



SIAOTECH

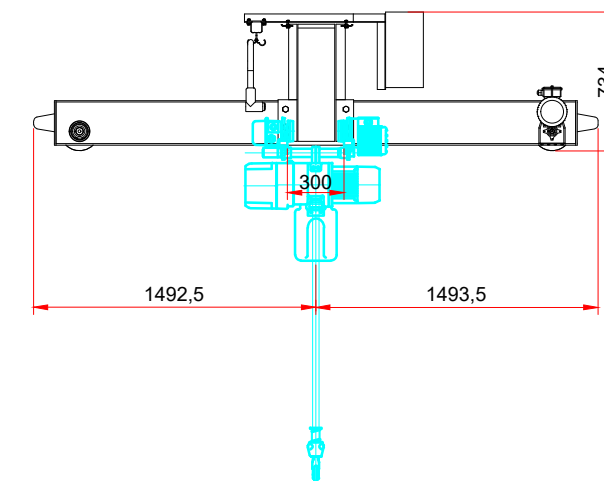
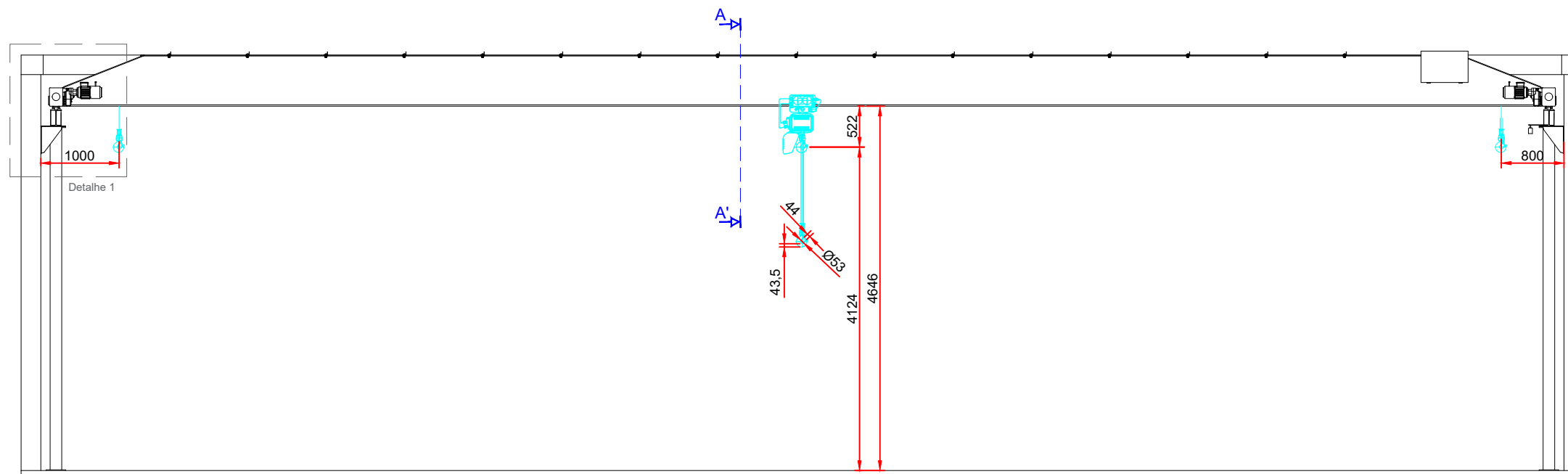


