

MEMORIAL DESCRITIVO DE CÁLCULO

CLIENTE: TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DE GOIÁS

ENDEREÇO DA OBRA: Ubirajara Berocan Leite, Nº: 640, Gleba Fazenda Retiro, Setor Jaó, Goiânia – GO, 74674-015.

Tipos de obra: Projeto arquitetônico de quadra poliesportiva para uso de uma creche e ocasionais eventos.

Área a ser construída: 714,58m²

• QUADRA POLIESPORTIVA

1. CARGAS CONSIDERADAS EM PROJETO:

- CARGAS PERMANENTES;
 - Peso de telhamento;
 - Peso de painéis fotovoltaicos;
- SOBRECARGA;
- VENTO;
- PESO PRÓPRIO;

2. DESCRIÇÃO DE CARGAS CONSIDERADAS:

- CARGAS PERMANENTES;
 - Peso de telhamento;

A telha isotérmica escolhida TELHA - TR 40 marca Metalforte, sendo considerado uma carga de 5kg/m²

- Peso de painéis fotovoltaicos;

Como não foi definido a carga dos painéis fotovoltaicos foi analisada a carga aplicada por diferentes tipos de painéis tendo cargas variáveis entre 13,5 kg/m² e 20,0 kg/m², para maior segurança de cálculo foi definido o pior cenário com 20 kg/m².

- SOBRECARGA;

De acordo com a NBR 6120 (2019) de uso da estrutura foi considerada uma sobrecarga de 0,25 kg/m².

- VENTO;

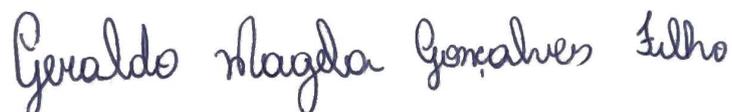
A carga de vento de acordo com a região empregada e o tipo de fechamento da estrutura foi considerada uma força perpendicular a barlavento em duas faces da estrutura de 0,25 kg/m².

- PESO PROPRIO DA ESTRUTURA;

A carga de peso próprio é considerada para o cálculo da resistência dos perfis usados sendo bastante variável ao longo da estrutura, porém a densidade considerada para o aço empregado nos perfis é de 7850 kg/m³

3. CÁLCULOS:

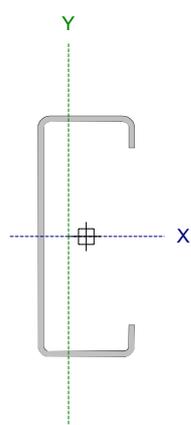
Para a representação de cálculo foram consideradas para demonstração os pontos mais críticos da estrutura nos anexos.



RESPONSÁVEL TÉCNICO: Geraldo Magela Gonçalves Filho Engenheiro Civil
geraldomagela1905@hotmail.com/(62) 9 99215-4422
CREA: 1020779039AP-GO

ANEXO I – BANZO SUPERIOR

Barra N300/N318

Perfil: C150X60X20X3.75 Material: Aço (CF-26)									
	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)
	N300	N318	0.552	10.69	359.14	49.53	0.50	-10.85	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	0.00	0.00			
L _K			0.552	0.552	0.000	0.000			
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 _t M _x	N _t M _y	M _t	
N300/N318	(b _w /t) ≤ 500 (b/t) ≤ 60 Passa	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200 Passa	N _{t,SD} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.046 m η = 89.3	x: 0.046 m η = 4.2	x: 0.507 m η = 8.5	x: 0.046 m η = 0.4	η = 0.3	x: 0.046 m η = 0.2	x: 0.507 m η = 0.7	x: 0.507 m η = 98.8	N.P. ⁽²⁾	M _{t,SD} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	PASSA η = 98.8
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 _t M _x : Resistência à flexo-compressão N _t M _y : Resistência à flexo-tração M _t : Resistência à torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede														
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): (1) A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração. (2) Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. (3) 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.

$(b / t) \leq 500$

$(b / t) : \underline{36}$ ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 135.00 mm

t: A espessura.

t : 3.75 mm

Elemento: Mesa

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

$(b / t) \leq 60$

$(b / t) : \underline{12}$ ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 45.00 mm

t: A espessura.

t : 3.75 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.

$$\lambda = KL/r < 200$$

$$\lambda_{xx} : \underline{9.5} \quad \checkmark$$
$$\lambda_{yy} : \underline{25.6} \quad \checkmark$$

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.	$K_x L_x$: $\underline{0.552}$ m
$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.	$K_y L_y$: $\underline{0.552}$ m
r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.	r_x : $\underline{5.80}$ cm
r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.	r_y : $\underline{2.15}$ cm

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

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.893} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.046 m do nó N300, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1.

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

$$N_{c,Sd} : \underline{16.232} \text{ t}$$

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

$$N_{c,Rd} : \underline{18.185} \text{ t}$$

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

$$N_{c,Rd} = \chi A_{ef} f_y / \gamma$$

$$N_{c,Rd} : \underline{18.185} \text{ t}$$

Onde:

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

$$A_{ef} : \underline{8.54} \text{ cm}^2$$

χ : Fator de redução associado à flambagem, $\lambda_0 \leq 1,5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$

$$\chi_{yy} : \underline{0.96}$$

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

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0,yy} : \underline{0.29}$$

$$\lambda_{0,xz} : \underline{0.11}$$

$$\lambda_0 = \left[\frac{A f_y}{N_e} \right]^{-0.5}$$

Sendo:

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

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{10.69} \text{ cm}^2$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

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):

$$N_e : \underline{327.676} \text{ t}$$

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

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2}$$

$$N_{ey} : \underline{327.676} \text{ t}$$

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

$$N_{\text{exz}} = \frac{N_{\text{ex}} + N_{\text{ez}}}{2 \left[1 - \left(x_0 / r_0 \right)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4N_{\text{ex}}N_{\text{ez}} \left[1 - \left(x_0 / r_0 \right)^2 \right]}{\left(N_{\text{ex}} + N_{\text{ez}} \right)^2}} \right]$$

$$N_{\text{exz}} : \underline{2375.847} \text{ t}$$

Onde:

$$N_{\text{ex}} = \frac{\pi^2 E I_x}{\left(K_x L_x \right)^2}$$

$$N_{\text{ex}} : \underline{2375.847} \text{ t}$$

$$N_{\text{ez}} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{\left(K_z L_z \right)^2} + G I_t \right]$$

$$N_{\text{ez}} : \underline{\infty}$$

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

$$I_x : \underline{359.14} \text{ cm}^4$$

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

$$I_y : \underline{49.53} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : \underline{0.50} \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : \underline{2287.24} \text{ cm}^6$$

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.

$$K_x L_x : \underline{0.552} \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : \underline{0.552} \text{ m}$$

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

$$K_z L_z : \underline{0.000} \text{ m}$$

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

$$r_0 = \left[r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2 \right]^{0.5}$$

$$r_0 : \underline{7.61} \text{ cm}$$

Sendo:

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

$$r_x : \underline{5.80} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{2.15} \text{ cm}$$

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

$$x_0 : \underline{-44.35} \text{ mm}$$

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

b) Flambagem por distorção (9.7.3)

Não é necessário, dado que os comprimentos efetivos de flambagem por distorção são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.042} \quad \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável M_{Sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 0.046 m do nó N300, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.05·SCU1+1.4·V1.

$$M_{Sd} : \underline{0.037} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{0.883} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

$$M_{Rd} : \underline{0.883} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : \underline{36.64} \text{ cm}^3$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_y L_y^{pos}$ e $K_y L_y^{neg}$ são nulos.

c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)

Não é necessário, dado que os comprimentos efetivos de flambagem por distorção são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.085} \quad \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável M_{Sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 0.507 m do nó N300, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1.

$$M_{Sd} : \underline{0.025} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{0.292} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

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.

$$W_{ef} : \underline{12.12} \text{ cm}^3$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{w,Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

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

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 0.046 m do nó N300, para a combinação de hipóteses

1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

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

$$V_{Sd} : \underline{0.020} \quad t$$

$$V_{Sd} : \underline{0.010} \quad t$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{2.440} \quad t$$

para $^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{32.81}$$

para $^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$

$$h/t : \underline{12.00}$$

para $^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{42.54}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{3.75} \quad \text{mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{45.00} \quad \text{mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \quad \text{kgf/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidade.

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

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:

$$K_v : \underline{1.20}$$

$$k_v = 1.20$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

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

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses

1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.05·SCU1+1.4·V1.

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

$$V_{Sd} : \underline{0.020} \quad t$$

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{7.319} \quad t$$

para $^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{66.98}$$

para $^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$

$$h/t : \underline{36.00}$$

para $^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{86.82}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{3.75} \quad \text{mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{135.00} \quad \text{mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \quad \text{kgf/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidade.

