



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



SUMÁRIO

Sumário

1	DADOS DE OBRA.....	3
1.1	NORMAS CONSIDERADAS.....	3
1.2	UNIDADES.....	3
1.3	MATERIAIS.....	3
1.4	ESTADOS LIMITES.....	3
1.4.1	SITUAÇÕES DE PROJETO.....	3
1.4.2	COMBINAÇÕES.....	4
1.4.3	COMBINAÇÕES DE CARGAS PARA A EDIFICAÇÃO.....	4
2	ESTRUTURA.....	8
2.1	ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	8
2.2	RESULTADOS.....	8
2.2.1	BARRAS DE AÇO.....	8
3	CONCLUSÃO.....	44



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 6123: Forças devidas ao vento em 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 (m²), centímetros quadrados (cm²) e milímetros quadrados (mm²)
Tempo	segundos (s)

1.3 Materiais

Materiais utilizados							
Material		E (kgf/cm²)	n	G (kgf/cm²)	f _y (kgf/cm²)	a. _t (m/m°C)	g (t/m³)
Tipo	Designação						
Aço laminado	A-572 345MPa	2038736.0	0.300	784913.4	3516.8	0.000012	7.850
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 laminado	ABNT NBR 8800
E.L.S. 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 Laje	Peso próprio devido a laje	230kgf/m ²
PP Revestimento	Peso próprio devido ao revestimento	130kgf/m ²
PP Alvenaria	Peso próprio devido a alvenaria (blocos cerâmicos)	600kgf/m
Ações variáveis		
SCU Escritório	Sobrecarga no escritório	200kgf/m ²
SCU Reservatório	Sobrecarga devido ao reservatório de água	500kgf/m ²
SCU Técnica	Sobrecarga na área técnica	300kgf/m ²
SCU Terraço	Sobrecarga em área de acesso público	300kgf/m ²

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	Laje	Revestimento	Alvenaria	SCU Escritório	SCU Reservatório	SCU Técnica	SCU Terraço
1	1.00 0	1.00 0	1.000	1.000				
2	1.50 0	1.00 0	1.000	1.000				
3	1.00 0	1.50 0	1.000	1.000				
4	1.50 0	1.50 0	1.000	1.000				
5	1.00 0	1.00 0	1.500	1.000				
6	1.50 0	1.00 0	1.500	1.000				
7	1.00 0	1.50 0	1.500	1.000				
8	1.50 0	1.50 0	1.500	1.000				
9	1.00 0	1.00 0	1.000	1.500				
10	1.50 0	1.00 0	1.000	1.500				
11	1.00 0	1.50 0	1.000	1.500				
12	1.50 0	1.50 0	1.000	1.500				
13	1.00 0	1.00 0	1.500	1.500				



Comb	PP	Laje	Revestiment o	Alvenari a	SCU Escritóri o	SCU Reservatóri o	SCU Técnic a	SCU Terraço
14	1.50 0	1.00 0	1.500	1.500				
15	1.00 0	1.50 0	1.500	1.500				
16	1.50 0	1.50 0	1.500	1.500				
17	1.00 0	1.00 0	1.000	1.000	1.500			
18	1.50 0	1.00 0	1.000	1.000	1.500			
19	1.00 0	1.50 0	1.000	1.000	1.500			
20	1.50 0	1.50 0	1.000	1.000	1.500			
21	1.00 0	1.00 0	1.500	1.000	1.500			
22	1.50 0	1.00 0	1.500	1.000	1.500			
23	1.00 0	1.50 0	1.500	1.000	1.500			
24	1.50 0	1.50 0	1.500	1.000	1.500			
25	1.00 0	1.00 0	1.000	1.500	1.500			
26	1.50 0	1.00 0	1.000	1.500	1.500			
27	1.00 0	1.50 0	1.000	1.500	1.500			
28	1.50 0	1.50 0	1.000	1.500	1.500			
29	1.00 0	1.00 0	1.500	1.500	1.500			
30	1.50 0	1.00 0	1.500	1.500	1.500			
31	1.00 0	1.50 0	1.500	1.500	1.500			
32	1.50 0	1.50 0	1.500	1.500	1.500			
33	1.00 0	1.00 0	1.000	1.000		1.500		
34	1.50 0	1.00 0	1.000	1.000		1.500		
35	1.00 0	1.50 0	1.000	1.000		1.500		
36	1.50 0	1.50 0	1.000	1.000		1.500		
37	1.00 0	1.00 0	1.500	1.000		1.500		
38	1.50 0	1.00 0	1.500	1.000		1.500		
39	1.00 0	1.50 0	1.500	1.000		1.500		
40	1.50 0	1.50 0	1.500	1.000		1.500		
41	1.00 0	1.00 0	1.000	1.500		1.500		



