civil

Coordenador