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

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:

$$K_v : \underline{5.00}$$

$$k_v = 5.00$$

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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis M_{sd} e V_{sd} produzem-se num ponto situado a uma distância 0.046 m do nó N300, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.05·SCU1+1.4·V1.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2 \quad \eta : \underline{0.002} \checkmark$$

Onde:

M_{sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	$M_{sd} : \underline{0.037} \text{ t}\cdot\text{m}$
$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$M_{0,Rd} : \underline{0.883} \text{ t}\cdot\text{m}$
V_{sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	$V_{sd} : \underline{0.020} \text{ t}$
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	$V_{Rd} : \underline{7.319} \text{ t}$

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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis M_{sd} e V_{sd} produzem-se num ponto situado a uma distância 0.507 m do nó N300, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2 \quad \eta : \underline{0.007} \checkmark$$

Onde:

M_{sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	$M_{sd} : \underline{0.025} \text{ t}\cdot\text{m}$
$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$M_{0,Rd} : \underline{0.292} \text{ t}\cdot\text{m}$
V_{sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	$V_{sd} : \underline{0.014} \text{ t}$
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	$V_{Rd} : \underline{4.879} \text{ t}$

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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância 0.507 m do nó N300, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.988} \checkmark$$

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.	$N_{c,Sd} : \underline{16.067} \text{ t}$
$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.	$M_{x,Sd} : \underline{0.017} \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{y,Sd} : \underline{0.025} \text{ t}\cdot\text{m}$
$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.	$N_{c,Rd} : \underline{18.185} \text{ t}$
$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.	$M_{x,Rd} : \underline{0.883} \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{y,Rd} : \underline{0.292} \text{ t}\cdot\text{m}$

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

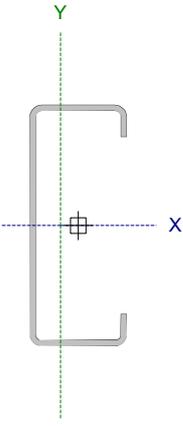
Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

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

ANEXO II – BANZO INFERIOR

Barra N428/N430

Perfil: C150X60X20X3.75 Material: Aço (CF-26)									
	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)
	N428	N430	0.400	10.69	359.14	49.53	0.50	-10.85	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	0.00	0.00			
L _K			0.400	0.400	0.000	0.000			
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 _t M _x M _y	N _t M _y M _x	M _t	
N428/N430	(b _w /t) ≤ 500 (b _f /t) ≤ 60 Passa	λ _{ox} ≤ 200 λ _{oy} ≤ 200 Passa	N _{t,SD} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 64.8	x: 0.337 m η = 5.8	x: 0.337 m η = 17.2	x: 0.337 m η = 5.5	η = 1.1	x: 0.337 m η = 0.3	x: 0.337 m η = 3.3	x: 0.337 m η = 85.2	N.P. ⁽²⁾	M _{t,SD} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	PASSA η = 85.2
Notação: b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura λ: Limitação de esbelteiz N: 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 _t M _x M _y : Resistência à flexo-compressão N _t M _y M _x : Resistência à flexo-tração M _t : Resistência à torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede														
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): (1) A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração. (2) Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. (3) 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.

$(b / t) \leq 500$

$(b/t) : \underline{36}$ ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 135.00 mm

t: A espessura.

t : 3.75 mm

Elemento: Mesa

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

$(b / t) \leq 60$

$(b/t) : \underline{12}$ ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 45.00 mm

t: A espessura.

t : 3.75 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.

$$\lambda = KL/r < 200$$

$$\lambda_{xx} : \underline{6.9} \quad \checkmark$$
$$\lambda_{yy} : \underline{18.6} \quad \checkmark$$

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.	$K_x L_x$: <u>0.400</u> m
$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.	$K_y L_y$: <u>0.400</u> m
r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.	r_x : <u>5.80</u> cm
r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.	r_y : <u>2.15</u> cm

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

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.648} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

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

$$N_{c,Sd} : \underline{12.105} \text{ t}$$

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

$$N_{c,Rd} : \underline{18.682} \text{ t}$$

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

$$N_{c,Rd} = \chi A_{ef} f_y / \gamma$$

$$N_{c,Rd} : \underline{18.682} \text{ t}$$

Onde:

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

$$A_{ef} : \underline{8.62} \text{ cm}^2$$

χ : Fator de redução associado à flambagem, $\lambda_0 \leq 1,5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$

$$\chi_{yy} : \underline{0.98}$$

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

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0, yy} : \underline{0.21}$$

$$\lambda_{0, xz} : \underline{0.08}$$

$$\lambda_0 = \left[\frac{A f_y}{N_e} \right]^{-0.5}$$

Sendo:

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

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{10.69} \text{ cm}^2$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

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):

$$N_e : \underline{622.911} \text{ t}$$

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

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2}$$

$$N_{ey} : \underline{622.911} \text{ t}$$

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

$$N_{\text{exz}} = \frac{N_{\text{ex}} + N_{\text{ez}}}{2 \left[1 - (x_0/r_0)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4N_{\text{ex}}N_{\text{ez}} \left[1 - (x_0/r_0)^2 \right]}{(N_{\text{ex}} + N_{\text{ez}})^2}} \right]$$

$$N_{\text{exz}} : \underline{4516.482} \text{ t}$$

Onde:

$$N_{\text{ex}} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

$$N_{\text{ex}} : \underline{4516.482} \text{ t}$$

$$N_{\text{ez}} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + G I_t \right]$$

$$N_{\text{ez}} : \underline{\infty}$$

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

$$I_x : \underline{359.14} \text{ cm}^4$$

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

$$I_y : \underline{49.53} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : \underline{0.50} \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : \underline{2287.24} \text{ cm}^6$$

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.

$$K_x L_x : \underline{0.400} \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : \underline{0.400} \text{ m}$$

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

$$K_z L_z : \underline{0.000} \text{ m}$$

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

$$r_0 = \left[r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2 \right]^{0.5}$$

$$r_0 : \underline{7.61} \text{ cm}$$

Sendo:

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

$$r_x : \underline{5.80} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{2.15} \text{ cm}$$

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

$$x_0 : \underline{-44.35} \text{ mm}$$

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

b) Flambagem por distorção (9.7.3)

Não é necessário, dado que os comprimentos efetivos de flambagem por distorção são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.058} \quad \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável M_{Sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 0.337 m do nó N428, para a combinação de hipóteses PP+CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.4·V1.

$$M_{Sd} : \underline{0.051} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{0.883} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

$$M_{Rd} : \underline{0.883} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : \underline{36.64} \text{ cm}^3$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_y L_y^{pos}$ e $K_y L_y^{neg}$ são nulos.

c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)

Não é necessário, dado que os comprimentos efetivos de flambagem por distorção são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

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

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável M_{Sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 0.337 m do nó N428, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

$$M_{Sd} : \underline{0.050} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{0.292} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

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.

$$W_{ef} : \underline{12.12} \text{ cm}^3$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{w,Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

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

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 0.337 m do nó N428, para a combinação de hipóteses

1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

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

$$V_{sd} : \underline{0.268} \quad t$$

$$V_{sd} : \underline{0.134} \quad t$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{2.440} \quad t$$

para $^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{32.81}$$

para $^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$

$$h/t : \underline{12.00}$$

para $^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{42.54}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{3.75} \quad \text{mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{45.00} \quad \text{mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \quad \text{kgf/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidade.

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

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:

$$K_v : \underline{1.20}$$

$$k_v = 1.20$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.011} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se para a combinação de hipóteses PP+CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.4·V1.

$$V_{sd} : \underline{0.080} \quad t$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{7.319} \quad t$$

para $^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{66.98}$$

para $^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$

$$h/t : \underline{36.00}$$

para $^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{86.82}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{3.75} \quad \text{mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{135.00} \quad \text{mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \quad \text{kgf/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidade.

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

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:

$$K_v : \underline{5.00}$$

$$k_v = 5.00$$

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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis M_{sd} e V_{sd} produzem-se num ponto situado a uma distância 0.337 m do nó N428, para a combinação de hipóteses PP+CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.4·V1.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2 \quad \eta : \underline{0.003} \checkmark$$

Onde:

M_{sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	$M_{sd} : \underline{0.051} \text{ t}\cdot\text{m}$
$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$M_{0,Rd} : \underline{0.883} \text{ t}\cdot\text{m}$
V_{sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	$V_{sd} : \underline{0.080} \text{ t}$
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	$V_{Rd} : \underline{7.319} \text{ t}$

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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis M_{sd} e V_{sd} produzem-se num ponto situado a uma distância 0.337 m do nó N428, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2 \quad \eta : \underline{0.033} \checkmark$$

Onde:

M_{sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	$M_{sd} : \underline{0.050} \text{ t}\cdot\text{m}$
$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$M_{0,Rd} : \underline{0.292} \text{ t}\cdot\text{m}$
V_{sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	$V_{sd} : \underline{0.268} \text{ t}$
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	$V_{Rd} : \underline{4.879} \text{ t}$

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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância 0.337 m do nó N428, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.852} \checkmark$$

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.	$N_{c,Sd} : \underline{12.105} \text{ t}$
$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.	$M_{x,Sd} : \underline{0.029} \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{y,Sd} : \underline{0.050} \text{ t}\cdot\text{m}$
$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.	$N_{c,Rd} : \underline{18.682} \text{ t}$
$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.	$M_{x,Rd} : \underline{0.883} \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{y,Rd} : \underline{0.292} \text{ t}\cdot\text{m}$

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

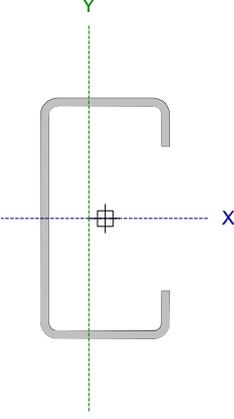
Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

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

ANEXO III – DIAGONAL

Barra N422/N16

Perfil: C75X40X15X2.66 Material: Aço (CF-26)									
	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)
	N422	N16	0.500	4.45	38.22	9.73	0.10	-5.02	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	0.00	0.00		
	L _K			0.500	0.500	0.000	0.000		
	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 _t M _x M _y	N _t M _y M _x		M _t
N422/N16	(b _w /t) ≤ 500 (b _f /t) ≤ 60 Passa	λ _{xx} ≤ 300 λ _{yy} ≤ 300 Passa	x: 0.341 m η = 28.7	N _{c,50} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.343 m η = 36.1	M ₅₀ = 0.00 N.P. ⁽²⁾	η = 0.1	x: 0.343 m η = 5.2	x: 0.343 m η = 13.3	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	x: 0.343 m η = 65.6	M _{t,50} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	PASSA η = 65.6
Notação: b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura λ: Limitação de esbeltez N: 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 _t M _x M _y : Resistência à flexo-compressão N _t M _y M _x : Resistência à flexo-tração M _t : Resistência à torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede														
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): (1) A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão. (2) A verificação não será executada, já que não existe momento fletor. (3) Não há interação entre o momento fletor e o esforço cortante para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. (4) Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. (5) 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.

