



MEMORIAL DE CÁLCULO DAS ESCADAS DO PROJETO ESTRUTURAL DO ANEXO DA CASA NORIVAL DE FREITAS



SUMÁRIO

1	DADOS DE OBRA.....	3
1.1	NORMAS CONSIDERADAS.....	3
1.2	UNIDADES.....	3
1.3	MATERIAIS.....	3
1.4	ESTADOS LIMITES.....	4
1.4.1.	SITUAÇÕES.DE.PROJETO.....	4
1.4.2.	COMBINAÇÕES.....	4
2	ESTRUTURA.....	5
2.1	ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	5
2.2	RESULTADOS.....	5
3	CONCLUSÃO.....	27



1 1 DADOS DE OBRA

1.1 Normas consideradas

ABNT NBR 6118: Projeto de Projeto de estruturas de concreto - Procedimento

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

ABNT NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações

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

1.2 Unidades

As unidades utilizadas são:

Grandeza	Unidades
Massa	quilograma (kg) e tonelada (t)
Força	quilonewton (kN) e quilograma-força (kgf)
Comprimento	metros (m), centímetros (cm) e milímetros (mm)
Área	metros quadrados (m ²), centímetros quadrados (cm ²) e milímetros quadrados (mm ²)
Tempo	segundos (s)

1.3 Materiais

Materiais utilizados							
Material		E (kgf/cm ²)	n	G (kgf/cm ²)	f _y (kgf/cm ²)	a. _t (m/m°C)	g (t/m ³)
Tipo	Designação						
Aço dobrado	CF-26	200000.0	0.300	76923.08	260.00	0.000012	7.701
Notação: E: Módulo de elasticidade n: Módulo de Poisson G: Módulo de elasticidade transversal f _y : Limite elástico a. _t : Coeficiente de dilatação g: Peso específico							



1.4 Estados limites

1.4.1 Situações de projeto

E.L.U. Aço dobrado	ABNT NBR 14762
E.L.S. Aço dobrado	ABNT NBR 14762
E.L.U. Aço laminado	ABNT NBR 8800

Categoria de uso da edificação: Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público.

1.4.2 Combinações

Descrição das cargas atuantes na estrutura

Ações permanentes	Descrição	Valor
PP componentes	Peso próprio das barras de aço	automático
Ações variáveis		
SCU Escada	Sobrecarga de utilização escada	300kgf/m ²
SCU Corrimão H	Sobrecarga horizontal no corrimão	100kgf/m
SCU Corrimão V	Sobrecarga vertical no corrimão	100kgf/m

Nota: o peso próprio das barras de aço é calculado automaticamente pelo *software*.

1.4.3 Combinações de cargas para a edificação (E.L.U.)

Comb.	PP	SCU Escada	SCU Corrimão H	SCU Corrimão V
1	1.000			
2	1.250			
3	1.000	1.500		
4	1.250	1.500		
5	1.000		1.500	
6	1.250		1.500	
7	1.000	1.500	1.500	
8	1.250	1.500	1.500	
9	1.000			1.500
10	1.250			1.500
11	1.000	1.500		1.500
12	1.250	1.500		1.500
13	1.000		1.500	1.500



Comb.	PP	SCU Escada	SCU Corrimão H	SCU Corrimão V
14	1.250		1.500	1.500
15	1.000	1.500	1.500	1.500
16	1.250	1.500	1.500	1.500

2 ESTRUTURA

2.1 Elementos estruturais

2.1.1 Tabela resumo - barras de aço

Tabela resumo - barras de aço						
Material		Série	Perfil	Comprimen to	Volum e	Peso
Tipo	Designaç ão			Perfil	Perfil	Perfil
				(m)	(m³)	(kg)
Aço dobrad o	CF-26	Retangul ar	80 x 80 x 3.20	14,282	0,013	107,19
		Perfil U	300 x 75 x 3.35	36,122	0,053	416,92
		Perfil U	280 x 50 x 3.04	61,400	0,069	542,02
		Circular	48.3 x 3.20	28,942	0,013	103,01
		Circular	42.4 x 2.66	128,877	0,042	328,89
Total				269,623	0,190	1.498,03

2.1.2 Quantitativos de superfícies

Aço laminado: Quantitativos das superfícies a pintar				
Série	Perfil	Superfície unitária (m²/m)	Comprimento (m)	Superfície (m²)
Retangular	80 x 80 x 3.20	0,309	14,282	4,413
Perfil U	300 x 75 x 3.35	0,884	36,122	31,932
Perfil U	280 x 50 x 3.04	0,746	61,400	45,804
Circular	48.3 x 3.20	0,152	28,942	4,399
Circular	42.4 x 2.66	0,133	128,877	17,141
Total				103,689

2.2 Resultados

2.2.1 Barras de aço

2.2.1.1 Verificações E.L.U. (Completo)

Abaixo são apresentadas as verificações, tanto para a viga quanto para a coluna, respectivamente, mais solicitadas da edificação.