2026

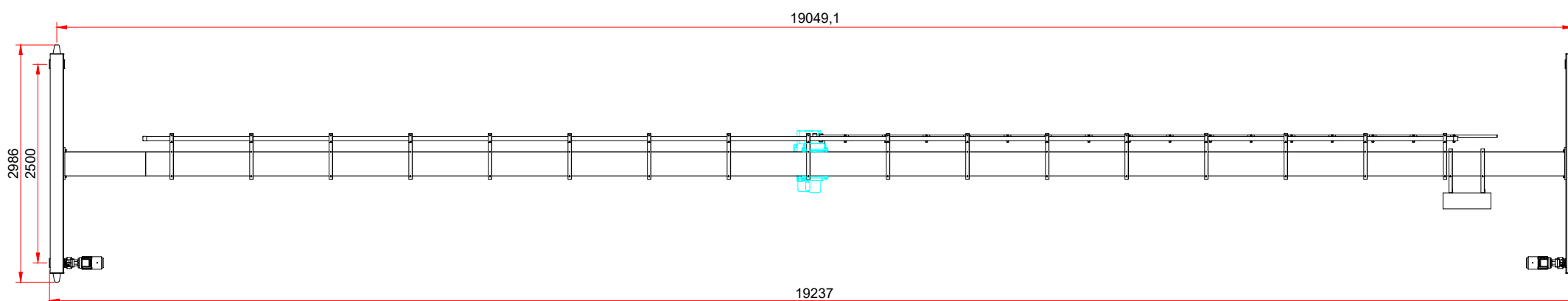
PROJETO: PONTE ROLANTE 2TON

CLIENTE: QUALITY MARMORES E GRANITOS

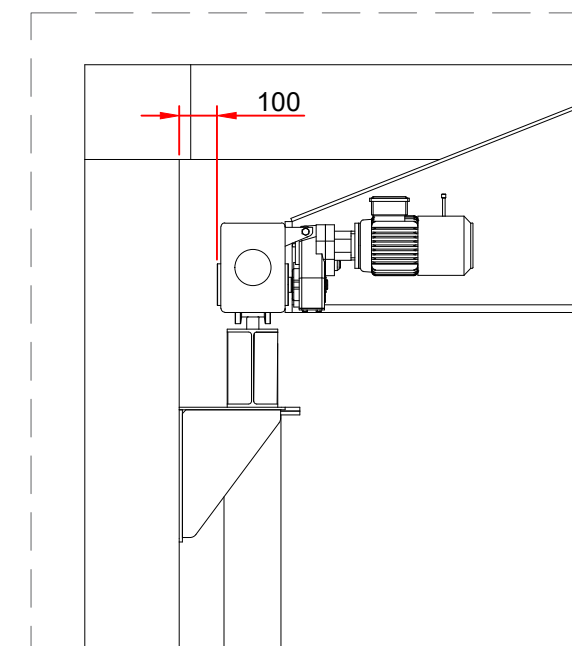
www.siaotech.com



Corte A:A'
Escala (1:40)



PONTE ROLANTE 2 TON
Escala (1:70)