$(b / t) \leq 500$ $(b/t) : \underline{24}$ ✓

Sendo:
b: Comprimento do elemento. **b** : 64.36 mm
t: A espessura. **t** : 2.66 mm

Elemento: Mesa

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

$(b / t) \leq 60$ $(b/t) : \underline{11}$ ✓

Sendo:
b: Comprimento do elemento. **b** : 29.36 mm
t: A espessura. **t** : 2.66 mm

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

É recomendado que o índice de esbeltez λ das barras tracionadas não exceda o valor 300.

$$\lambda = KL/r < 300$$

$$\lambda_{xx} : \underline{17.1} \quad \checkmark$$
$$\lambda_{yy} : \underline{33.8} \quad \checkmark$$

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.	$K_x L_x$: <u>0.500</u> m
$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.	$K_y L_y$: <u>0.500</u> m
r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.	r_x : <u>2.93</u> cm
r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.	r_y : <u>1.48</u> cm

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.287} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.341 m do nó N422, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1.

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

$$N_{t,Sd} : \underline{3.077} \text{ t}$$

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

$$N_{t,Rd} = A f_y / \gamma$$

$$N_{t,Rd} : \underline{10.725} \text{ t}$$

Onde:

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{4.45} \text{ cm}^2$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

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

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.361} \quad \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável M_{Sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 0.343 m do nó N422, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

$$M_{Sd} : \underline{0.089} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{0.246} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

$$M_{Rd} : \underline{0.246} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : \underline{10.19} \text{ cm}^3$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_y L_y^{pos}$ e $K_y L_y^{neg}$ são nulos.

c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)

Não é necessário, dado que os comprimentos efetivos de flambagem por distorção são nulos.

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

A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{w,Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

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

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se para a combinação de hipóteses PP+CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.4·V1.

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

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

$$V_{sd} : \underline{0.001} \quad t$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{1.129} \quad t$$

para $^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{32.81}$$

para $^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$

$$h/t : \underline{11.04}$$

para $^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{42.54}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

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

h: Largura da alma.

$$h : \underline{29.36} \quad \text{mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \quad \text{kgf/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidade.

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

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:

$$K_v : \underline{1.20}$$

$$k_v = 1.20$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.052} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 0.343 m do nó N422, para a combinação de hipóteses

1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

$$V_{sd} : \underline{0.128} \quad t$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{2.475} \quad t$$

para $^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{66.98}$$

para $^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$

$$h/t : \underline{24.20}$$

para $^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{86.82}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

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

h: Largura da alma.

$$h : \underline{64.36} \quad \text{mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \quad \text{kgf/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidade.

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

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:

$$K_v : \underline{5.00}$$

$$k_v = 5.00$$

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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis M_{sd} e V_{sd} produzem-se num ponto situado a uma distância 0.343 m do nó N422, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2 \quad \eta : \underline{0.133} \quad \checkmark$$

Onde:

M_{sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	$M_{sd} : \underline{0.089} \text{ t}\cdot\text{m}$
$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$M_{0,Rd} : \underline{0.246} \text{ t}\cdot\text{m}$
V_{sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	$V_{sd} : \underline{0.128} \text{ t}$
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	$V_{Rd} : \underline{2.475} \text{ t}$

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

Não há interação entre o momento fletor e o esforço cortante para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

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

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância de 0.343 m do nó N422, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.656} \quad \checkmark$$

Onde:

$N_{t,Sd}$: Força normal de tração solicitante de cálculo.	$N_{t,Sd} : \underline{3.060} \text{ t}$
$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.	$M_{x,Sd} : \underline{0.089} \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{y,Sd} : \underline{0.001} \text{ t}\cdot\text{m}$
N_{Rd} : Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.	$N_{Rd} : \underline{10.725} \text{ t}$
$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.	$M_{x,Rd} : \underline{0.246} \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{y,Rd} : \underline{0.094} \text{ t}\cdot\text{m}$

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

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

ANEXO IV – LINHA DE CORRENTE

Barra N519/N460

Perfil: L 1.1/4 x 1/8" Material: Aço (A-36 250Mpa)											
Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas									
		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _{xy} ⁽⁴⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽²⁾ (cm ⁴)	X _g ⁽³⁾ (mm)	Y _g ⁽³⁾ (mm)	α ⁽⁵⁾ (graus)		
N519	N460	1.103	1.93	1.67	1.67	0.92	0.06	6.77	-6.77	-45.0	
Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme ⁽³⁾ Coordenadas do centro de gravidade ⁽⁴⁾ Produto de inércia ⁽⁵⁾ É o ângulo que forma o eixo principal de inércia U em relação ao eixo X, positivo no sentido anti-horário.											
		Flambagem				Flambagem lateral					
		Plano ZX	Plano ZY		Aba sup.		Aba inf.				
β		1.00	1.00		0.00		0.00				
L _k		1.103	1.103		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 _u	M _v	V _u	V _v	NM _u M _v	T	NMVT	σ τ f	
N519/N460	λ ≤ 200.0 Passa	N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 20.4	x: 0.919 m η = 3.2	x: 0.184 m η = 1.5	x: 0 m η = 0.1	x: 1.103 m η = 0.1	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	x: 0.919 m η = 49.1	PASSA η = 49.1
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.P.: Não procede												
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): ⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração. ⁽²⁾ Este caso não está contemplado pela norma e, portanto, não é possível realizar a verificação. ⁽³⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor. ⁽⁴⁾ Não há interação entre a força axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.												

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 ≤ 200 λ : **177.5** ✓

Onde:

λ: Índice de esbeltez.

$$\lambda = \frac{K \cdot L}{r}$$
λ_u : 95.1
λ_v : 177.5

Sendo:

K_u·L_u: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo U. **K_u·L_u** : 1.103 m
K_v·L_v: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo V. **K_v·L_v** : 1.103 m
r_u, r_v: Raios de giração em relação aos eixos principais U, V, respectivamente. **r_u** : 1.16 cm
r_v : 0.62 cm

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

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.204} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N519, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1.

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

$$N_{c,Sd} : \underline{0.200} \quad t$$

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

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{0.982} \quad t$$

Onde:

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

$$\chi : \underline{0.220}$$

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{1.000}$$

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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

$$\lambda_0 > 1.5 \rightarrow \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$$

$$\chi : \underline{0.220}$$

Onde:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido.

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_e}}$$

$$\lambda_0 : \underline{1.998}$$

Sendo:

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{1.000}$$

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

N_e : Força axial de flambagem elástica.

$$N_e : \underline{1.232} \quad t$$

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):

$$N_e : \underline{1.232} \quad t$$

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

$$N_{ev} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_v}{(K_v \cdot L_v)^2}$$

$$N_{ev} : \underline{1.232} \quad t$$

Onde:

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

$$K_v \cdot L_v : \underline{1.103} \quad m$$

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

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

E : Módulo de elasticidade do aço.

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

- (b) Para flambagem por flexotorção:

$$N_{euz} = \frac{N_{eu} + N_{ez}}{2 \cdot \left[1 - (u_0/r_0)^2 \right]} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot N_{eu} \cdot N_{ez} \cdot \left[1 - (u_0/r_0)^2 \right]}{(N_{eu} + N_{ez})^2}} \right]$$

$$N_{euz} : \underline{4.292} \quad t$$

Onde:

$$N_{eu} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_u}{(K_u \cdot L_u)^2}$$

$$N_{eu} : \underline{4.292} \text{ t}$$

Sendo:

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

$$K_u \cdot L_u : \underline{1.103} \text{ m}$$

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.

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

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L_z)^2} + G \cdot J \right]$$

$$N_{ez} : \underline{\infty}$$

Sendo:

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

$$K_z \cdot L_z : \underline{0.000} \text{ m}$$

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_0 : Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento.

$$r_0 = \sqrt{(r_u^2 + r_v^2 + u_0^2 + v_0^2)}$$

$$r_0 : \underline{1.69} \text{ cm}$$

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_0, v_0 : Coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos principais U, V, respectivamente.

$$u_0 : \underline{10.64} \text{ mm}$$

$$v_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

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.

$$(b/t) \leq (b/t)_{lim}$$

$$10.02 \leq 12.73$$

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.

$$(b/t)_{lim} = 0.45 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

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

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:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.032} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.919 m do nó N519, para a combinação de ações PP+1.5·CP1-Telhas+CP2-Painéis+1.5·SCU1.

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

$$M_{u,Sd} = M_{x,Sd} \cdot \cos \alpha - M_{y,Sd} \cdot \sin \alpha$$

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

Onde:

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

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

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

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

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

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

$$M_{Rd} = \frac{1.50 \cdot W \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

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

Onde:

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

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

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 necessário, pois o comprimento de flambagem lateral é nulo.