Comb	PP	Laje	Revestiment o	Alvenari a	SCU Escritóri o	SCU Reservatóri o	SCU Técnic a	SCU Terraço
42	1.50 0	1.00 0	1.000	1.500		1.500		
43	1.00 0	1.50 0	1.000	1.500		1.500		
44	1.50 0	1.50 0	1.000	1.500		1.500		
45	1.00 0	1.00 0	1.500	1.500		1.500		
46	1.50 0	1.00 0	1.500	1.500		1.500		
47	1.00 0	1.50 0	1.500	1.500		1.500		
48	1.50 0	1.50 0	1.500	1.500		1.500		
49	1.00 0	1.00 0	1.000	1.000			1.500	
50	1.50 0	1.00 0	1.000	1.000			1.500	
51	1.00 0	1.50 0	1.000	1.000			1.500	
52	1.50 0	1.50 0	1.000	1.000			1.500	
53	1.00 0	1.00 0	1.500	1.000			1.500	
54	1.50 0	1.00 0	1.500	1.000			1.500	
55	1.00 0	1.50 0	1.500	1.000			1.500	
56	1.50 0	1.50 0	1.500	1.000			1.500	
57	1.00 0	1.00 0	1.000	1.500			1.500	
58	1.50 0	1.00 0	1.000	1.500			1.500	
59	1.00 0	1.50 0	1.000	1.500			1.500	
60	1.50 0	1.50 0	1.000	1.500			1.500	
61	1.00 0	1.00 0	1.500	1.500			1.500	
62	1.50 0	1.00 0	1.500	1.500			1.500	
63	1.00 0	1.50 0	1.500	1.500			1.500	
64	1.50 0	1.50 0	1.500	1.500			1.500	
65	1.00 0	1.00 0	1.000	1.000		1.500	1.500	
66	1.50 0	1.00 0	1.000	1.000		1.500	1.500	
67	1.00 0	1.50 0	1.000	1.000		1.500	1.500	
68	1.50 0	1.50 0	1.000	1.000		1.500	1.500	
69	1.00 0	1.00 0	1.500	1.000		1.500	1.500	



Comb	PP	Laje	Revestiment o	Alvenari a	SCU Escritóri o	SCU Reservatóri o	SCU Técnic a	SCU Terraço
70	1.50 0	1.00 0	1.500	1.000		1.500	1.500	
71	1.00 0	1.50 0	1.500	1.000		1.500	1.500	
72	1.50 0	1.50 0	1.500	1.000		1.500	1.500	
73	1.00 0	1.00 0	1.000	1.500		1.500	1.500	
74	1.50 0	1.00 0	1.000	1.500		1.500	1.500	
75	1.00 0	1.50 0	1.000	1.500		1.500	1.500	
76	1.50 0	1.50 0	1.000	1.500		1.500	1.500	
77	1.00 0	1.00 0	1.500	1.500		1.500	1.500	
78	1.50 0	1.00 0	1.500	1.500		1.500	1.500	
79	1.00 0	1.50 0	1.500	1.500		1.500	1.500	
80	1.50 0	1.50 0	1.500	1.500		1.500	1.500	
81	1.00 0	1.00 0	1.000	1.000				1.500
82	1.50 0	1.00 0	1.000	1.000				1.500
83	1.00 0	1.50 0	1.000	1.000				1.500
84	1.50 0	1.50 0	1.000	1.000				1.500
85	1.00 0	1.00 0	1.500	1.000				1.500
86	1.50 0	1.00 0	1.500	1.000				1.500
87	1.00 0	1.50 0	1.500	1.000				1.500
88	1.50 0	1.50 0	1.500	1.000				1.500
89	1.00 0	1.00 0	1.000	1.500				1.500
90	1.50 0	1.00 0	1.000	1.500				1.500
91	1.00 0	1.50 0	1.000	1.500				1.500
92	1.50 0	1.50 0	1.000	1.500				1.500
93	1.00 0	1.00 0	1.500	1.500				1.500
94	1.50 0	1.00 0	1.500	1.500				1.500
95	1.00 0	1.50 0	1.500	1.500				1.500
96	1.50 0	1.50 0	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	Comprimento	Volume	Peso
Tipo	Designação			Perfil	Perfil	Perfil
				(m)	(m³)	(kg)
Aço laminado	A-572 345MPa	I	W 200 x 19.3	168,233	0,427	3.324
			W 310 x 32.7	60,317	0,254	1993,38
			W 410 x 46.1	16,460	0,097	764,92
			W 410 x 53	51,958	0,355	2789,81
		H	W 150 x 29.8	9,940	0,038	300,41
			W 200 x 35.9	144,410	0,659	5169,87
			W 200 x 46.1	66,642	0,391	3065,61
Total				517,960	2,221	17.408,05

2.1.2 Quantitativos de superfícies

Aço laminado: Quantitativos das superfícies a pintar				
Série	Perfil	Superfície unitária (m²/m)	Comprimento (m)	Superfície (m²)
I	W 200 x 19.3	1,685	168,233	135,381
	W 310 x 32.7	1,021	60,317	61,571
	W 410 x 53	1,499	51,958	77,884
	W 410 x 46.1	1,352	16,460	22,254
H	W 150 x 29.8	0,913	9,940	9,073
	W 200 x 35.9	1,050	144,110	151,258
	W 200 x 46.1	1,204	66,642	80,211
Total				537,632

2.2 Resultados

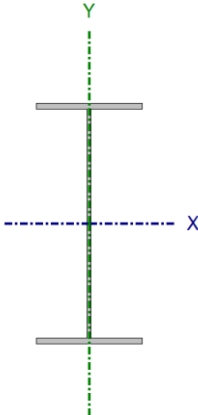
2.2.1 Barras de aço

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 N154/N6

Perfil: W 410 x 53 Material: Aço (A-572 345MPa)							
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
	Inicial	Final		Área (cm²)	I _x ⁽¹⁾ (cm4)	I _y ⁽¹⁾ (cm4)	I _t ⁽²⁾ (cm4)
	N154	N6	4.194	68.40	18734.00	1009.00	23.38
	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.		
	b	1.00	1.00	0.50	1.00		
	L _K	4.194	4.194	2.097	4.194		
	C _b	-		1.000			
	Notação: b: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _b : Fator de modificação para o momento crítico						

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.

$$I : \underline{109.2} \quad \checkmark$$

Onde:

I : Índice de esbeltez.

$$I_x : \underline{25.3}$$

$$I_y : \underline{109.2}$$

Sendo:

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

$$K_x \cdot L_x : \underline{4.194} \text{ m}$$

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

$$K_y \cdot L_y : \underline{4.194} \text{ m}$$

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

$$r_x : \underline{16.55} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{3.84} \text{ cm}$$

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:

$$h : \underline{0.026} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações
1.5·PP+1.5·Laje+1.5·Revestimento+1.5·Alvenaria+1.5·SCUEscritório.