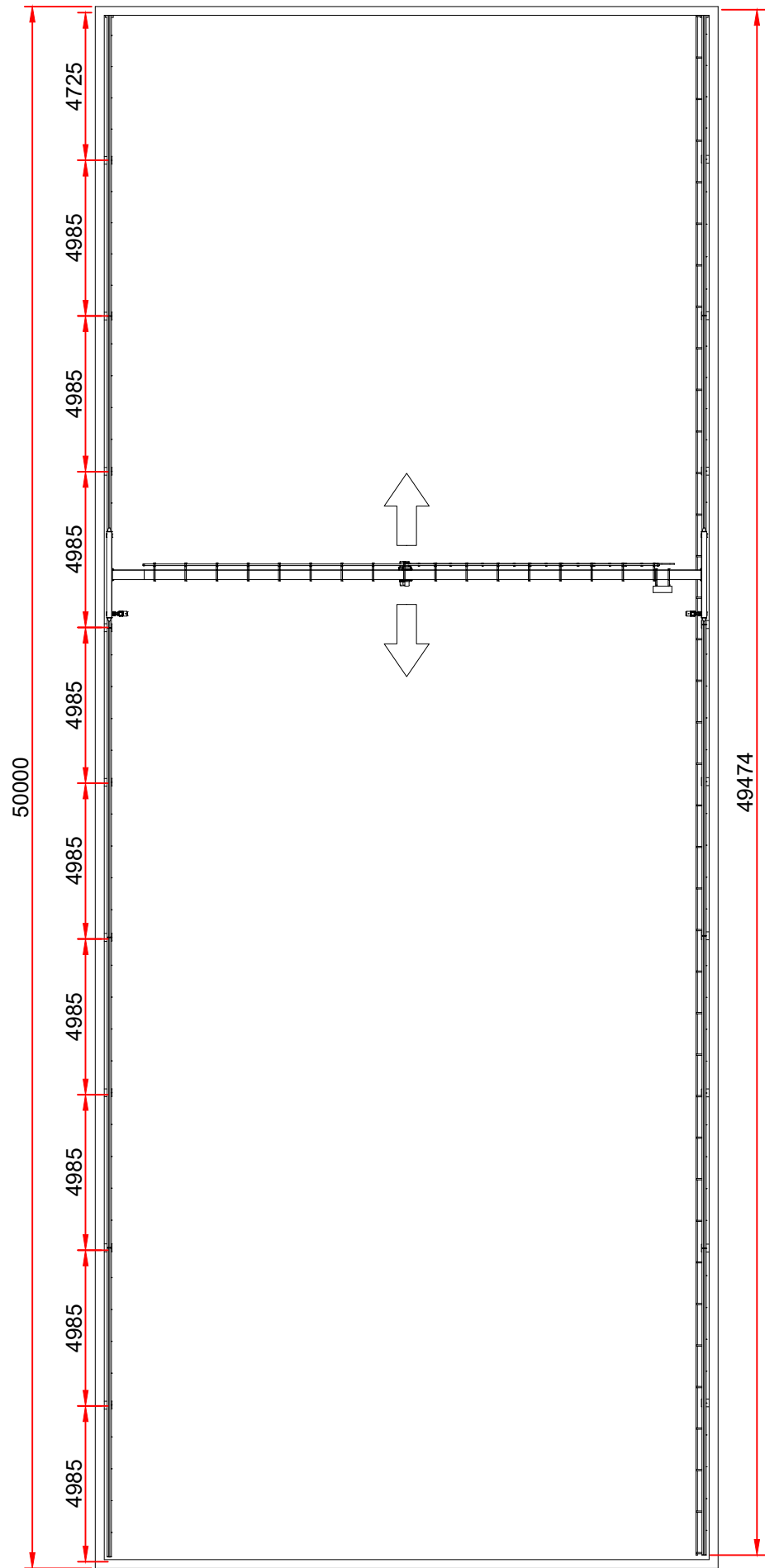
Detalhe 1
Escala (1:20)

Dados Técnicos:

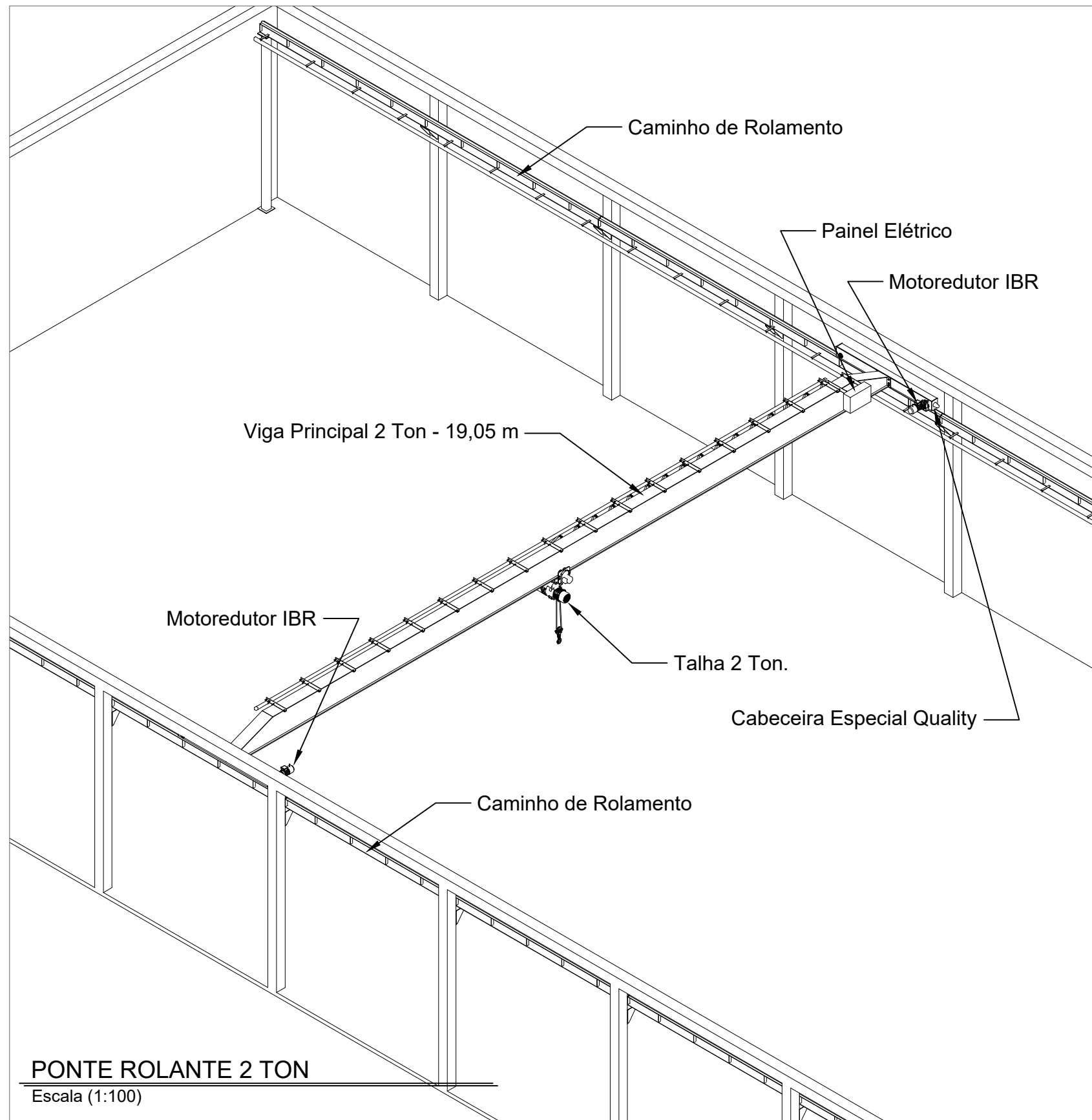
Capacidade da Ponte Rolante..... : 2,0 Ton
Velocidade de Içamento..... : 0,7 ~ 4,2 m/min
Velocidade de Deslocamento Lateral..... : 4,0 ~ 24,0 m/min
Velocidade de Deslocamento..... : 25 e 7,6 m/min
Peso Total da Ponte sem Talha..... : 3000 Kg
Comprimento do Caminho de Rolamento.. : 49,30 m
Vão..... : 19,05 m

02			
01			
00	17/12/25	Eduardo	Emissão inicial
REV.	DATA	DES.	DESCRICAO

	CLIENTE: QUALITY Caxias do Sul / RS	
	TÍTULO: Ponte Rolante 2 Ton	
DESENHISTA: EDUARDO W.	ENGENHEIRO RESPONSÁVEL: LUÍS EDUARDO WIECHORECK CREA 2211066380	
DATA: 17/12/2025	NÚMERO DO PROJETO: PR 25 12 108	
REVISADO:	FOLHA: 1/3	