- (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:

$$\lambda = \frac{b}{t}$$

$$\lambda : \underline{10.02}$$

Sendo:

b: Largura da aba da cantoneira.

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

t: Espessura da cantoneira.

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

$$\lambda_p = 0.54 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_p : \underline{15.27}$$

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 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:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.015} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.184 m do nó N519, para a combinação de ações PP+1.5·CP1-Telhas+CP2-Painéis+1.5·SCU1.

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

$$M_{v,Sd} = M_{x,Sd} \cdot \sin \alpha + M_{y,Sd} \cdot \cos \alpha$$

$$M_{v,Sd} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

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

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

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

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

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

$$M_{Rd} = \frac{1.50 \cdot W \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{0.022} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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:

$$\lambda = \frac{b}{t}$$

$$\lambda : \underline{10.02}$$

Sendo:

b: Largura da aba da cantoneira.

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

t: Espessura da cantoneira.

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

$$\lambda_p = 0.54 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_p : \underline{15.27}$$

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:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N519, para a combinação de ações 1.5·PP+CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.4·V1.

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

$$V_{u,Sd} = V_{x,Sd} \cdot \cos \alpha + V_{y,Sd} \cdot \sin \alpha$$

$$V_{u,Sd}^+ : \underline{0.001} \quad t$$

Onde:

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

$$V_{x,Sd}^+ : \underline{0.000} \quad t$$

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

$$V_{y,Sd}^- : \underline{0.001} \quad t$$

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

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

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

Onde:

$$V_{pl} = 0.60 \cdot A_w \cdot f_y$$

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

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = \text{MIN} \left(\frac{b_{\text{horz}} \cdot t_{\text{horz}}}{\cos \alpha}; \frac{b_{\text{vert}} \cdot t_{\text{vert}}}{\sin \alpha} \right)$$

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

Onde:

b_{horz} : Largura da aba horizontal.

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

t_{horz} : Espessura da aba horizontal.

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

b_{vert} : Largura da aba vertical.

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

t_{vert} : Espessura da aba vertical.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N460, para a combinação de ações 1.5·PP+CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.4·V1.

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

$$V_{v,Sd} = -V_{x,Sd} \cdot \sin \alpha + V_{y,Sd} \cdot \cos \alpha$$

$$V_{v,Sd}^+ : \underline{0.001} \quad t$$

Onde:

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

$$V_{x,Sd}^+ : \underline{0.000} \quad t$$

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

$$V_{y,Sd}^+ : \underline{0.001} \quad t$$

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

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

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

Onde:

$$V_{pl} = 0.60 \cdot A_w \cdot f_y$$

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

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = \text{MIN} \left(\frac{b_{\text{horz}} \cdot t_{\text{horz}}}{\sin \alpha}; \frac{b_{\text{vert}} \cdot t_{\text{vert}}}{\cos \alpha} \right)$$

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

Onde:

b_{horz} : Largura da aba horizontal.

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

t_{horz} : Espessura da aba horizontal.

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

b_{vert} : Largura da aba vertical.

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

t_{vert} : Espessura da aba vertical.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

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:

$$\eta = \frac{|\sigma_{Sd}|}{\sigma_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.491} \quad \checkmark$$

O coeficiente de aproveitamento desfavorável produz-se em um ponto situado a uma distância 0.919 m do nó N519 para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1 e no ponto da seção transversal de coordenadas U = -9.54 mm, V = 22.45 mm em relação aos eixos principais de inércia.

As tensões normais σ_{sd} são dadas por:

$$\sigma_{sd} = \sigma_{N_{sd}} + \sigma_{M_{u, sd}} + \sigma_{M_{v, sd}}$$

$$\sigma_{sd} : \underline{-250.14} \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

$$\sigma_{N_{sd}} = \frac{N_{c, sd}}{Q \cdot A_g}$$

$$\sigma_{N_{sd}} : \underline{-103.55} \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo:

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

$$N_{c, sd} : \underline{0.200} \text{ t}$$

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

$$Q : \underline{1.000}$$

A_g: Área bruta da seção transversal da barra.

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

$$\sigma_{M_{u, sd}} = -\frac{M_{u, sd}}{I_u} \cdot V$$

$$\sigma_{M_{u, sd}} : \underline{-110.08} \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo:

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

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

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

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

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

$$V : \underline{22.45} \text{ mm}$$

$$\sigma_{M_{v, sd}} = -\frac{M_{v, sd}}{I_v} \cdot U$$

$$\sigma_{M_{v, sd}} : \underline{-36.51} \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo:

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

$$M_{v, sd}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

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

$$U : \underline{-9.54} \text{ mm}$$

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

$$\sigma_{Rd} : \underline{509.04} \text{ kgf/cm}^2$$

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

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{a1}}$$

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

Onde:

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

$$\sigma_{Rd} = \frac{\chi \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$\sigma_{Rd} : \underline{509.04} \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

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

$$\lambda_0 > 1.5 \rightarrow \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$$

$$\chi : \underline{0.220}$$

Sendo:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_e}}$$

$$\lambda_0 : \underline{1.998}$$

$$\sigma_e = \frac{N_e}{Q \cdot A_g}$$

$$\sigma_e : \underline{638.48} \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

N_e: Força axial de flambagem elástica.

$$\mathbf{N_e} : \underline{1.232} \text{ t}$$

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.

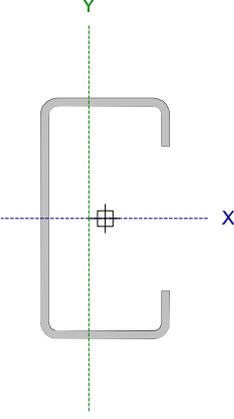
$$\mathbf{f_y} : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

ANEXO V – MONTANTE

Barra N436/N437

Perfil: C75X40X15X2.66 Material: Aço (CF-26)									
	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)
	N436	N437	0.359	4.45	38.22	9.73	0.10	-5.02	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	0.00	0.00			
L _K			0.359	0.359	0.000	0.000			
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 _t M _x M _y	N _t M _y M _x	M _t	
N436/N437	(b _w /t) ≤ 500 (b _f /t) ≤ 60 Passa	λ _{max} ≤ 200 λ _{min} ≤ 200 Passa	N _{t,SD} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0.049 m η = 33.8	M _{SD} = 0.00 N.P. ⁽²⁾	x: 0.309 m η = 59.7	η = 18.8	η = 0.1	N.P. ⁽³⁾	x: 0.309 m η = 39.2	x: 0.309 m η = 93.7	N.P. ⁽⁴⁾	M _{t,SD} = 0.00 N.P. ⁽⁵⁾	PASSA η = 93.7
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 _t M _x M _y : Resistência à flexo-compressão N _t M _y M _x : Resistência à flexo-tração M _t : Resistência à torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede														
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): (1) A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração. (2) A verificação não será executada, já que não existe momento fletor. (3) Não há interação entre o momento fletor e o esforço cortante para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. (4) Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. (5) 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.

$(b / t) \leq 500$

$(b/t) : \underline{24}$ ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.
t: A espessura.

b : 64.36 mm
t : 2.66 mm

Elemento: Mesa

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

$(b / t) \leq 60$

$(b/t) : \underline{11}$ ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.
t: A espessura.

b : 29.36 mm
t : 2.66 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.

$$\lambda = KL/r < 200$$

$$\lambda_{xx} : \underline{12.3} \quad \checkmark$$
$$\lambda_{yy} : \underline{24.3} \quad \checkmark$$

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.	$K_x L_x : \underline{0.359} \text{ m}$
$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.	$K_y L_y : \underline{0.359} \text{ m}$
r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.	$r_x : \underline{2.93} \text{ cm}$
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)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.338} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.049 m do nó N436, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

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

$$N_{c,Sd} : \underline{3.219} \text{ t}$$

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

$$N_{c,Rd} : \underline{9.517} \text{ t}$$

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

$$N_{c,Rd} = \chi A_{ef} f_y / \gamma$$

$$N_{c,Rd} : \underline{9.517} \text{ t}$$

Onde:

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

$$A_{ef} : \underline{4.45} \text{ cm}^2$$

χ : Fator de redução associado à flambagem, $\lambda_0 \leq 1,5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$

$$\chi_{yy} : \underline{0.97}$$

$$\chi_{xz} : \underline{0.99}$$

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0,yy} : \underline{0.28}$$

$$\lambda_{0,xz} : \underline{0.14}$$

$$\lambda_0 = \left[\frac{A f_y}{N_e} \right]^{-0.5}$$

Sendo:

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

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{4.45} \text{ cm}^2$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

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):

$$N_e : \underline{151.684} \text{ t}$$

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

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2}$$

$$N_{ey} : \underline{151.684} \text{ t}$$

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

$$N_{\text{exz}} = \frac{N_{\text{ex}} + N_{\text{ez}}}{2 \left[1 - (x_0/r_0)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4N_{\text{ex}}N_{\text{ez}} \left[1 - (x_0/r_0)^2 \right]}{(N_{\text{ex}} + N_{\text{ez}})^2}} \right]$$

$N_{\text{exz}} : \underline{595.779} \text{ t}$

Onde:

$$N_{\text{ex}} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

$N_{\text{ex}} : \underline{595.779} \text{ t}$

$$N_{\text{ez}} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + G I_t \right]$$

$N_{\text{ez}} : \underline{\infty}$

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

$I_x : \underline{38.22} \text{ cm}^4$

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

$I_y : \underline{9.73} \text{ cm}^4$

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

$I_t : \underline{0.10} \text{ cm}^4$

C_w : Constante de empenamento da seção.