A seguir é apresentada uma tabela resumida com as verificações de todas as vigas e colunas da edificação.

Barra N22/N40

Perfil: U280x50x3.04 Material: Aço (CF-26)									
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
	Inicial	Final		Área (cm²)	I _x ⁽¹⁾ (cm⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm⁴)	x _g ⁽³⁾ (mm)	y _g ⁽³⁾ (mm)
	N22	N40	1.600	11.25	1079.82	18.54	0.35	-17.12	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.				
	□	1.00	1.00	1.00	1.00				
	L _K	1.600	1.600	1.600	1.600				
	C _m	-	-	1.000	1.000				
	C _b	-			1.000				
Notação: □: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos C _b : Fator de modificação para o momento crítico									

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

Elemento: Alma

Em almas de perfis U não enrijecidos sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.

(b/t) : 88 ✓



Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 267.84 mm

t: A espessura.

t : 3.04 mm

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

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

λ_{xx} : 16.3 ✓
 λ_{yy} : 124.6 ✓

Onde:

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

$K_x L_x$: 1.600 m

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

$K_y L_y$: 1.600 m

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

r_x : 9.80 cm

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

r_y : 1.28 cm

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

Deve satisfazer:

σ < 0.001 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações
PP+1.5·SCUCorrimãoH+1.5·SCUCorrimãoV.



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

$$N_{t,Sd} : \underline{0.006} \text{ t}$$

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

$$N_{t,Rd} : \underline{27.095} \text{ t}$$

Onde:

A : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{11.25} \text{ cm}^2$$

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)

Deve satisfazer:

$$\gamma : \underline{0.040} \quad \checkmark$$

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

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

$$N_{c,Sd} : \underline{0.337} \text{ t}$$

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

$$N_{c,Rd} : \underline{8.507} \text{ t}$$

Onde:



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

$$A_{ef} : \underline{9.07} \text{ cm}^2$$

\square : Fator de redução associado à flambagem,

$$\square_{yy} : \underline{0.42}$$

$$\square_{xz} : \underline{0.59}$$

Sendo:

\square_0 : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\square_{0, yy} : \underline{1.43}$$

$$\square_{0, xz} : \underline{1.13}$$

Sendo:

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

A: Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{11.25} \text{ cm}^2$$

f_y: Tensão de escoamento.

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

\square : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\square : \underline{1.2}$$

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

$$N_e : \underline{14.574} \text{ t}$$

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

$$N_{ey} : \underline{14.574} \text{ t}$$

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

$$N_{exz} : \underline{23.422} \text{ t}$$

Onde:

$$N_{ex} : \underline{848.732} \text{ t}$$



$$N_{ez} : \underline{23.446} \quad t$$

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

$$I_x : \underline{1079.82} \quad \text{cm}^4$$

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

$$I_y : \underline{18.54} \quad \text{cm}^4$$

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : \underline{0.35} \quad \text{cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : \underline{2675.96} \quad \text{cm}^6$$

E : Módulo de elasticidade.

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

G : Módulo de elasticidade transversal.

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

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

$$K_x L_x : \underline{1.600} \quad m$$

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

$$K_y L_y : \underline{1.600} \quad m$$

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

$$K_z L_z : \underline{1.600} \quad m$$

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

$$r_0 : \underline{10.06} \quad \text{cm}$$

Sendo:

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

$$r_x : \underline{9.80} \quad \text{cm}$$

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

$$r_y : \underline{1.28} \quad \text{cm}$$

$$x_0 : \underline{-19.03} \quad \text{mm}$$

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

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

Deve satisfazer:

$$\square : \underline{0.113} \quad \checkmark$$



O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N40, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.5·SCUEscada+1.5·SCUCorrimãoH+1.5·SCUCorrimãoV.

$$M_{Sd} : \underline{0.161} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd}^{pos} : \underline{1.409} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd}^{neg} : \underline{1.425} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{1.780} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{73.88} \text{ cm}^3$$