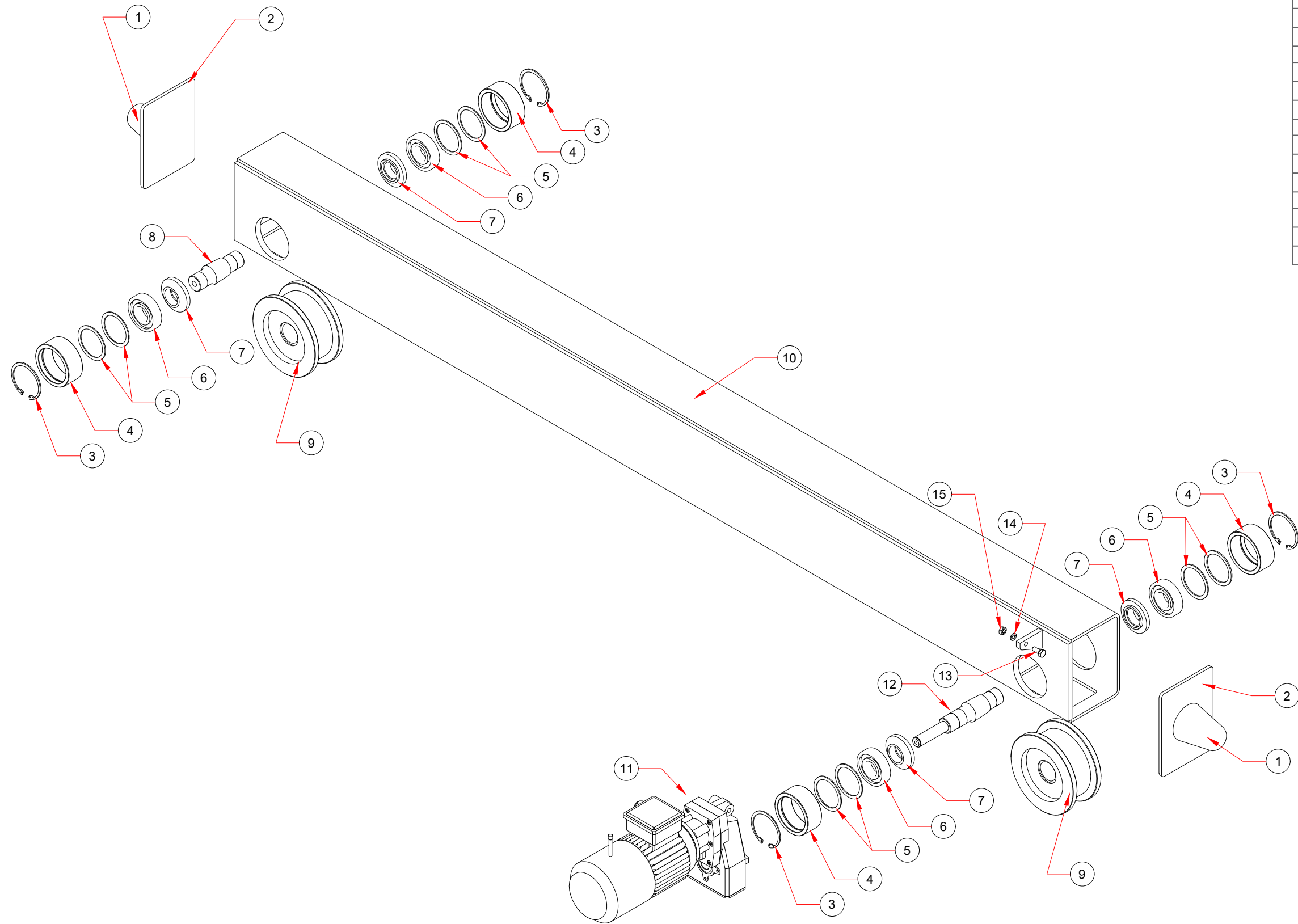
ALOCÇÃO PONTE ROLANTE 2 TON
Escala (1:60)



PONTE ROLANTE 2 TON
Escala (1:100)

02			
01			
00	17/12/25	Eduardo	Emissão inicial
REV.	DATA	DES.	DESCRICAO

	CLIENTE: QUALITY Caxias do Sul / RS	
	TÍTULO: Ponte Rolante 2 Ton	
DESENHISTA: EDUARDO W.		ENGENHEIRO RESPONSÁVEL: LUÍS EDUARDO WIECHORECK CREA 2211066380
DATA: 17/12/2025		NÚMERO DO PROJETO: PR 25 12 108
REVISADO:		FOLHA: 2/3