$C_w : \underline{132.57} \text{ cm}^6$

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.

$K_x L_x : \underline{0.359} \text{ m}$

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

$K_y L_y : \underline{0.359} \text{ m}$

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

$K_z L_z : \underline{0.000} \text{ m}$

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

$$r_0 = \left[r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2 \right]^{0.5}$$

$r_0 : \underline{4.71} \text{ cm}$

Sendo:

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

$r_x : \underline{2.93} \text{ cm}$

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

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

$x_0 : \underline{-33.80} \text{ mm}$

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

b) Flambagem por distorção (9.7.3)

Não é necessário, dado que os comprimentos efetivos de flambagem por distorção são nulos.

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

A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.597} \quad \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável M_{Sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 0.309 m do nó N436, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

$$M_{Sd} : \underline{0.056} \quad \text{t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{0.094} \quad \text{t}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

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.

$$W_{ef} : \underline{3.89} \quad \text{cm}^3$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \quad \text{kgf/cm}^2$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{wSd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.188} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

$$V_{Sd} : \underline{0.424} \quad \text{t}$$

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

$$V_{Sd} : \underline{0.212} \quad \text{t}$$

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

$${}^{(1)}V_{Rd} : \underline{1.129} \quad \text{t}$$

$$\text{para } {}^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$$

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{32.81}$$

$$\text{para } {}^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$$

$$h/t : \underline{11.04}$$

$$\text{para } {}^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$$

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{42.54}$$

Onde:

t : Espessura da alma.

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

h : Largura da alma.

$$h : \underline{29.36} \quad \text{mm}$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \quad \text{kgf/cm}^2$$

E : Módulo de elasticidade.

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

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:

$$K_v : \underline{1.20}$$

$$k_v = 1.20$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

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

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses PP+CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.4·V1.

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

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{2.475} \quad t$$

para $^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{66.98}$$

para $^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$

$$h/t : \underline{24.20}$$

para $^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{86.82}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

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

h: Largura da alma.

$$h : \underline{64.36} \quad \text{mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \quad \text{kgf/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidade.

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

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:

$$K_v : \underline{5.00}$$

$$k_v = 5.00$$

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

Não há interação entre o momento fletor e o esforço cortante para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} produzem-se num ponto situado a uma distância 0.309 m do nó N436, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{Sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2$$

$$\eta : \underline{0.392} \quad \checkmark$$

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : \underline{0.056} \quad t \cdot m$$

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

$$M_{0,Rd} : \underline{0.094} \quad t \cdot m$$

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : \underline{0.424} \quad t$$

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

$$V_{Rd} : \underline{2.258} \quad t$$

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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância 0.309 m do nó N436, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot CP1 - Telhas + CP2 - Paineis + 1.5 \cdot SCU1 + 0.84 \cdot V1$.

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.937} \quad \checkmark$$

Onde:

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

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

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

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

$$N_{c,Sd} : \underline{3.217} \text{ t}$$

$$M_{x,Sd} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : \underline{0.056} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{9.517} \text{ t}$$

$$M_{x,Rd} : \underline{0.246} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{0.094} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

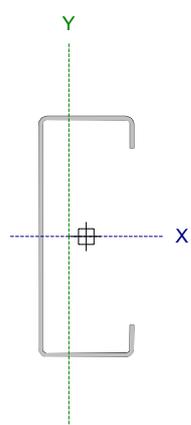
Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

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

ANEXO VI – TERÇAS

Barra N541/N184

Perfil: C127X50X17X2.28 Material: Aço (CF-26)									
	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)
	N541	N184	2.475	5.61	137.63	19.05	0.10	-9.02	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	0.00	0.00			
L _K			2.475	2.475	0.000	0.000			
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 _t M _x M _y	N _t M _t M _y	M _t	
N541/N184	(b _w /t) ≤ 500 (b/t) ≤ 60 Passa	λ _{sw} ≤ 200 λ _{sy} ≤ 200 Passa	N _{t,Std} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	η = 3.9	x: 2.4 m η = 37.3	x: 2.4 m η = 8.3	η = 0.3	x: 2.4 m η = 6.7	x: 2.4 m η = 14.4	x: 2.4 m η = 0.7	x: 2.4 m η = 48.4	N.P. ⁽²⁾	M _{t,Std} = 0.00 N.P. ⁽³⁾	PASSA η = 48.4
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 _t M _x M _y : Resistência à flexo-compressão N _t M _t M _y : Resistência à flexo-tração M _t : Resistência à torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede														
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): (1) A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração. (2) Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. (3) 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.

$(b / t) \leq 500$

$(b/t) : \underline{52} \checkmark$

Sendo:

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

b : 117.88 mm
t : 2.28 mm

Elemento: Mesa

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

$(b / t) \leq 60$

$(b/t) : \underline{18} \checkmark$

Sendo:

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

b : 40.88 mm
t : 2.28 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.

$$\lambda = KL/r < 200$$

$$\lambda_{xx} : \underline{50.0} \quad \checkmark$$
$$\lambda_{yy} : \underline{134.3} \quad \checkmark$$

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.	$K_x L_x$: <u>2.475</u> m
$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.	$K_y L_y$: <u>2.475</u> m
r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.	r_x : <u>4.95</u> cm
r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.	r_y : <u>1.84</u> cm

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

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.05·SCU1+1.4·V1.

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

$$N_{c,Sd} : \underline{0.176} \text{ t}$$

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

$$N_{c,Rd} : \underline{4.573} \text{ t}$$

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

$$N_{c,Rd} = \chi A_{ef} f_y / \gamma$$

$$N_{c,Rd} : \underline{4.573} \text{ t}$$

Onde:

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

$$A_{ef} : \underline{5.61} \text{ cm}^2$$

χ : Fator de redução associado à flambagem, $\lambda_0 > 1,5 \rightarrow \chi = \frac{0.877}{\lambda_0^2}$

$$\chi_{yy} : \underline{0.37}$$

$$\chi_{xz} : \underline{0.87}$$

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0,yy} : \underline{1.54}$$

$$\lambda_{0,xz} : \underline{0.57}$$

$$\lambda_0 = \left[\frac{A f_y}{N_e} \right]^{-0.5}$$

Sendo:

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

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{5.61} \text{ cm}^2$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

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):

$$N_e : \underline{6.257} \text{ t}$$

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

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2}$$

$$N_{ey} : \underline{6.257} \text{ t}$$

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

$$N_{\text{exz}} = \frac{N_{\text{ex}} + N_{\text{ez}}}{2 \left[1 - (x_0/r_0)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4N_{\text{ex}}N_{\text{ez}} \left[1 - (x_0/r_0)^2 \right]}{(N_{\text{ex}} + N_{\text{ez}})^2}} \right]$$

$$N_{\text{exz}} : \underline{45.207} \text{ t}$$

Onde:

$$N_{\text{ex}} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

$$N_{\text{ex}} : \underline{45.207} \text{ t}$$

$$N_{\text{ez}} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + G I_t \right]$$

$$N_{\text{ez}} : \underline{\infty}$$

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

$$I_x : \underline{137.63} \text{ cm}^4$$

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

$$I_y : \underline{19.05} \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : \underline{0.10} \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : \underline{648.72} \text{ cm}^6$$

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.

$$K_x L_x : \underline{2.475} \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : \underline{2.475} \text{ m}$$

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

$$K_z L_z : \underline{0.000} \text{ m}$$

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

$$r_0 = \left[r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2 \right]^{0.5}$$

$$r_0 : \underline{6.51} \text{ cm}$$

Sendo:

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

$$r_x : \underline{4.95} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{1.84} \text{ cm}$$

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

$$x_0 : \underline{-38.04} \text{ mm}$$

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

b) Flambagem por distorção (9.7.3)

Não é necessário, dado que os comprimentos efetivos de flambagem por distorção são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.373} \quad \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável M_{Sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 2.400 m do nó N541, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1.

$$M_{Sd} : \underline{0.195} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{0.522} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

$$M_{Rd} : \underline{0.522} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : \underline{21.67} \text{ cm}^3$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_y L_y^{pos}$ e $K_y L_y^{neg}$ são nulos.

c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)

Não é necessário, dado que os comprimentos efetivos de flambagem por distorção são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.083} \quad \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável M_{Sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 2.400 m do nó N541, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1.

$$M_{Sd} : \underline{0.011} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{0.132} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

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.

$$W_{ef} : \underline{5.46} \text{ cm}^3$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{w,Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

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

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1.

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

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

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

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{1.347} \quad t$$

para $^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{32.81}$$

para $^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$

$$h/t : \underline{17.93}$$

para $^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{42.54}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.28} \quad \text{mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{40.88} \quad \text{mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \quad \text{kgf/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidade.

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

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:

$$K_v : \underline{1.20}$$

$$k_v = 1.20$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.067} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 2.400 m do nó N541, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

$$V_{sd} : \underline{0.261} \quad t$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{3.885} \quad t$$

para $^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{66.98}$$

para $^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$

$$h/t : \underline{51.70}$$

para $^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{86.82}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.28} \quad \text{mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{117.88} \quad \text{mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \quad \text{kgf/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidade.