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

$$N_{c,sd} : \underline{2.361} \quad t$$

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

$$N_{c,Rd} : \underline{89.801} \quad t$$

Onde:

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

$$c : \underline{0.456}$$

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{0.901}$$

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{68.40} \quad \text{cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

g_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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

$$c : \underline{0.456}$$

Onde:

l_0 : Índice de esbeltez reduzido.

$$l_0 : \underline{1.370}$$

Sendo:

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{0.901}$$

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{68.40} \quad \text{cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

N_e : Força axial de flambagem elástica.

$$N_e : \underline{115.448} \quad t$$

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

$$N_e : \underline{115.448} \quad t$$

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

$$N_{ex} : \underline{2143.512} \quad t$$

Onde:

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

$$K_x \cdot L_x : \underline{4.194} \quad m$$

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

$$I_x : \underline{18734.00} \quad cm^4$$

E : Módulo de elasticidade do aço.

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

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

$$N_{ey} : \underline{115.448} \quad t$$

Onde:

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

$$K_y \cdot L_y : \underline{4.194} \quad m$$

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

$$I_y : \underline{1009.00} \quad cm^4$$

E : Módulo de elasticidade do aço.

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

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

$$N_{ez} : \underline{217.064} \quad t$$

Onde:

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

$$K_z \cdot L_z : \underline{4.194} \quad m$$

E : Módulo de elasticidade do aço.

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

C_w : Constante de empenamento da seção transversal.

$$C_w : \underline{387194.00} \quad cm^6$$

G : Módulo de elasticidade transversal do aço.

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

J : Constante de torção da seção transversal.

$$J : \underline{23.38} \quad cm^4$$

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

$$r_0 : \underline{16.99} \quad cm$$

Onde:

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

$$r_x : \underline{16.55} \quad cm$$

$$r_y : \underline{3.84} \quad cm$$

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

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

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

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



As barras submetidas a força axial de compressão, nas quais os elementos componentes da seção transversal possuem relações entre largura e espessura (b/t) maiores que os valores limite dados na Tabela F.1, têm o fator de redução total Q dado por:

$$Q : \underline{0.901}$$

Onde:

Q_s: Fator de redução que tem em conta a flambagem local dos elementos AL. Quando existem dois ou mais elementos AL com fatores de redução Q_s diferentes, adota-se o menor destes fatores.

$$Q_s : \underline{1.000}$$

Mesa: Elemento do Grupo 4 da Tabela F.1.

$$8.12 \leq 13.48$$

$$Q_s : \underline{1.000}$$

Sendo:

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

$$(b/t) : \underline{8.12}$$

Onde:

b: Largura.

$$b : \underline{88.50} \text{ mm}$$

t: Espessura.

$$t : \underline{10.90} \text{ mm}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

Q_a: Fator de redução que leva em conta a flambagem local dos elementos AA.

$$Q_a : \underline{0.901}$$

Sendo:

A_g: Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{68.40} \text{ cm}^2$$

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

$$A_{ef} : \underline{61.63} \text{ cm}^2$$

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

$$50.83 > 35.87$$

$$b_{ef} : \underline{290.87} \text{ mm}$$

Sendo:

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

$$(b/t) : \underline{50.83}$$



Onde:

b: Largura.

b : 381.20 mm

t: Espessura.

t : 7.50 mm

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 2038736 kgf/cm²

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

C_a: Coeficiente para elementos que não sejam mesas ou almas de seções tubulares retangulares.

C_a : 0.34

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

Deve satisfazer:

h : 0.395 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.767 m do nó N154, para a combinação de ações
1.5·PP+1.5·Laje+1.5·Revestimento+1.5·Alvenaria+1.5·SCUEscritório.

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

M_{sd}⁺ : 12.507 t·m

Já que 'l > l_r', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G).

50.83 ≤ **137.24**

Onde:

l : 50.83

Sendo:

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

h : 381.20 mm

t_w: Espessura da alma.

t_w : 7.50 mm

l_r : 137.24

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 2038736 kgf/cm²

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

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} : 31.628 t·m

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



$$M_{Rd} : \underline{44.587} \quad t \cdot m$$

Onde:

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

$$W_x : \underline{929.73} \quad cm^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

g_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

$$54.59 > 42.38$$

$$54.59 \leq 120.30$$

$$M_{Rd} : \underline{31.628} \quad t \cdot m$$

Onde:

$$I : \underline{54.59}$$

Sendo:

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

$$L_{b,sup} : \underline{2.097} \quad m$$

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

$$r_y : \underline{3.84} \quad cm$$

$$I_p : \underline{42.38}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$I_r : \underline{120.30}$$

Sendo:

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

$$I_y : \underline{1009.00} \quad cm^4$$

J: Constante de torção da seção transversal.

$$J : \underline{23.38} \quad cm^4$$

C_w: Constante de empenamento da seção transversal.

$$C_w : \underline{387194.00} \quad cm^6$$

$$b_1 : \underline{0.048} \quad cm^{-1}$$

$$M_{pl} : \underline{37.004} \quad t$$



Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \frac{1052.20}{\text{cm}^3}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

$$M_r : \frac{22.888}{\text{t}\cdot\text{m}}$$

Sendo:

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

$$W_x : \frac{929.73}{\text{cm}^3}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

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

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

$$C_b : \frac{1.00}{\text{kgf/cm}^2}$$

g_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$g_{a1} : \frac{1.10}{\text{kgf/cm}^2}$$