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

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

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$$M_{Rd}^{pos} : \underline{1.409} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd}^{neg} : \underline{1.425} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\gamma = \gamma_{FLT} f_y.$$

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

$$W_{c,ef}^{pos} : \underline{75.87} \text{ cm}^3$$

$$W_{c,ef}^{neg} : \underline{76.70} \text{ cm}^3$$

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

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

$$^{(2)}\gamma_{FLT} : \underline{0.77}$$



Sendo:

$$\square_0 : 1.05$$

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

$$W_c : 77.13 \text{ cm}^3$$

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

$$M_e : 1.860 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

C_b: Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

$$C_b : 1.00$$

$$N_{ey} : 14.574 \text{ t}$$

$$N_{ez} : 23.446 \text{ t}$$

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

$$I_y : 18.54 \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : 0.35 \text{ cm}^4$$

C_w: Constante de empenamento da seção.

$$C_w : 2675.96 \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidade.

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

G: Módulo de elasticidade transversal.

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

K_yL_y: Comprimento efetivo de flambagem lateral.

$$K_y L_y : 1.600 \text{ m}$$

K_zL_z: Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$$K_z L_z : 1.600 \text{ m}$$

r₀: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_0 : 10.06 \text{ cm}$$

Sendo:

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

$$r_x : 9.80 \text{ cm}$$

$$r_y : 1.28 \text{ cm}$$

$$x_0 : -19.03 \text{ mm}$$



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

y_0 : 0.00 mm

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

Deve satisfazer:

σ : 0.564 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N22, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.5·SCUEscada+1.5·SCUCorrimãoH.

M_{Sd} : 0.060 t·m

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

M_{Rd} : 0.106 t·m

Onde:

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

W_{ef} : 4.40 cm³

f_y : Tensão de escoamento.

f_y : 2650.36 kgf/cm²

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.1

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

Deve satisfazer:



$$\square : 0.040 \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N22, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.5·SCUEscada+1.5·SCUCorrimãoH.

$$V_{Sd} : 0.155 \text{ t}$$

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

$$V_{Sd} : 0.077 \text{ t}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 1.930 \text{ t}$$

para

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

para

$$h/t : 14.45$$

para

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

Onde:

t: Espessura da alma (mm).

$$t : 3.04$$

h: Largura da alma (mm).

$$h : 43.92$$

f_y : Tensão de escoamento (kgf/cm²).

$$f_y : 2650.36$$

E: Módulo de elasticidade (kgf/cm²).

$$E : 2038736$$

\square : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\square : 1.1$$

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

$$K_v : 1.20$$

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

Deve satisfazer:

$$\square : 0.020 \quad \checkmark$$



O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se para a combinação de hipóteses
1.25·PP+1.5·SCUEscada+1.5·SCUCorrimãoH+1.5·SCUCorrimãoV.

$$V_{sd} : 0.176 \text{ t}$$

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

$$^{(3)}V_{Rd} : 8.797 \text{ t}$$

para

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

para

$$h/t : 88.11$$

para

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

Onde:

t: Espessura da alma (mm).

$$t : 3.04$$

h: Largura da alma (mm).

$$h : 267.84$$

f_y : Tensão de escoamento (kgf/cm²).

$$f_y : 2650.36$$

E: Módulo de elasticidade (kgf/cm²).

$$E : 2038736$$

ϕ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\phi : 1.1$$

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

$$K_v : 5.00$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{sd} e V_{sd} são obtidos no nó N40, para a combinação de hipóteses
1.25·PP+1.5·SCUEscada+1.5·SCUCorrimãoH+1.5·SCUCorrimãoV.

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:



$\square : 0.009 \checkmark$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{Sd} : 0.161 \text{ t}\cdot\text{m}$

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

$M_{0,Rd} : 1.780 \text{ t}\cdot\text{m}$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$V_{Sd} : 0.176 \text{ t}$

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

$V_{Rd} : 8.797 \text{ t}$

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 N22, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.5·SCUEscada+1.5·SCUCorrimãoH.