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

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:

$$K_v : \underline{5.00}$$

$$k_v = 5.00$$

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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis M_{sd} e V_{sd} produzem-se num ponto situado a uma distância 2.400 m do nó N541, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2 \quad \eta : \underline{0.144} \checkmark$$

Onde:

M_{sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	$M_{sd} : \underline{0.195} \text{ t}\cdot\text{m}$
$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$M_{0,Rd} : \underline{0.522} \text{ t}\cdot\text{m}$
V_{sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	$V_{sd} : \underline{0.261} \text{ t}$
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	$V_{Rd} : \underline{3.885} \text{ t}$

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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis M_{sd} e V_{sd} produzem-se num ponto situado a uma distância 2.400 m do nó N541, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2 \quad \eta : \underline{0.007} \checkmark$$

Onde:

M_{sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	$M_{sd} : \underline{0.011} \text{ t}\cdot\text{m}$
$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$M_{0,Rd} : \underline{0.132} \text{ t}\cdot\text{m}$
V_{sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	$V_{sd} : \underline{0.009} \text{ t}$
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	$V_{Rd} : \underline{2.695} \text{ t}$

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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância 2.400 m do nó N541, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.484} \checkmark$$

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.	$N_{c,Sd} : \underline{0.160} \text{ t}$
$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.	$M_{x,Sd} : \underline{0.194} \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{y,Sd} : \underline{0.010} \text{ t}\cdot\text{m}$
$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.	$N_{c,Rd} : \underline{4.573} \text{ t}$
$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.	$M_{x,Rd} : \underline{0.522} \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{y,Rd} : \underline{0.132} \text{ t}\cdot\text{m}$

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

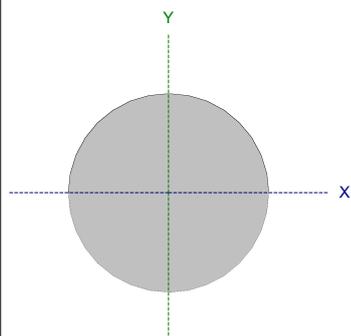
Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

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

ANEXO VII – TIRANTES

Barra N458/N210

Perfil: R 12 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)	
	N458	N210	3.034	1.13	0.10	0.10	0.20	
	Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme							
				Flambagem		Flambagem lateral		
				Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.	
	β	1.00	1.00	0.00	0.00			
L _k	3.034	3.034	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 _x M _y	T	NMVT	σ τ f	
N458/N210	N.P. ⁽¹⁾	x: 2.771 m η = 1.8	N.P. ⁽²⁾	x: 2.773 m η = 14.7	N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	x: 2.773 m η = 0.1	x: 2.773 m η = 15.6	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	PASSA η = 15.6
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 _x M _y : 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.P.: Não procede												
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): ⁽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⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor. ⁽⁶⁾ Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária. ⁽⁷⁾ 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:

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.018} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 2.771 m do nó N458, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

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

$$N_{t,Sd} : \underline{0.048} \text{ t}$$

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

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{2.620} \text{ t}$$

Onde:

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{1.13} \text{ cm}^2$$

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 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)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 2.773 m do nó N458, para a combinação de ações 1.5·PP+CP1-Telhas+CP2-Paineis.

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:

$$M_{Rd} : \underline{0.006} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} = \frac{1.50 \cdot W \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{0.006} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_x : Módulo de resistência elástica mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.

$$W_x : \underline{0.17} \text{ cm}^3$$

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):

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{0.007} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

$$M_{pl} : \underline{0.007} \text{ t}$$

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástica.

$$Z_x : \underline{0.29} \text{ cm}^3$$

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:

$$\eta = \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 2.773 m do nó N458, para a combinação de ações 1.5·PP+CP1-Telhas+CP2-Paineis.

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

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

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

$$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$V_{Rd} : \underline{1.572} \text{ t}$$

Onde:

$$V_{pl} = 0.60 \cdot A_w \cdot f_y$$

$$V_{pl} : \underline{1.729} \text{ t}$$

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A_w : \underline{1.13} \text{ cm}^2$$

Onde:

D : Diâmetro externo da seção transversal.

$$D : \underline{12.00} \text{ mm}$$

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)

Deve satisfazer:

$$\eta \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.156} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 2.773 m do nó N458, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

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

$$N_{t,Sd} : \underline{0.048} \text{ t}$$

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

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

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

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

$$N_{Sd} / N_{Rd} < 0.2$$

$$0.018 < 0.200$$

$$\eta = \frac{N_{t,Sd}}{2 \cdot N_{t,Rd}} + \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.156}$$

Onde:

$N_{t,Rd}$: Força axial resistente de cálculo de tração (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.2).

$$N_{t,Rd} : \underline{2.620} \text{ t}$$

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos X e Y da seção transversal (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2).

$$M_{x,Rd} : \underline{0.006} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{0.006} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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)

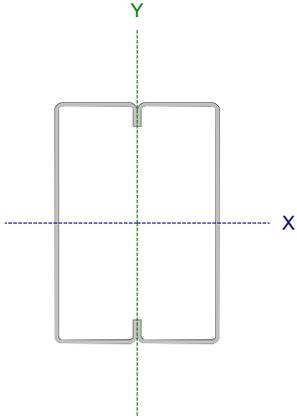
Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.

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.

ANEXO VIII – PILARES

Barra N19/N266

Perfil: C250X85X25X4.25, Caixa dupla soldada (Cordão contínuo) Material: Aço (CF-26)						
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas		
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)
	N19	N266	5.400	37.55	3462.06	1723.83
Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme						
		Flambagem		Flambagem lateral		
		Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.	
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _k	5.400	5.400	0.000	0.000		
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	
N19/N266	(b _w /t) ≤ 500 (b _{fl} /t) ≤ 500 Passa	λ _{max} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200 Passa	N _{t,50} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 9.6	x: 5.4 m η = 84.5	x: 0 m η = 10.6	η = 0.6	η = 5.2	x: 5.4 m η = 71.7	x: 0 m η = 1.1	x: 5.4 m η = 95.9	N.P. ⁽²⁾	η = 0.5	PASSA η = 95.9
Notação: b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura λ: Limitação de esbelteza 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.P.: Não procede														
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): ⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração. ⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.														

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.

$(b / t) \leq 500$

$(b / t) : \underline{55} \checkmark$

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 233.00 mm

t: A espessura.

t : 4.25 mm

Elemento: Alma

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

$(b / t) \leq 500$

$(b / t) : \underline{36} \checkmark$

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 153.00 mm

t: A espessura.

t : 4.25 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.

$$\lambda = KL/r < 200$$

$$\lambda_{xx} : \underline{56.9} \quad \checkmark$$
$$\lambda_{yy} : \underline{76.4} \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$K_x L_x : \underline{5.400} \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : \underline{5.400} \text{ m}$$

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

$$r_x : \underline{9.49} \text{ cm}$$

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

$$r_y : \underline{7.07} \text{ cm}$$

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

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.096} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N19, para a combinação de ações

$$1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot CP1 - Telhas + CP2 - Paineis + 1.5 \cdot SCU1 + 0.84 \cdot V1.$$

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

$$N_{c,Sd} : \underline{4.828} \text{ t}$$

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

$$N_{c,Rd} = \chi A_{ef} f_y / \gamma$$

$$N_{c,Rd} : \underline{50.433} \text{ t}$$

Onde:

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

$$A_{ef} : \underline{31.50} \text{ cm}^2$$

χ : Fator de redução associado à flambagem, $\lambda_0 \leq 1,5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$

$$\chi_{xx} : \underline{0.84}$$

$$\chi_{yy} : \underline{0.72}$$

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0,xx} : \underline{0.65}$$

$$\lambda_{0,yy} : \underline{0.88}$$

$$\lambda_0 = \left[\frac{A f_y}{N_e} \right]^{0.5}$$

Sendo:

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

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{34.50} \text{ cm}^2$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

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), b) e c):

$$N_e : \underline{118.938} \text{ t}$$

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

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

$$N_{ex} : \underline{214.272} \text{ t}$$

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

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2}$$

$$N_{ey} : \underline{118.938} \text{ t}$$

c) Força normal de flambagem elástica por torção.

Não é necessário, dado que o comprimento efetivo de flambagem por torção, $K_t L_t$, é nula.

Onde:

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

$$I_x : \underline{3105.21} \text{ cm}^4$$

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

$$I_y : \underline{1723.64} \text{ cm}^4$$

E : Módulo de elasticidade.

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

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

$$K_x L_x : \underline{5.400} \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : \underline{5.400} \text{ m}$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.845} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N266, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

$$M_{Sd} : \underline{5.038} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{5.963} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

$$M_{Rd} : \underline{5.963} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : \underline{247.47} \text{ cm}^3$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_y L_y^{pos}$ e $K_y L_y^{neg}$ são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.106} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N19, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.4·V1.

$$M_{Sd} : \underline{0.435} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{4.087} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

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.

$$W_{ef} : \underline{169.62} \text{ cm}^3$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{w,Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

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

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se para a combinação de hipóteses
1.25·PP+CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.4·V1.

$$V_{sd} : \underline{0.109} \quad t$$

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

$$V_{sd} : \underline{0.055} \quad t$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{9.400} \quad t$$

para $^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{66.98}$$

para $^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$

$$h/t : \underline{36.00}$$

para $^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{86.82}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{4.25} \quad \text{mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{153.00} \quad \text{mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \quad \text{kgf/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidade.

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

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:

$$K_v : \underline{5.00}$$

$$k_v = 5.00$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{w,Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.052} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se para a combinação de hipóteses
1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

$$V_{sd} : \underline{1.487} \quad t$$

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

$$V_{sd} : \underline{0.743} \quad t$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{14.316} \quad t$$

para $^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{66.98}$$

para $^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$

$$h/t : \underline{54.82}$$

para $^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{86.82}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{4.25} \quad \text{mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{233.00} \quad \text{mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \quad \text{kgf/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidade.