Item	Descrição
01	Batente
02	Chapa Batente
03	Anel Elástico
04	Bucha
05	Calço
06	Rolamento de Esferas SKF - 6308
07	Bucha de Aluminio
08	Eixo Livre
09	Roda Cabeceira
10	Perfil Cabeceira
11	Moto Redutor
12	Eixo Tração
13	Parafuso M10
14	Arruela de Pressão 11
15	Porca M10

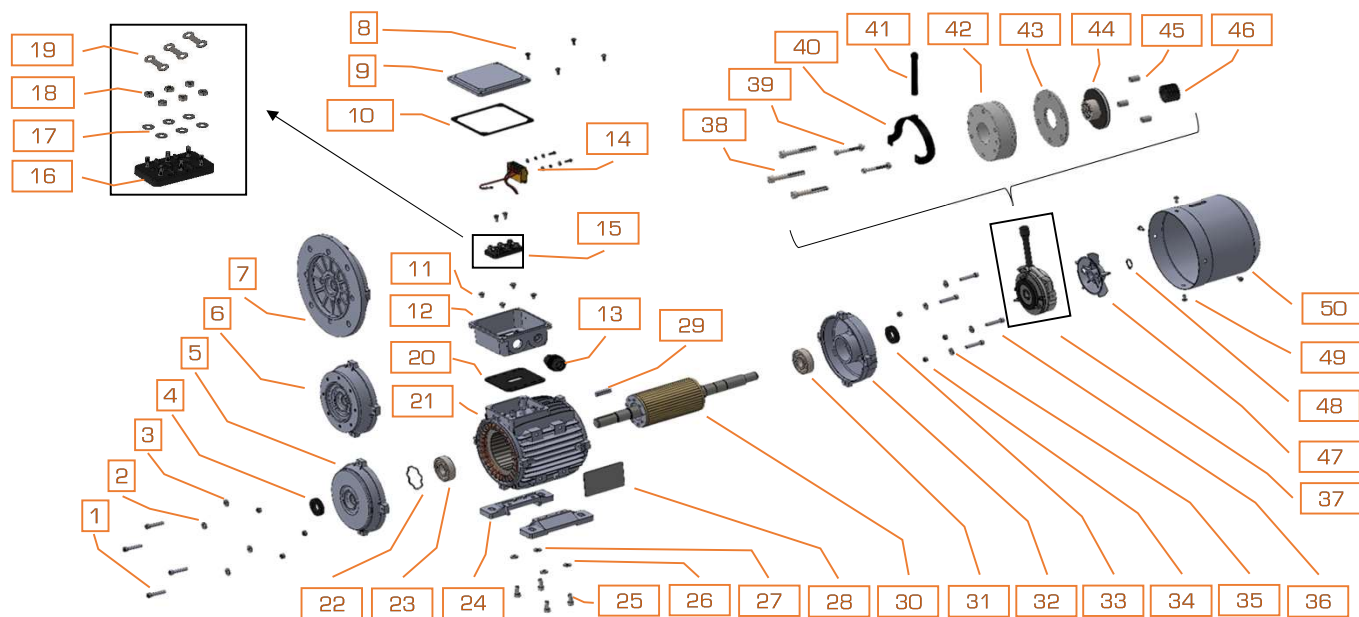
MONTAGEM CABECEIRA PONTE ROLANTE 2 ton

Escala (1:10)

02			
01			
00	17/12/25	Eduardo	Emissão inicial
REV.	DATA	DES.	DESCRICAO

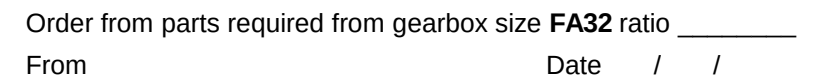
	CLIENTE:		QUALITY	
			Caxias do Sul / RS	
		TÍTULO:		Ponte Rolante 2 Ton
DESENHISTA: EDUARDO W.		ENGENHEIRO RESPONSÁVEL:		
DATA: 17/12/2025		LUÍS EDUARDO WIECHORECK		CREA 2211066380
REVISADO:		NÚMERO DO PROJETO:		FOLHA:
		PR 25 12 108		3/3