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:

$\square : 0.320 \checkmark$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$M_{Sd} : 0.060 \text{ t}\cdot\text{m}$

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

$M_{0,Rd} : 0.106 \text{ t}\cdot\text{m}$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$V_{Sd} : 0.155 \text{ t}$

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

$V_{Rd} : 3.860 \text{ t}$

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



Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó
N22, para a combinação de hipóteses
 $1.25 \cdot PP + 1.5 \cdot SCU_{Escada} + 1.5 \cdot SCU_{CorrimãoH}$.

$$\square : \underline{0.686} \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$N_{c,Sd} : \underline{0.313} \quad t$$

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

$$M_{x,Sd} : \underline{0.119} \quad t \cdot m$$

$$M_{y,Sd} : \underline{0.060} \quad t \cdot m$$

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

$$N_{c,Rd} : \underline{8.507} \quad t$$

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

$$M_{x,Rd} : \underline{1.409} \quad t \cdot m$$

$$M_{y,Rd} : \underline{0.106} \quad t \cdot m$$

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

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó
N22, para a combinação
 $1.25 \cdot PP + 1.5 \cdot SCU_{CorrimãoH} + 1.5 \cdot SCU_{CorrimãoV}$.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\square : \underline{0.436} \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$N_{t,Sd} : \underline{0.001} \quad t$$

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

$$M_{x,Sd} : \underline{0.139} \quad t \cdot m$$

$$M_{y,Sd} : \underline{0.036} \quad t \cdot m$$

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

$$N_{Rd} : \underline{27.095} \quad t$$

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

$$M_{x,Rd} : \underline{1.409} \quad t \cdot m$$

$$M_{y,Rd} : \underline{0.106} \quad t \cdot m$$



Barra N48/N46

Perfil: U300x75x3.35
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)
N48	N46	0.630	14.70	1776.67	65.95	0.55	-23.57	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.
□	1.00	1.00	1.00	1.00
L _K	0.630	0.630	0.630	0.630
C _m	-	-	1.000	1.000
C _b	-		1.000	

Notação:

□: Coeficiente de flambagem

L_K: Comprimento de flambagem (m)

C_m: Coeficiente de momentos

C_b: Fator de modificação para o momento crítico

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

A relação comprimento-espessura desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância 0.148 m do nó N48.

Elemento: Alma

Em almas de perfis U não enrijecidos sujeitas à compressão uniforme, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 90.

(b/t) : 86 ✓

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

t: A espessura.

b : 286.60 mm

t : 3.35 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.

$$\begin{aligned}\lambda_{xx} &: \underline{5.7} \quad \checkmark \\ \lambda_{yy} &: \underline{29.8} \quad \checkmark\end{aligned}$$

Onde:

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

$$K_x L_x : \underline{0.630} \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : \underline{0.630} \text{ m}$$

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

$$r_x : \underline{10.99} \text{ cm}$$

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

$$r_y : \underline{2.12} \text{ cm}$$

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

Deve satisfazer:

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N48, para a combinação de ações
1.25·PP+1.5·SCUEscada+1.5·SCUCorrimãoH+1.5·SCUCorrimãoV.

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

$$N_{t,sd} : \underline{1.950} \text{ t}$$

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



$$N_{t,Rd} : \underline{35.425} \text{ t}$$

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$A : \underline{14.70} \text{ cm}^2$$

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

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

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:

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

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N48, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.5·SCUEscada+1.5·SCUCorrimãoH+1.5·SCUCorrimãoV.

$$M_{Sd} : \underline{0.043} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{2.466} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{2.466} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:



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

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\begin{aligned} W_{ef} &: 102.35 \text{ cm}^3 \\ f_y &: 2650.36 \text{ kgf/cm}^2 \\ \gamma &: 1.1 \end{aligned}$$

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$$\begin{aligned} M_{Rd}^{pos} &: 2.466 \text{ t}\cdot\text{m} \\ M_{Rd}^{neg} &: 2.727 \text{ t}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

Onde:

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

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

$$\begin{aligned} W_{c,ef}^{pos} &: 102.35 \text{ cm}^3 \\ W_{c,ef}^{neg} &: 113.18 \text{ cm}^3 \\ f_y &: 2650.36 \text{ kgf/cm}^2 \\ \gamma &: 1.1 \end{aligned}$$

$$^{(1)}\gamma_{FLT} : 1.00$$

Sendo:

$$\gamma_0 : 0.27$$

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

$$W_c : 118.44 \text{ cm}^3$$

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

$$M_e : 42.287 \text{ t}\cdot\text{m}$$



Onde:

C_b : Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

$$C_b : 1.00$$

$$N_{ey} : 333.861 \text{ t}$$

$$N_{ez} : 390.236 \text{ t}$$

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

$$I_y : 65.95 \text{ cm}^4$$

I_t : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : 0.55 \text{ cm}^4$$

C_w : Constante de empenamento da seção.

$$C_w : 10494.89 \text{ cm}^6$$

E : Módulo de elasticidade.