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

$$8.12 \quad \text{£} \quad 9.15$$

$$M_{Rd} : \frac{33.640}{\text{t}\cdot\text{m}}$$

Onde:

$$I : \frac{8.12}{\text{kgf/cm}^2}$$

Sendo:

b_f : Largura da mesa comprimida.

$$b_f : \frac{177.00}{\text{mm}}$$

t_f : Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \frac{10.90}{\text{mm}}$$

$$I_p : \frac{9.15}{\text{kgf/cm}^2}$$

Sendo:

E : Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

$$M_{pl} : \frac{37.004}{\text{t}}$$

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \frac{1052.20}{\text{cm}^3}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

g_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$g_{a1} : \frac{1.10}{\text{kgf/cm}^2}$$

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

$$50.83 \quad \text{£} \quad 90.53$$



$$M_{Rd} : \underline{33.640} \text{ t.m}$$

Onde:

$$I : \underline{50.83}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{381.20} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : \underline{7.50} \text{ mm}$$

$$I_p : \underline{90.53}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$M_{pl} : \underline{37.004} \text{ t}$$

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \underline{1052.20} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

g_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

Deve satisfazer:

$$h : \underline{0.026} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N154, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·Laje+1.5·Revestimento+1.5·Alvenaria+1.5·SCUTerraço.

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

$$M_{Sd} : \underline{0.096} \text{ t.m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{3.645} \text{ t.m}$$

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



$$M_{Rd} : \underline{5.468} \quad t \cdot m$$

Onde:

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

$$W_y : \underline{114.01} \quad cm^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

g_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

$$8.12 \quad \leq \quad 9.15$$

$$M_{Rd} : \underline{5.656} \quad t \cdot m$$

Onde:

$$I : \underline{8.12}$$

Sendo:

b_f: Largura da mesa comprimida.

$$b_f : \underline{177.00} \quad mm$$

t_f: Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{10.90} \quad mm$$

$$I_p : \underline{9.15}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$M_{pl} : \underline{6.221} \quad t$$

Onde:

Z_y: Módulo de resistência plástico.

$$Z_y : \underline{176.90} \quad cm^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

g_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

$$50.83 \quad > \quad 33.71$$

$$M_{Rd} : \underline{3.645} \quad t \cdot m$$

Onde:

$$I : \underline{50.83}$$

Sendo:



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

$$h : \underline{381.20} \text{ mm}$$

tw: Espessura da alma.

$$tw : \underline{7.50} \text{ mm}$$

$$I_r : \underline{33.71}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

fy: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$M_{cr} : \underline{4.010} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Sendo:

W_{ef,y}: Módulo de resistência mínimo
elástico, relativo ao eixo de flexão, para
uma seção que tem uma mesa
comprimida de largura igual a b_{ef} dada
por F.3.2, com s igual a fy.

$$W_{ef,y} : \underline{114.01} \text{ cm}^3$$

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

$$Wy : \underline{114.01} \text{ cm}^3$$

fy: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$M_{pl} : \underline{6.221} \text{ t}$$

Onde:

Zy: Módulo de resistência plástico.

$$Zy : \underline{176.90} \text{ cm}^3$$

fy: Resistência ao escoamento do aço.

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

ga1: Coeficiente de segurança do material.

$$ga1 : \underline{1.10}$$

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

Deve satisfazer:

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a
combinação de ações
1.5·PP+1.5·Laje+1.5·Revestimento+1.5·Alvenaria+1.5·SCUTerraço.

Vsd: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.

$$Vsd : \underline{0.023} \text{ t}$$

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

$$8.12 \quad \text{£} \quad \underline{29.01}$$



$$V_{Rd} : \underline{74.018} \text{ t}$$

Onde:

$$I : \underline{8.12}$$

Sendo:

b_f: Largura das mesas.

$$b_f : \underline{177.00} \text{ mm}$$

t_f: Espessura das mesas.

$$t_f : \underline{10.90} \text{ mm}$$

$$I_p : \underline{29.01}$$

Sendo:

k_v: Coeficiente de flambagem.

$$k_v : \underline{1.20}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$V_{pl} : \underline{81.420} \text{ t}$$

Sendo:

A_w: Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w : \underline{38.59} \text{ cm}^2$$

g_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

Deve satisfazer:

$$h : \underline{0.202} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 4.092 m do nó N154, para a combinação de ações
1.5·PP+1.5·Laje+1.5·Revestimento+1.5·Alvenaria+1.5·SCUEscritório.

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

$$V_{sd} : \underline{11.730} \text{ t}$$

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

$$50.83 \text{ £ } 59.22$$



$$V_{Rd} : \underline{57.980} \text{ t}$$

Onde:

$$I : \underline{50.83}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{381.20} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : \underline{7.50} \text{ mm}$$

$$I_p : \underline{59.22}$$

Sendo:

k_v: Coeficiente de flambagem.

$$k_v : \underline{5.00}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$V_{pl} : \underline{63.778} \text{ t}$$

Sendo:

A_w: Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w : \underline{30.23} \text{ cm}^2$$

d: Altura total da seção transversal.

$$d : \underline{403.00} \text{ mm}$$

g_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

Deve satisfazer:

$$h : \underline{0.421} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.767 m do nó N154, para a combinação de ações

1.5·PP+1.5·Laje+1.5·Revestimento+1.5·Alvenaria+1.5·SCUEscritório.

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

$$N_{c,sd} : \underline{2.361} \text{ t}$$



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

$$M_{x,sd} : \underline{12.507} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{y,sd} : \underline{0.047} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$0.026 < 0.200$$

$$h : \underline{0.421}$$

Onde:

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

$$N_{c,Rd} : \underline{89.801} \text{ t}$$

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

$$M_{x,Rd} : \underline{31.628} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{3.645} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

Já que a norma não proporciona uma verificação geral para seções não tubulares submetidas exclusivamente à torção, considera-se que este elemento também deve cumprir o seguinte critério:

Deve satisfazer:

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações
1.5·PP+1.5·Laje+1.5·Revestimento+1.5·Alvenaria+1.5·SCUTerraço.