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

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:

$$K_v : \underline{5.00}$$

$$k_v = 5.00$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{sd} e V_{sd} são obtidos no nó N266, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot CP1 - Telhas + CP2 - Paineis + 1.5 \cdot SCU1 + 0.84 \cdot V1$.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2 \quad \eta : \underline{0.717} \quad \checkmark$$

Onde:

M_{sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	$M_{sd} : \underline{5.038} \text{ t}\cdot\text{m}$
$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$M_{0,Rd} : \underline{5.963} \text{ t}\cdot\text{m}$
V_{sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	$V_{sd} : \underline{1.487} \text{ t}$
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	$V_{Rd} : \underline{28.631} \text{ t}$

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 N19, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + CP1 - Telhas + CP2 - Paineis + 1.4 \cdot V1$.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2 \quad \eta : \underline{0.011} \quad \checkmark$$

Onde:

M_{sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	$M_{sd} : \underline{0.435} \text{ t}\cdot\text{m}$
$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$M_{0,Rd} : \underline{4.087} \text{ t}\cdot\text{m}$
V_{sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	$V_{sd} : \underline{0.109} \text{ t}$
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	$V_{Rd} : \underline{18.801} \text{ t}$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N266, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot CP1 - Telhas + CP2 - Paineis + 1.5 \cdot SCU1 + 0.84 \cdot V1$.

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.959} \quad \checkmark$$

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.	$N_{c,Sd} : \underline{4.629} \text{ t}$
$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.	$M_{x,Sd} : \underline{5.038} \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{y,Sd} : \underline{0.090} \text{ t}\cdot\text{m}$
$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.	$N_{c,Rd} : \underline{50.433} \text{ t}$
$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.	$M_{x,Rd} : \underline{5.963} \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{y,Rd} : \underline{4.087} \text{ t}\cdot\text{m}$

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

Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{t,Sd}}{M_{t,Rd}} \leq 1$$

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

O momento torsor solicitante de cálculo desfavorável $M_{t,Sd}$ produz-se para a combinação de hipóteses PP+CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.4·V1.

$$M_{t,Sd} : \underline{0.026} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{t,Rd} = 0.6 f_y W_t / \gamma$$

$$M_{t,Rd} : \underline{5.001} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_t : módulo de resistência à torção

$$W_t : \underline{345.93} \text{ cm}^3$$

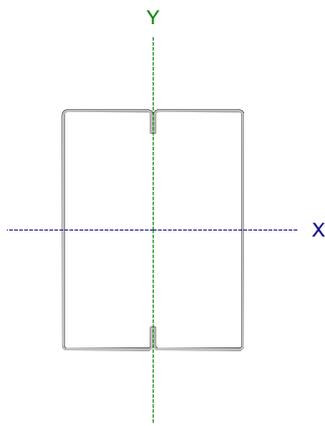
f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

Barra N568/N384

Perfil: C200X75X20X2.25, Caixa dupla soldada (Cordão contínuo) Material: Aço (CF-26)							
	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)
	N568	N384	6.091	16.88	1040.07	599.22	1120.87
Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme							
		Flambagem		Flambagem lateral			
		Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
β		1.00	1.00	0.00	0.00		
L_k		6.091	6.091	0.000	0.000		
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_xV_y	M_yV_x	$N_cM_xM_y$	$N_cM_yM_x$	M_t		
N568/N384	$(b_w/t) \leq 500$ $(b_w/t) \leq 500$ Passa	$\lambda_{xx} \leq 200$ $\lambda_{yy} \leq 200$ Passa	$N_{t,isd} = 0.00$ N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m $\eta = 10.8$	x: 0 m $\eta = 8.2$	x: 0 m $\eta = 56.6$	x: 0 m $\eta = 6.5$	$\eta = 0.5$	x: 0 m $\eta = 0.7$	x: 0 m $\eta = 32.4$	x: 0 m $\eta = 69.5$	N.P. ⁽²⁾	$\eta = 0.5$	PASSA $\eta = 69.5$	
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_xV_y : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados M_yV_x : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados $N_cM_xM_y$: Resistência à flexo-compressão $N_cM_yM_x$: Resistência à flexo-tração M_t : Resistência à torção x: Distância à origem da barra η : Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede															
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): ⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração. ⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.															

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.

$(b / t) \leq 500$

$(b/t) : \underline{85} \checkmark$

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 191.00 mm

t: A espessura.

t : 2.25 mm

Elemento: Alma

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

$(b / t) \leq 500$

$(b/t) : \underline{63} \checkmark$

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 141.00 mm

t: A espessura.

t : 2.25 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.

$$\lambda = KL/r < 200$$

$$\lambda_{xx} : \underline{78.5} \quad \checkmark$$
$$\lambda_{yy} : \underline{97.7} \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$K_x L_x : \underline{6.091} \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : \underline{6.091} \text{ m}$$

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

$$r_x : \underline{7.75} \text{ cm}$$

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

$$r_y : \underline{6.23} \text{ cm}$$

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

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.108} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N568, para a combinação de ações

$$1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot CP1 - Telhas + CP2 - Paineis + 1.5 \cdot SCU1 + 0.84 \cdot V1.$$

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

$$N_{c,Sd} : \underline{1.618} \quad t$$

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

$$N_{c,Rd} = \chi A_{ef} f_y / \gamma$$

$$N_{c,Rd} : \underline{14.946} \quad t$$

Onde:

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

$$A_{ef} : \underline{11.45} \quad \text{cm}^2$$

χ : Fator de redução associado à flambagem, $\lambda_0 \leq 1,5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$

$$\chi_{xx} : \underline{0.71}$$

$$\chi_{yy} : \underline{0.59}$$

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0,xx} : \underline{0.90}$$

$$\lambda_{0,yy} : \underline{1.12}$$

$$\lambda_0 = \left[\frac{A f_y}{N_e} \right]^{0.5}$$

Sendo:

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

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{15.41} \quad \text{cm}^2$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \quad \text{kgf/cm}^2$$

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), b) e c):

$$N_e : \underline{32.501} \quad t$$

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

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

$$N_{ex} : \underline{50.269} \quad t$$

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

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2}$$

$$N_{ey} : \underline{32.501} \quad t$$

c) Força normal de flambagem elástica por torção.

Não é necessário, dado que o comprimento efetivo de flambagem por torção, $K_t L_t$, é nula.

Onde:

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

$$I_x : \underline{926.78} \quad \text{cm}^4$$

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

$$I_y : \underline{599.20} \quad \text{cm}^4$$

E : Módulo de elasticidade.

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

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

$$K_x L_x : \underline{6.091} \quad m$$

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

$$K_y L_y : \underline{6.091} \quad m$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.082} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N568, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.05·SCU1+1.4·V1.

$$M_{Sd} : \underline{0.152} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{1.855} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

$$M_{Rd} : \underline{1.855} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : \underline{76.97} \text{ cm}^3$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_y L_y^{pos}$ e $K_y L_y^{neg}$ são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.566} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N568, para a combinação de hipóteses PP+CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.4·V1.

$$M_{Sd} : \underline{0.752} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{1.329} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

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.

$$W_{ef} : \underline{55.15} \text{ cm}^3$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{w,Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.065} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se no nó N568, para a combinação de hipóteses PP+CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.4·V1.

$$V_{sd} : \underline{0.592} \quad t$$

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

$$V_{sd} : \underline{0.296} \quad t$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{4.586} \quad t$$

para $^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{66.98}$$

para $^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$

$$h/t : \underline{62.67}$$

para $^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{86.82}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

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

h: Largura da alma.

$$h : \underline{141.00} \quad \text{mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \quad \text{kgf/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidade.

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

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:

$$K_v : \underline{5.00}$$

$$k_v = 5.00$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{w,Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

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

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.05·SCU1+1.4·V1.

$$V_{sd} : \underline{0.050} \quad t$$

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

$$V_{sd} : \underline{0.025} \quad t$$

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

$$^{(2)}V_{Rd} : \underline{4.917} \quad t$$

para $^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{66.98}$$

para $^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_v f_y E)^{0.5}/\gamma$

$$h/t : \underline{84.89}$$

para $^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_v t^3/h]/\gamma$

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{86.82}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

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

h: Largura da alma.

$$h : \underline{191.00} \quad \text{mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \quad \text{kgf/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidade.

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

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:

$$K_v : \underline{5.00}$$

$$k_v = 5.00$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N568, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.05·SCU1+1.4·V1.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{Sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2 \quad \eta : \underline{0.007} \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	$M_{Sd} : \underline{0.152} \text{ t}\cdot\text{m}$
$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$M_{0,Rd} : \underline{1.855} \text{ t}\cdot\text{m}$
V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	$V_{Sd} : \underline{0.050} \text{ t}$
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	$V_{Rd} : \underline{9.834} \text{ t}$

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 N568, para a combinação de hipóteses PP+CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.4·V1.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{Sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2 \quad \eta : \underline{0.324} \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	$M_{Sd} : \underline{0.752} \text{ t}\cdot\text{m}$
$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$M_{0,Rd} : \underline{1.329} \text{ t}\cdot\text{m}$
V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	$V_{Sd} : \underline{0.592} \text{ t}$
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	$V_{Rd} : \underline{9.173} \text{ t}$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N568, para a combinação de hipóteses PP+CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.4·V1.

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.695} \checkmark$$

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.	$N_{c,Sd} : \underline{0.732} \text{ t}$
$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.	$M_{x,Sd} : \underline{0.149} \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{y,Sd} : \underline{0.752} \text{ t}\cdot\text{m}$
$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.	$N_{c,Rd} : \underline{14.946} \text{ t}$
$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.	$M_{x,Rd} : \underline{1.855} \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{y,Rd} : \underline{1.329} \text{ t}\cdot\text{m}$

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

Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{t,Sd}}{M_{t,Rd}} \leq 1$$

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

O momento torsor solicitante de cálculo desfavorável $M_{t,Sd}$ produz-se para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1.