VISTA EXPLODIDA MOTOR TRIFÁSICO IBR T3A COM FREIO – COMPONENTES



NUMERO	DESCRIÇÃO
1	PARAFUSO DE FIXAÇÃO DA TAMPA/FLANGE DE SAÍDA PARA MOTOFREIO IBR T3A
2	ARRUELA DO PARAFUSO DE FIXAÇÃO DA TAMPA/FLANGE DE SAÍDA PARA MOTOFREIO IBR T3A
3	PORCA DO PARAFUSO DE FIXAÇÃO DA TAMPA/FLANGE DE SAÍDA PARA MOTOFREIO IBR T3A
4	RETENTOR DIANTEIRO PARA MOTOFREIO IBR T3A
5	TAMPA B3 PARA MOTOFREIO IBR T3A
6	FLANGE B14 (C-DIN) PARA MOTOFREIO IBR T3A
7	FLANGE B5 (FF) PARA MOTOFREIO IBR T3A
8	PARAFUSO DE FIXAÇÃO DA TAMPA DA CAIXA DE LIGAÇÃO PARA MOTOFREIO IBR T3A
9	TAMPA DA CAIXA DE LIGACAO PARA MOTOFREIO IBR T3A
10	JUNTA SUPERIOR DA CAIXA DE LIGAÇÃO PARA MOTOFREIO IBR T3A
11	PARAFUSO DE FIXAÇÃO DA CAIXA DE LIGAÇÃO PARA MOTOFREIO IBR T3A
12	CAIXA DE LIGACAO PARA MOTOFREIO IBR T3A
13	PRENSA CABO PARA MOTOFREIO IBR T3A
14	PONTE RETIFICADORA PARA MOTOFREIO IBR T3A
15	PLACA BORNE PARA MOTOFREIO IBR T3A
16	PLACA BORNE PARA MOTOFREIO IBR T3A
17	ARRUELA DA PLACA BORNE PARA MOTOFREIO IBR T3A
18	PORCA DO TERMINAL DA PLACA BORNE PARA MOTOFREIO IBR T3A
19	JUMPER DA PLACA BORNE PARA MOTOFREIO IBR T3A
20	JUNTA INFERIOR DA CAIXA DE LIGAÇÃO PARA MOTOFREIO IBR T3A
21	ESTATOR/CARCAÇA PARA MOTOFREIO IBR T3A
22	ANEL ESPAÇADOR ONDULADO PARA MOTOFREIO IBR T3A
23	ROLAMENTO DIANTEIRO PARA MOTOFREIO IBR T3A
24	PES PARA MOTOFREIO IBR T3A (PAR)
25	PARAFUSO DE FIXAÇÃO DOS PES PARA MOTOFREIO IBR T3A
26	ARRUELA DO PARAFUSO DE FIXAÇÃO DOS PES PARA MOTOFREIO IBR T3A
27	PORCA DO PARAFUSO DE FIXAÇÃO DOS PES PARA MOTOFREIO IBR T3A
28	PLAQUETA DE IDENTIFICAÇÃO PARA MOTOFREIO IBR T3A
29	CHAVETA DO EIXO PARA MOTOFREIO IBR T3A