T_{sd} : Momento de torção solicitante de cálculo, desfavorável.

$$T_{sd} : \underline{0.005} \text{ t}\cdot\text{m}$$

O momento de torção resistente de cálculo, T_{Rd} , é determinado pela expressão:

$$T_{Rd} : \underline{0.411} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_T : Módulo de resistência à torção.

$$W_T : \underline{21.45} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

g_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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

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



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

Deve satisfazer:

$$h : \underline{0.978} \quad \checkmark$$

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

(Já que a norma não proporciona uma verificação da tensão total para seções submetidas a torção combinada com outros esforços, considera-se que este elemento também deve cumprir os seguintes critérios para a tensão de Von Mises:)

$$h : \underline{0.405} \quad \checkmark$$

O coeficiente de aproveitamento desfavorável produz-se em um ponto situado a uma distância 0.767 m do nó N154 para a combinação de ações
1.5·PP+1.5·Laje+1.5·Revestimento+1.5·Alvenaria+1.5·SCUEscritório
e no ponto da seção transversal de coordenadas X = -88.50 mm, Y = 201.50 mm em relação ao centro de gravidade.

As tensões normais s_{sd} são dadas por:

$$s_{sd} : \underline{-1424.71} \quad \text{kgf/cm}^2$$

Onde:

$$s_{nsd} : \underline{-38.31} \quad \text{kgf/cm}^2$$

Sendo:

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

$$N_{c,sd} : \underline{2.361} \quad t$$

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

$$Q : \underline{0.901}$$

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{68.40} \quad \text{cm}^2$$

$$s_{m,x,sd} : \underline{-1345.22} \quad \text{kgf/cm}^2$$

Sendo:

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

$$M_{x,sd^+} : \underline{12.507} \quad t \cdot m$$



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

$$I_x : \underline{18734.00} \text{ cm}^4$$

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

$$Y : \underline{201.50} \text{ mm}$$

$$S_{My,Sd} : \underline{-41.18} \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo:

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

$$M_{y,Sd} : \underline{0.047} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$I_y : \underline{1009.00} \text{ cm}^4$$

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

$$X : \underline{-88.50} \text{ mm}$$

As tensões tangenciais t_{sd} são dadas por:

$$t_{sd} : \underline{-16.00} \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

$$t_{v_x,Sd} : \underline{0.00} \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo:

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

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

S_y: Momento estático, em relação ao eixo Y, da parte da seção situada a um lado do ponto de verificação.

$$S_y : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

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

$$I_y : \underline{1009.00} \text{ cm}^4$$

t: Espessura.

$$t : \underline{10.90} \text{ mm}$$

$$t_{v_y,Sd} : \underline{0.00} \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo:

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

$$V_{y,Sd} : \underline{0.099} \text{ t}$$

S_x: Momento estático, em relação ao eixo X, da parte da seção situada a um lado do ponto de verificação.

$$S_x : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

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

$$I_x : \underline{18734.00} \text{ cm}^4$$

t: Espessura.

$$t : \underline{10.90} \text{ mm}$$

$$t_{rSd} : \underline{-16.00} \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo:

T_{Sd}: Momento de torção solicitante de cálculo, desfavorável.

$$T_{Sd} : \underline{0.003} \text{ t}\cdot\text{m}$$



J: Constante de torção da seção transversal.
t: Espessura.

J : 23.38 cm⁴
t : 10.90 mm

As tensões totais f_{sd} são dadas por:

f_{sd} : 1424.98 kgf/cm²

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

s_{Rd} : 1457.21 kgf/cm²

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

s_{Rd} : 3197.11 kgf/cm²

Onde:

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

g_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

g_{a1} : 1.10

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

s_{Rd} : 1457.21 kgf/cm²

Onde:

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

c : 0.456

Sendo:

l_0 : 1.370

s_e : 1873.39 kgf/cm²

Onde:

N_e : Força axial de flambagem elástica.

N_e : 115.448 t

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

Q : 0.901

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

A_g : 68.40 cm²

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

g_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

g_{a1} : 1.10



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

$$t_{Rd} : \underline{1868.42} \text{ kgf/cm}^2$$

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

$$t_{Rd} : \underline{1918.27} \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

g_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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

$$t_{Rd} : \underline{1868.42} \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

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

$$c : \underline{0.974}$$

Sendo:

$$I_o : \underline{0.251}$$

$$t_e : \underline{33541.76} \text{ kgf/cm}^2$$

$$s_E : \underline{27951.46} \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

k_v : Coeficiente de flambagem
(ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.3).

$$k_v : \underline{1.20}$$

E : Módulo de elasticidade do aço.

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

n : Coeficiente de Poisson.

$$n : \underline{0.30}$$

t : Espessura.

$$t : \underline{10.90} \text{ mm}$$

h : Largura.

$$h : \underline{88.50} \text{ mm}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

g_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

A tensão resistente de cálculo, f_{Rd} é dada por:

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



Onde:

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

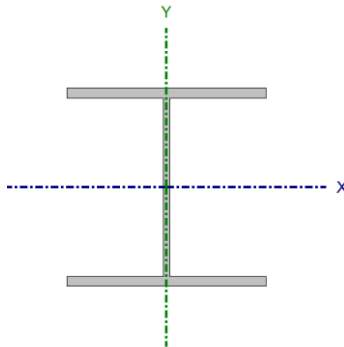
f_y : 3516.82 kgf/cm²

g_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

g_{a1} : 1.10

Barra N5/N6

Perfil: W 200 x 46.1
Material: Aço (A-572 345MPa)

	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
	Inicial	Final		Área (cm²)	I _x ⁽¹⁾ (cm⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm⁴)
	N5	N6	3.530	58.60	4543.00	1535.00	22.01
	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.		
	b	1.00	1.00	1.00	1.00		
	L _K	3.530	3.530	3.530	3.530		
C _b	-		1.000				
Notação:							
b: Coeficiente de flambagem							
L _K : Comprimento de flambagem (m)							
C _b : Fator de modificação para o momento crítico							

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.

