

Barra N1/N2

Perfil: W 150 x 37,1 Material: Aço (A-572 345MPa)							
	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)
	N1	N2	2.500	47.80	2244.00	707.00	18.48
	Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme						
	Flambagem			Flambagem lateral			
			Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.	
	β	0.70	0.70	1.00	1.00		
	L _k	1.750	1.750	2.500	2.500		
	C _b	-		1.000			
	Notação: b: 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	
N1/N2	λ ≤ 200.0	N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 8.8	x: 2.5 m η = 50.2	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	η = 8.9	x: 2.5 m η = 54.5	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	PASSA h = 54.5
<p>Notação:</p> <ul style="list-style-type: none"> I: Limitação do índice de esbeltez N_t: Resistência à tração N_c: Resistência à compressão M_x: Resistência à flexão eixo X M_y: Resistência à flexão eixo Y V_x: Resistência ao esforço cortante X V_y: Resistência ao esforço cortante Y NM_xM_y: Resistência ao esforço axial e flexão combinados T: Resistência à torção NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante σ τ f: Resistência a interações de esforços e momento de torção x: Distância à origem da barra h: Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede <p>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):</p> <ul style="list-style-type: none"> ⁽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⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante. ⁽⁴⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor. ⁽⁵⁾ Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária. ⁽⁶⁾ Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária. 												

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

I : 45.5

Onde:

I : Índice de esbeltez.

$$\lambda = \frac{K \cdot L}{r}$$

Sendo:

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

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

r_x,r_y: Raios de giração em relação aos eixos principais X, Y, respectivamente.

K_x·L_x : 1.750 m

K_y·L_y : 1.750 m

r_x : 6.85 cm

r_y : 3.85 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:

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

h : 0.088 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações 1.4·AP+1.5·SC.

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

$N_{c,Sd}$: 11.508 t

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

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

$N_{c,Rd}$: 130.399 t

Onde:

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

c : 0.853

Q: Fator de redução total associado à flambagem local.

Q : 1.000

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

A_g : 47.80 cm²

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

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

$\lambda_0 \leq 1.5 \rightarrow \chi = 0.658^{\lambda_0^2}$

c : 0.853

Onde:

I_0 : Índice de esbeltez reduzido.

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

I_0 : 0.616

Sendo:

Q: Fator de redução total associado à flambagem local.

Q : 1.000

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

A_g : 47.80 cm²

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

N_e : Força axial de flambagem elástica.

N_e : 443.416 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 duplamente simétrica ou simétrica em relação a um ponto, é dada pelo menor valor entre os obtidos por (a), (b) e (c):

N_e : 443.416 t

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

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

N_{ex} : 1474.373 t

Onde:

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

$K_x \cdot L_x$: 1.750 m

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

I_x : 2244.00 cm⁴

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 2038736 kgf/cm²

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

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

$$N_{ey} : \underline{464.520} \text{ t}$$

Onde:

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

$$K_y \cdot L_y : \underline{1.750} \text{ m}$$

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

$$I_y : \underline{707.00} \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

(c) Para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal Z:

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

$$N_{ez} : \underline{443.416} \text{ t}$$

Onde:

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

$$K_z \cdot L_z : \underline{2.500} \text{ m}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

C_w : Constante de empenamento da seção transversal.

$$C_w : \underline{39965.25} \text{ cm}^6$$

G: Módulo de elasticidade transversal do aço.

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

J: Constante de torção da seção transversal.

$$J : \underline{18.48} \text{ cm}^4$$

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

$$r_0 = \sqrt{(r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2)}$$

$$r_0 : \underline{7.86} \text{ cm}$$

Onde:

r_x, r_y : Raios de giração em relação aos eixos principais X, Y, respectivamente.

$$r_x : \underline{6.85} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{3.85} \text{ cm}$$

X_0, Y_0 : Coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos principais X, Y, respectivamente.

$$X_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$Y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

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 4 da Tabela F.1.

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

$$6.64 \leq 13.48$$

Sendo:

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

$$(b/t) : \underline{6.64}$$

Onde:

b: Largura.

$$b : \underline{77.00} \text{ mm}$$

t: Espessura.

$$t : \underline{11.60} \text{ mm}$$

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

$$(b/t)_{lim} = 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$(b/t)_{lim} : \underline{13.48}$$

Onde:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

Alma: Elemento do Grupo 2 da Tabela F.1.

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

$$17.14 \leq 35.87$$

Sendo:

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

$$(b/t) : \underline{17.14}$$

Onde:

b: Largura.

$$b : \underline{138.80} \text{ mm}$$

t: Espessura.

$$t : \underline{8.10} \text{ mm}$$

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

$$(b/t)_{lim} = 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$(b/t)_{lim} : \underline{35.87}$$

Onde:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

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

Deve satisfazer:

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

$$h : \underline{0.502}$$



O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N2, para a combinação de ações 1.4·AP+1.5·SC.