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

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

$$M_{t,Rd} = 0.6 f_y W_t / \gamma$$

$$M_{t,Rd} : \underline{1.900} \quad \text{t}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_t : módulo de resistência à torção

$$W_t : \underline{131.44} \quad \text{cm}^3$$

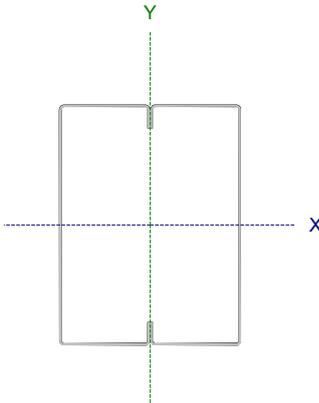
f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \quad \text{kgf/cm}^2$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

Barra N566/N381

Perfil: C200X75X20X2.25, Caixa dupla soldada (Cordão contínuo) Material: Aço (CF-26)							
	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)
	N566	N381	6.450	16.88	1040.07	599.22	1120.87
Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme							
		Flambagem		Flambagem lateral			
		Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
β		1.00	1.00	0.00	0.00		
L _k		6.450	6.450	0.000	0.000		
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 _t M _x M _y	N _t M _y M _x	M _t		
N566/N381	(b _w /t) ≤ 500 (b _{fl} /t) ≤ 500 Passa	λ _{xx} ≤ 200 λ _{yy} ≤ 200 Passa	N _{t,ser} = 0.00 N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 11.3	x: 0 m η = 6.8	x: 6.349 m η = 65.2	x: 6.349 m η = 6.6	η = 0.4	x: 0 m η = 0.5	x: 6.349 m η = 42.8	x: 6.349 m η = 79.2	N.P. ⁽²⁾	η = 0.1	PASSA η = 79.2	
Notação: b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura λ: Limitação de esbelteza 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 _t M _x M _y : Resistência à flexo-compressão N _t M _y M _x : Resistência à flexo-tração M _t : Resistência à torção x: Distância à origem de barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede															
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): ⁽¹⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração. ⁽²⁾ Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.															

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.

$(b / t) \leq 500$

$(b/t) : \underline{85} \checkmark$

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 191.00 mm

t: A espessura.

t : 2.25 mm

Elemento: Alma

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

$(b / t) \leq 500$

$(b/t) : \underline{63} \checkmark$

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 141.00 mm

t: A espessura.

t : 2.25 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.

$$\lambda = KL/r < 200$$

$$\lambda_{xx} : \underline{83.2} \quad \checkmark$$
$$\lambda_{yy} : \underline{103.5} \quad \checkmark$$

Onde:

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.	$K_x L_x$: <u>6.450</u> m
$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.	$K_y L_y$: <u>6.450</u> m
r_x : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.	r_x : <u>7.75</u> cm
r_y : Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.	r_y : <u>6.23</u> cm

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

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.113} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N566, para a combinação de ações

$$1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot CP1 - Telhas + CP2 - Paineis + 1.5 \cdot SCU1 + 0.84 \cdot V1.$$

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

$$N_{c,Sd} : \underline{1.621} \quad t$$

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

$$N_{c,Rd} = \chi A_{ef} f_y / \gamma$$

$$N_{c,Rd} : \underline{14.338} \quad t$$

Onde:

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

$$A_{ef} : \underline{11.71} \quad \text{cm}^2$$

χ : Fator de redução associado à flambagem, $\lambda_0 \leq 1,5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$

$$\chi_{xx} : \underline{0.68}$$

$$\chi_{yy} : \underline{0.55}$$

Sendo:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0,xx} : \underline{0.95}$$

$$\lambda_{0,yy} : \underline{1.19}$$

$$\lambda_0 = \left[\frac{A f_y}{N_e} \right]^{0.5}$$

Sendo:

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

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{15.41} \quad \text{cm}^2$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \quad \text{kgf/cm}^2$$

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), b) e c):

$$N_e : \underline{28.981} \quad t$$

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

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2}$$

$$N_{ex} : \underline{44.825} \quad t$$

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

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2}$$

$$N_{ey} : \underline{28.981} \quad t$$

c) Força normal de flambagem elástica por torção.

Não é necessário, dado que o comprimento efetivo de flambagem por torção, $K_t L_t$, é nula.

Onde:

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

$$I_x : \underline{926.78} \quad \text{cm}^4$$

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

$$I_y : \underline{599.20} \quad \text{cm}^4$$

E : Módulo de elasticidade.

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

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

$$K_x L_x : \underline{6.450} \quad m$$

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

$$K_y L_y : \underline{6.450} \quad m$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.068} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N566, para a combinação de hipóteses PP+CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.4·V1.

$$M_{Sd} : \underline{0.125} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{1.855} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

$$M_{Rd} : \underline{1.855} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$W_{ef} : \underline{76.97} \text{ cm}^3$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_y L_y^{pos}$ e $K_y L_y^{neg}$ são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.652} \quad \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável M_{Sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 6.349 m do nó N566, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

$$M_{Sd} : \underline{0.867} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{1.329} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd} = W_{ef} f_y / \gamma$$

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.

$$W_{ef} : \underline{55.15} \text{ cm}^3$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{w,Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.066} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 6.349 m do nó N566, para a combinação de hipóteses

1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.05·SCU1+1.4·V1.

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

$$V_{sd} : \underline{0.607} \quad t$$

$$V_{sd} : \underline{0.304} \quad t$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{4.586} \quad t$$

para $^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{66.98}$$

para $^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_vf_yE)^{0.5}/\gamma$

$$h/t : \underline{62.67}$$

para $^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_vt^3/h]/\gamma$

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{86.82}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

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

h: Largura da alma.

$$h : \underline{141.00} \quad \text{mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \quad \text{kgf/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidade.

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

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:

$$K_v : \underline{5.00}$$

$$k_v = 5.00$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{w,Sd}}{V_{Rd}} \leq 1$$

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

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se para a combinação de hipóteses PP+CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.4·V1.

$$V_{sd} : \underline{0.037} \quad t$$

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

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

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

$$^{(2)}V_{Rd} : \underline{4.917} \quad t$$

para $^{(1)}h/t \leq 1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.6f_yht/\gamma$

$$1.08(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{66.98}$$

para $^{(2)}1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} < h/t \leq 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = 0.65t^2(k_vf_yE)^{0.5}/\gamma$

$$h/t : \underline{84.89}$$

para $^{(3)}h/t > 1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} \rightarrow V_{Rd} = [0.905Ek_vt^3/h]/\gamma$

$$1.4(EK_v/f_y)^{0.5} : \underline{86.82}$$

Onde:

t: Espessura da alma.

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

h: Largura da alma.

$$h : \underline{191.00} \quad \text{mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \quad \text{kgf/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidade.

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

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:

$$K_v : \underline{5.00}$$

$$k_v = 5.00$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{sd} e V_{sd} são obtidos no nó N566, para a combinação de hipóteses PP+CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.4·V1.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2 \quad \eta : \underline{0.005} \checkmark$$

Onde:

M_{sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	$M_{sd} : \underline{0.125} \text{ t}\cdot\text{m}$
$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$M_{0,Rd} : \underline{1.855} \text{ t}\cdot\text{m}$
V_{sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	$V_{sd} : \underline{0.037} \text{ t}$
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	$V_{Rd} : \underline{9.834} \text{ t}$

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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis M_{sd} e V_{sd} produzem-se num ponto situado a uma distância 6.349 m do nó N566, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

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:

$$\eta = \left(\frac{M_{sd}}{M_{0,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{0,Rd}} \right)^2 \quad \eta : \underline{0.428} \checkmark$$

Onde:

M_{sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.	$M_{sd} : \underline{0.867} \text{ t}\cdot\text{m}$
$M_{0,Rd}$: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.	$M_{0,Rd} : \underline{1.329} \text{ t}\cdot\text{m}$
V_{sd} : Força cortante solicitante de cálculo.	$V_{sd} : \underline{0.454} \text{ t}$
V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.	$V_{Rd} : \underline{9.173} \text{ t}$

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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância 6.349 m do nó N566, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.5·SCU1+0.84·V1.

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.792} \checkmark$$

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.	$N_{c,Sd} : \underline{1.516} \text{ t}$
$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.	$M_{x,Sd} : \underline{0.062} \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{y,Sd} : \underline{0.867} \text{ t}\cdot\text{m}$
$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.	$N_{c,Rd} : \underline{14.338} \text{ t}$
$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.	$M_{x,Rd} : \underline{1.855} \text{ t}\cdot\text{m}$ $M_{y,Rd} : \underline{1.329} \text{ t}\cdot\text{m}$

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

Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{t,Sd}}{M_{t,Rd}} \leq 1$$

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

O momento torsor solicitante de cálculo desfavorável $M_{t,Sd}$ produz-se para a combinação de hipóteses
PP+1.25·CP1-Telhas+CP2-Paineis+1.05·SCU1+1.4·V1.

$$M_{t,Sd} : \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{t,Rd} = 0.6 f_y W_t / \gamma$$

$$M_{t,Rd} : \underline{1.900} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_t : módulo de resistência à torção

$$W_t : \underline{131.44} \text{ cm}^3$$

f_y : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2650.36} \text{ kgf/cm}^2$$

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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