 $I : 69.0$ ✓

Onde:

 I : Índice de esbeltez.

 $I_x : 40.1$
 $I_y : 69.0$

Sendo:

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

 $K_x \cdot L_x : 3.530$ m

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

 $K_y \cdot L_y : 3.530$ m

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

 $r_x : 8.80$ cm

 $r_y : 5.12$ 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:

$$h : \underline{0.134} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5,
para a combinação de ações
1.5·PP+1.5·Laje+1.5·Revestimento+1.5·Alvenaria+1.5·SCUEscritório.

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

$$N_{c,sd} : \underline{17.662} \quad t$$

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

$$N_{c,Rd} : \underline{132.288} \quad t$$

Onde:

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

$$c : \underline{0.706}$$

Q : Fator de redução total associado à flambagem local.

$$Q : \underline{1.000}$$

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{58.60} \quad \text{cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

g_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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

$$c : \underline{0.706}$$

Onde:

I_0 : Índice de esbeltez reduzido.

$$I_0 : \underline{0.912}$$

Sendo:

Q : Fator de redução total associado à
flambagem local.

$$Q : \underline{1.000}$$

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{58.60} \quad \text{cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

N_e : Força axial de flambagem elástica.

$$N_e : \underline{247.868} \quad t$$

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

$$N_e : \underline{247.868} \quad t$$



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

$$N_{ex} : \underline{733.591} \quad t$$

Onde:

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

$$K_x \cdot L_x : \underline{3.530} \quad m$$

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

$$I_x : \underline{4543.00} \quad cm^4$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

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

$$N_{ey} : \underline{247.868} \quad t$$

Onde:

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

$$K_y \cdot L_y : \underline{3.530} \quad m$$

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

$$I_y : \underline{1535.00} \quad cm^4$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

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

$$N_{ez} : \underline{386.612} \quad t$$

Onde:

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

$$K_z \cdot L_z : \underline{3.530} \quad m$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

C_w : Constante de empenamento da seção transversal.

$$C_w : \underline{141342.00} \quad cm^6$$

G: Módulo de elasticidade transversal do aço.

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

J: Constante de torção da seção transversal.

$$J : \underline{22.01} \quad cm^4$$

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

$$r_0 : \underline{10.18} \quad cm$$

Onde:

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

$$r_x : \underline{8.80} \quad cm$$

$$r_y : \underline{5.12} \quad cm$$

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

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

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

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.

9.23 £ 13.48

Sendo:

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

(b/t) : 9.23

Onde:

b: Largura.

b : 101.50 mm

t: Espessura.

t : 11.00 mm

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

(b/t)_{lim} : 13.48

Onde:

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 2038736 kgf/cm²

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

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

25.14 £ 35.87

Sendo:

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

(b/t) : 25.14

Onde:

b: Largura.

b : 181.00 mm

t: Espessura.

t : 7.20 mm

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

(b/t)_{lim} : 35.87

Onde:

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 2038736 kgf/cm²

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

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

Deve satisfazer:

h : 0.441 ✓



O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 3.126 m do nó N5, para a combinação de ações
1.5·PP+1.5·Laje+1.5·Revestimento+1.5·Alvenaria+1.5·SCUEscritório.

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

M_{sd}⁺ : 6.328 t·m

Já que 'l > l_r', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G).

25.14 £ **137.24**

Onde:

I : 25.14

Sendo:

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

h : 181.00 mm

t_w: Espessura da alma.

t_w : 7.20 mm

I_r : 137.24

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 2038736 kgf/cm²

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

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} : 14.361 t·m

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

M_{Rd} : 21.465 t·m

Onde:

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

W_x : 447.59 cm³

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

g_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

g_{a1} : 1.10

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

68.97 > **42.38**

68.97 £ **147.32**

M_{Rd} : 14.361 t·m

Onde:

I : 68.97



Sendo:

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

$$\mathbf{L_{b,sup}} : \underline{\quad 3.530 \quad} \text{ m}$$

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

$$\mathbf{r_y} : \underline{\quad 5.12 \quad} \text{ cm}$$

$$\mathbf{I_p} : \underline{\quad 42.38 \quad}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$\mathbf{I_r} : \underline{\quad 147.32 \quad}$$

Sendo:

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

$$\mathbf{I_y} : \underline{\quad 1535.00 \quad} \text{ cm}^4$$

J: Constante de torção da seção transversal.

$$\mathbf{J} : \underline{\quad 22.01 \quad} \text{ cm}^4$$

C_w: Constante de empenamento da seção transversal.

$$\mathbf{C_w} : \underline{\quad 141342.00 \quad} \text{ cm}^6$$

$$\mathbf{b_1} : \underline{\quad 0.025 \quad} \text{ cm-1}$$

$$\mathbf{M_{pl}} : \underline{\quad 17.419 \quad} \text{ t}$$

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

$$\mathbf{Z_x} : \underline{\quad 495.30 \quad} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$\mathbf{M_r} : \underline{\quad 11.019 \quad} \text{ t-m}$$

Sendo:

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

$$\mathbf{W_x} : \underline{\quad 447.59 \quad} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

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

$$\mathbf{C_b} : \underline{\quad 1.00 \quad}$$

g_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\mathbf{g_{a1}} : \underline{\quad 1.10 \quad}$$