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

$$M_{Sd} : \underline{4.642} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Já que ' $\lambda \leq \lambda_r$ ', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G).

$$17.14 \leq \underline{137.24}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$l : \underline{17.14}$$

Sendo:

h: Altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas.

$$h : \underline{138.80} \text{ mm}$$

t_w : Espessura da alma.

$$t_w : \underline{8.10} \text{ mm}$$

$$\lambda_r = 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$l_r : \underline{137.24}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

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

$$M_{Rd} : \underline{9.251} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{Rd} : \underline{13.286} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$W_x : \underline{277.04} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

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):

$$\lambda > \lambda_p$$

$$65.00 > \underline{42.38}$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$65.00 \leq \underline{182.90}$$

$$M_{Rd} = \frac{C_b}{\gamma_{a1}} \cdot \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$M_{Rd} : \underline{9.251} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y}$$

$$L_b : \underline{65.00}$$

Sendo:

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

$$L_{b,inf} : \underline{2.500} \text{ m}$$

r_y : Raio de giração da seção em relação ao eixo principal de inércia perpendicular ao eixo de flexão.

$$r_y : \underline{3.85} \text{ cm}$$

$$\lambda_p = 1.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$I_p : \underline{42.38}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\lambda_r = \frac{1.38 \cdot \sqrt{I_y \cdot J}}{r_y \cdot J \cdot \beta_1} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 \cdot C_w \cdot \beta_1^2}{I_y}}}$$

$$I_r : \underline{182.90}$$

Sendo:

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

$$I_y : \underline{707.00} \text{ cm}^4$$

J: Constante de torção da seção transversal.

$$J : \underline{18.48} \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção transversal.

$$C_w : \underline{39965.25} \text{ cm}^6$$

$$\beta_1 = \frac{M_r}{E \cdot J}$$

$$b_1 : \underline{0.018} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

$$M_{pl} : \underline{10.821} \text{ t}$$

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \underline{307.69} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

$$M_r = W \cdot (f_y - \sigma_r)$$

$$M_r : \underline{6.820} \text{ t} \cdot \text{m}$$

Sendo:

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

$$W_x : \underline{277.04} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

$$s_r : \underline{1055.05} \text{ kgf/cm}^2$$

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

$$C_b : \underline{1.00}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$6.64 \leq 9.15$$

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

$$M_{Rd} : \underline{9.837} \text{ t} \cdot \text{m}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{b_f/2}{t_f}$$

$$I : \underline{6.64}$$

Sendo:

b_f : Largura da mesa comprimida

$$b_f : \underline{154.00} \text{ mm}$$

t_f : Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{11.60} \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$I_p : \underline{9.15}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

$$M_{pl} : \underline{10.821} \text{ t}$$

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \underline{307.69} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

(d) Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G):

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$17.14 \leq 90.53$$

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

$$M_{Rd} : \underline{9.837} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$l : \underline{17.14}$$

Sendo:

h: Altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas.

$$h : \underline{138.80} \text{ mm}$$

t_w : Espessura da alma.

$$t_w : \underline{8.10} \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$l_p : \underline{90.53}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

$$M_{pl} = Z \cdot f_y$$

$$M_{pl} : \underline{10.821} \text{ t}$$

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \underline{307.69} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{3516.82} \text{ kgf/cm}^2$$

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:

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

h : 0.089 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.4-AP+1.5-SC.

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

V_{Sd} : 2.230 t

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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

17.14 ≤ 59.22

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

V_{Rd} : 25.171 t

Onde:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

l : 17.14

Sendo:

h: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas.

h : 138.80 mm

t_w : Espessura da alma.

t_w : 8.10 mm

$$\lambda_p = 1.10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}}$$

l_p : 59.22

Sendo:

k_v : Coeficiente de flambagem.

k_v : 5.00

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 2038736 kgf/cm²

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

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

V_{pl} : 27.689 t

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento

$$A_w = d \cdot t_w$$

A_w : 13.12 cm²

d: Altura total da seção transversal.

d : 162.00 mm

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

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

Deve satisfazer:

$$\eta \leq 1$$

$$h : \underline{0.545}$$



O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N2, para a combinação de ações 1.4·AP+1.5·SC.

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

$$N_{c,Sd} : \underline{11.377} \text{ t}$$

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

$$M_{x,Sd} : \underline{4.642} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$N_{Sd} / N_{Rd} < 0.2$$

$$0.087 < 0.200$$

$$\eta = \frac{N_{c,Sd}}{2 \cdot N_{c,Rd}} + \left(\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1$$

$$h : \underline{0.545}$$

Onde:

$N_{c,Rd}$: Força axial resistente de cálculo de compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3).

$$N_{c,Rd} : \underline{130.399} \text{ t}$$

$M_{x,Rd}, M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos X e Y da seção transversal (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2).

$$M_{x,Rd} : \underline{9.251} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{4.403} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.