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

G : Módulo de elasticidade transversal.

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

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem lateral.

$$K_y L_y : 0.630 \text{ m}$$

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

$$K_z L_z : 0.630 \text{ m}$$

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

$$r_0 : 11.72 \text{ cm}$$

Sendo:

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

$$r_x : 10.99 \text{ cm}$$

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

$$r_y : 2.12 \text{ cm}$$

$$x_0 : -34.53 \text{ mm}$$

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

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

Deve satisfazer:

$$\square : 0.554 \quad \checkmark$$



O momento fletor desfavorável de cálculo M_{sd} é obtido para o nó N48, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.5 \cdot SCUEscada + 1.5 \cdot SCUCorrimãoH + 1.5 \cdot SCUCorrimãoV$.

$$M_{sd} : \underline{0.135} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{0.243} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{10.09} \text{ cm}^3$$

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

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

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

Deve satisfazer:

$$\gamma : \underline{0.059} \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{sd} produz-se no nó N48, para a combinação de hipóteses $1.25 \cdot PP + 1.5 \cdot SCUEscada + 1.5 \cdot SCUCorrimãoH + 1.5 \cdot SCUCorrimãoV$.

$$V_{sd} : \underline{0.394} \text{ t}$$

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

$$V_{sd} : \underline{0.197} \text{ t}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{3.308} \text{ t}$$

para

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

para

$$h/t : \underline{20.39}$$



para

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

Onde:

t: Espessura da alma (mm).

$$t : \underline{3.35}$$

h: Largura da alma (mm).

$$h : \underline{68.30}$$

f_y: Tensão de escoamento (kgf/cm²).

$$f_y : \underline{2650.36}$$

E: Módulo de elasticidade (kgf/cm²).

$$E : \underline{2038736}$$

□: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\square : \underline{1.1}$$

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

$$K_v : \underline{1.20}$$

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

Deve satisfazer:

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

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se no nó N48, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.5·SCUEscada.

$$V_{Sd} : \underline{0.050} \quad t$$

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

$$^{(2)}V_{Rd} : \underline{10.900} \quad t$$

para

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

para

$$h/t : \underline{85.55}$$

para

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



Onde:

t: Espessura da alma (mm).

h: Largura da alma (mm).

f_y: Tensão de escoamento (kgf/cm²).

E: Módulo de elasticidade (kgf/cm²).

ϕ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

t : 3.35

h : 286.60

f_y : 2650.36

E : 2038736

ϕ : 1.1

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 N48, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.5·SCUEscada+1.5·SCUCorrimãoH+1.5·SCUCorrimãoV.

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:

$\phi < 0.001$ ✓

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

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

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

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

M_{Sd} : 0.043 t·m

M_{0,Rd} : 2.466 t·m

V_{Sd} : 0.030 t

V_{Rd} : 10.900 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 N48, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.5·SCUEscada+1.5·SCUCorrimãoH+1.5·SCUCorrimãoV.



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:

$$\square : \underline{0.310} \quad \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : \underline{0.135} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{0,Rd} : \underline{0.243} \text{ t}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : \underline{0.394} \text{ t}$$

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

$$V_{Rd} : \underline{6.615} \text{ t}$$

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 desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N48, para a combinação
1.25·PP+1.5·SCUEscada+1.5·SCUCorrimãoH+1.5·SCUCorrimãoV.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$$\square : \underline{0.626} \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$N_{t,Sd} : \underline{1.950} \text{ t}$$

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

$$M_{x,Sd} : \underline{0.043} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Sd} : \underline{0.135} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$N_{Rd} : \underline{35.425} \text{ t}$$

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

$$M_{x,Rd} : \underline{2.466} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{0.243} \text{ t}\cdot\text{m}$$



3 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos, por meio das verificações realizadas, com base na NBR 14762 e na finalidade de uso da cobertura, mostram que:

- Os esforços solicitantes atuantes na estrutura da cobertura são inferiores aos esforços resistentes, ou seja, em nenhum ponto da estrutura o limite de escoamento do aço foi atingido ou ultrapassado;
- Os deslocamentos previstos para a estrutura, em serviço, são inferiores aos previstos pela norma vigente.

Desta forma, o dimensionamento dos elementos da cobertura atende aos requisitos de segurança no que se refere os estados limites último e de serviço. **Para maiores detalhes dos resultados, ver anexo A.**