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



$$9.23 > 9.15$$

$$9.23 \leq 23.89$$

$$M_{Rd} : \underline{15.805} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$I : \underline{9.23}$$

Sendo:

b_r: Largura da mesa comprimida.

$$b_r : \underline{203.00} \text{ mm}$$

t_r: Espessura da mesa comprimida.

$$t_r : \underline{11.00} \text{ mm}$$

$$I_p : \underline{9.15}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$I_r : \underline{23.89}$$

Sendo:

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

$$M_{pl} : \underline{17.419} \text{ t}$$

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \underline{495.30} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$M_r : \underline{11.019} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Sendo:

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

$$W_x : \underline{447.59} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

g_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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



25.14 £ 90.53

M_{Rd} : 15.835 t·m

Onde:

I : 25.14

Sendo:

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

h : 181.00 mm

t_w: Espessura da alma.

t_w : 7.20 mm

I_p : 90.53

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 2038736 kgf/cm²

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

M_{pl} : 17.419 t

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

Z_x : 495.30 cm³

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

g_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

g_{a1} : 1.10

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

Deve satisfazer:

h : 0.023 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5,
para a combinação de ações
1.5·PP+1.5·Laje+1.5·Revestimento+1.5·Alvenaria+1.5·SCUTerraço.

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

M_{Sd} : 0.164 t·m

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

M_{Rd} : 7.253 t·m

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



$$M_{Rd} : \underline{7.253} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$W_y : \underline{151.23} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

g_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

$$9.23 > 9.15$$

$$9.23 \leq 23.89$$

$$M_{Rd} : \underline{7.316} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$I : \underline{9.23}$$

Sendo:

b_f: Largura da mesa comprimida.

$$b_f : \underline{203.00} \text{ mm}$$

t_f: Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{11.00} \text{ mm}$$

$$I_p : \underline{9.15}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$I_r : \underline{23.89}$$

Sendo:

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

$$M_{pl} : \underline{8.071} \text{ t}$$

Onde:

Z_y: Módulo de resistência plástico.

$$Z_y : \underline{229.50} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$M_r : \underline{3.723} \text{ t}\cdot\text{m}$$



Sendo:

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

$$W_y : \underline{151.23} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

g_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

$$25.14 \text{ } \leq \text{ } 26.97$$

$$M_{Rd} : \underline{7.337} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$I : \underline{25.14}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{181.00} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : \underline{7.20} \text{ mm}$$

$$I_p : \underline{26.97}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$M_{pl} : \underline{8.071} \text{ t}$$

Onde:

Z_y: Módulo de resistência plástico.

$$Z_y : \underline{229.50} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

g_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

Deve satisfazer:



$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações
 $1.5 \cdot PP + 1.5 \cdot \text{Laje} + 1.5 \cdot \text{Revestimento} + 1.5 \cdot \text{Alvenaria} + 1.5 \cdot \text{SCUTerraço}$.

V_{sd} : Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.
A força cortante resistente de cálculo, V_{Rd} , é determinada pela expressão:

$$V_{sd} : \underline{0.029} \quad t$$

$$9.23 \quad \text{£} \quad 29.01$$

$$V_{Rd} : \underline{85.670} \quad t$$

Onde:

$$I : \underline{9.23}$$

Sendo:

b_f : Largura das mesas.

$$b_f : \underline{203.00} \quad \text{mm}$$

t_f : Espessura das mesas.

$$t_f : \underline{11.00} \quad \text{mm}$$

$$I_p : \underline{29.01}$$

Sendo:

k_v : Coeficiente de flambagem.

$$k_v : \underline{1.20}$$

E : Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

$$V_{pl} : \underline{94.237} \quad t$$

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w : \underline{44.66} \quad \text{cm}^2$$

g_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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



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

Deve satisfazer:

$$h : \underline{0.107} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações
1.5·PP+1.5·Laje+1.5·Revestimento+1.5·Alvenaria+1.5·SCUEscritório.

V_{sd} : Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável.
A força cortante resistente de cálculo, V_{Rd} , é determinada pela expressão:

$$V_{sd} : \underline{2.994} \quad t$$

$$25.14 \quad \text{€} \quad 59.22$$

$$V_{Rd} : \underline{28.037} \quad t$$

Onde:

$$I : \underline{25.14}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{181.00} \quad \text{mm}$$

t_w : Espessura da alma.

$$t_w : \underline{7.20} \quad \text{mm}$$

$$I_p : \underline{59.22}$$

Sendo:

k_v : Coeficiente de flambagem.

$$k_v : \underline{5.00}$$

E : Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

$$V_{pl} : \underline{30.841} \quad t$$

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w : \underline{14.62} \quad \text{cm}^2$$

d : Altura total da seção transversal.

$$d : \underline{203.00} \quad \text{mm}$$

g_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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



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

Deve satisfazer:

$$h : \underline{0.516} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 3.126 m do nó N5, para a combinação de ações
1.5·PP+1.5·Laje+1.5·Revestimento+1.5·Alvenaria+1.5·SCUEscritório.

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

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

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

$$\begin{aligned} \mathbf{N_{c,Sd}} &: \underline{17.447} \quad \text{t} \\ \mathbf{M_{x,Sd}^+} &: \underline{6.328} \quad \text{t}\cdot\text{m} \\ \mathbf{M_{y,Sd}^-} &: \underline{0.067} \quad \text{t}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$0.132 < 0.200$$

$$h : \underline{0.516}$$

Onde:

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

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).

$$\begin{aligned} \mathbf{N_{c,Rd}} &: \underline{132.288} \quad \text{t} \\ \mathbf{M_{x,Rd}} &: \underline{14.361} \quad \text{t}\cdot\text{m} \\ \mathbf{M_{y,Rd}} &: \underline{7.253} \quad \text{t}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

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

Já que a norma não proporciona uma verificação geral para seções não tubulares submetidas exclusivamente à torção, considera-se que este elemento também deve cumprir o seguinte critério:

Deve satisfazer:

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações PP+1.5·Laje+Revestimento+1.5·Alvenaria.



T_{sd} : Momento de torção solicitante de cálculo, desfavorável.

$$T_{sd} : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

O momento de torção resistente de cálculo, T_{Rd} , é determinado pela expressão:

$$T_{Rd} : \underline{0.384} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_T : Módulo de resistência à torção.

$$W_T : \underline{20.01} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

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

g_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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

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

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

Deve satisfazer:

$$h : \underline{0.778} \quad \checkmark$$

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

(Já que a norma não proporciona uma verificação da tensão total para seções submetidas a torção combinada com outros esforços, considera-se que este elemento também deve cumprir os seguintes critérios para a tensão de Von Mises:)

$$h : \underline{0.499} \quad \checkmark$$

O coeficiente de aproveitamento desfavorável produz-se em um ponto situado a uma distância 3.126 m do nó N5 para a combinação de ações

1.5·PP+1.5·Laje+1.5·Revestimento+1.5·Alvenaria+1.5·SCUEscritório e no ponto da seção transversal de coordenadas X = -101.50 mm, Y = 101.50 mm em relação ao centro de gravidade.

As tensões normais s_{sd} são dadas por:

$$s_{sd} : \underline{-1755.60} \text{ kgf/cm}^2$$



Onde:

$$S_{NSd} : \underline{-297.72} \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo:

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

$$N_{c,Sd} : \underline{17.447} \text{ t}$$

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.

$$A_g : \underline{58.60} \text{ cm}^2$$

$$S_{Mx,Sd} : \underline{-1413.85} \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo:

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

$$M_{x,Sd^+} : \underline{6.328} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$I_x : \underline{4543.00} \text{ cm}^4$$

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

$$Y : \underline{101.50} \text{ mm}$$

$$S_{My,Sd} : \underline{-44.02} \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo:

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

$$M_{y,Sd^-} : \underline{0.067} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$I_y : \underline{1535.00} \text{ cm}^4$$

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

$$X : \underline{-101.50} \text{ mm}$$

As tensões tangenciais t_{sd} são dadas por:

$$t_{sd} : \underline{-1.73} \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

$$t_{v_{x,Sd}} : \underline{0.00} \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo:

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

$$V_{x,Sd^-} : \underline{0.029} \text{ t}$$

S_y: Momento estático, em relação ao eixo Y, da parte da seção situada a um lado do ponto de verificação.

$$S_y : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

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

$$I_y : \underline{1535.00} \text{ cm}^4$$

t: Espessura.

$$t : \underline{11.00} \text{ mm}$$



$$t_{v_y, Sd} : \underline{0.00} \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo:

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

S_x : Momento estático, em relação ao eixo X, da parte da seção situada a um lado do ponto de verificação.

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

t : Espessura.

$$V_{y, Sd} : \underline{2.994} \text{ t}$$

$$S_x : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

$$I_x : \underline{4543.00} \text{ cm}^4$$

$$t : \underline{11.00} \text{ mm}$$

$$t_{r Sd} : \underline{-1.73} \text{ kgf/cm}^2$$

Sendo:

T_{Sd} : Momento de torção solicitante de cálculo, desfavorável.

J : Constante de torção da seção transversal.

t : Espessura.

$$T_{Sd} : \underline{0.000} \text{ t.m}$$

$$J : \underline{22.01} \text{ cm}^4$$

$$t : \underline{11.00} \text{ mm}$$

As tensões totais f_{Sd} são dadas por:

$$f_{Sd} : \underline{1755.60} \text{ kgf/cm}^2$$

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

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

$$s_{Rd} : \underline{2257.48} \text{ kgf/cm}^2$$

$$s_{Rd} : \underline{3197.11} \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

g_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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

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

$$s_{Rd} : \underline{2257.48} \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

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

$$c : \underline{0.706}$$

Sendo:



$$l_0 : 0.912$$

$$s_e : 4229.82 \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

N_e: Força axial de flambagem elástica.

$$N_e : 247.868 \text{ t}$$

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

$$Q : 1.000$$

A_g: Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : 58.60 \text{ cm}^2$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

g_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$g_{a1} : 1.10$$

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

$$t_{Rd} : 1854.13 \text{ kgf/cm}^2$$

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

$$t_{Rd} : 1918.27 \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

g_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$g_{a1} : 1.10$$

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

$$t_{Rd} : 1854.13 \text{ kgf/cm}^2$$

Onde:

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

$$c : 0.967$$

Sendo:

$$l_0 : 0.285$$

$$t_e : 25970.04 \text{ kgf/cm}^2$$

$$s_e : 21641.70 \text{ kgf/cm}^2$$



Onde:

k_v : Coeficiente de flambagem
(ABNT NBR 8800:2008, Artigo
5.4.3).

E : Módulo de elasticidade do aço.

n : Coeficiente de Poisson.

t : Espessura.

h : Largura.

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

g_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

k_v	:	<u>1.20</u>	
E	:	<u>2038736</u>	kgf/cm ²
n	:	<u>0.30</u>	
t	:	<u>11.00</u>	mm
h	:	<u>101.50</u>	mm
f_y	:	<u>3516.82</u>	kgf/cm ²
g_{a1}	:	<u>1.10</u>	

A tensão resistente de cálculo, f_{Rd} é dada por:

f_{Rd}	:	<u>3516.82</u>	kgf/cm ²
----------	---	----------------	---------------------

Onde:

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

g_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

f_y	:	<u>3516.82</u>	kgf/cm ²
g_{a1}	:	<u>1.10</u>	

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.**