30	ROTOR PARA MOTOFREIO IBR T3A
31	ROLAMENTO TRASEIRO PARA MOTOFREIO IBR T3A
32	TAMPA TRASEIRA PARA MOTOFREIO IBR T3A
33	RETENTOR TRASEIRO PARA MOTOFREIO IBR T3A
34	ARRUELA DO PARAFUSO DE FIXAÇÃO DA TAMPA TRASEIRA PARA MOTOFREIO IBR T3A
35	PORCA DO PARAFUSO DE FIXAÇÃO DA TAMPA TRASEIRA PARA MOTOFREIO IBR T3A
36	PARAFUSO DE FIXAÇÃO DA TAMPA TRASEIRA PARA MOTOFREIO IBR T3A
37	KIT - FREIO PARA MOTOR T3A
38	PARAFUSO DE FIXAÇÃO DO FREIO PARA MOTOFREIO T3A
39	PARAFUSO DE AJUSTE DO FREIO PARA MOTOFREIO T3A
40	SUPORTE DA ALAVANCA DE DESTRAVE DO FREIO PARA MOTOFREIO T3A
41	ALAVANCA DE DESTRAVE DO FREIO PARA MOTOFREIO IBR T3A
42	ELETROÍMA (BOBINA DE FREIO) DO FREIO PARA MOTOFREIO IBR T3A
43	ARMADURA DO FREIO PARA MOTOFREIO IBR T3A
44	MONODISCO DE DUPLA LONA DO REIO PARA MOTOFREIO IBR T3A
45	ESPAÇADORES DO FREIO PARA MOTOFREIO IBR T3A
46	ACOPLAMENTO CHAVETA/ESTRIA DO FREIO PARA MOTOFREIO IBR T3A
47	VENTILADOR PARA MOTOFREIO IBR T3A
48	ANEL ELÁSTICO DO EIXO PARA MOTOFREIO IBR T3A
49	PARAFUSO DE FIXAÇÃO DA TAMPA DEFLETORA (CALOTA) PARA MOTOFREIO IBR T3
50	TAMPA DEFLETORA (CALOTA) PARA MOTOFREIO IBR T3A
	PINTURA PADRÃO IBR PARA MOTOFREIO IBR T3A
	PINTURA ANTICORROSIVA PARA MOTOFREIO IBR T3A



Parts	Q.ty	Description

2026



SIAOTECH

Relatório Conformidade Mecânica

QUALITY MARMORES E GRANITOS LTDA

Caxias do Sul/RS

Ponte Rolante 2 TON – 19 metros

	REV. 00	REV. 01	REV. 02	REV. 03	REV. 04	REV. 05
DATA	20/01/2026					
ELABORADOR	Luís Eduardo Wiechoreck					



SUMÁRIO

IDENTIFICAÇÃO DA CONTRATANTE.....	3
IDENTIFICAÇÃO DO LOCAL DO SERVIÇO	3
RESPONSÁVEL TÉCNICO	3
OBJETIVO	4
ESCOPO	4
REFERÊNCIA NORMATIVA.....	4
DIMENSIONAMENTO.....	5
Verificação da Viga Principal.....	6
Verificação da Viga da Cabeceira	18
Caminho de Rolamento.....	27
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	49

IDENTIFICAÇÃO DA CONTRATANTE**QUALITY IND. E COM. DE MARMORES E GRANITOS LTDA.****CNPJ:** 07.768.197/0001-52**IDENTIFICAÇÃO DO LOCAL DO SERVIÇO****QUALITY IND. E COM. DE MARMORES E GRANITOS LTDA.****CNPJ:** 07.768.197/0001-52**ENDEREÇO DA OBRA:**

Rua Jacob Luchesi, 1907 – Santa Lúcia

Cidade: Caxias do Sul - RS

CEP 95032-000

RESPONSÁVEL TÉCNICO

Luís Eduardo Wiechoreck

*Engenheiro Mecânico**Engenheiro de Segurança do Trabalho*

CREA RS2211066380

SISTEMA: PR 25 12 108 - QUALITY - Ponte Rolante 2 Ton 19 metros**ART Nr.:** 14212818

OBJETIVO

Este relatório foi desenvolvido com o objetivo de evidenciar a conformidade mecânica em uma ponte rolante fabricada e instalada na empresa Quality em Caxias do Sul.

ESCOPO

Fazem parte deste relatório uma ponte rolante com capacidade de 2 toneladas e 50 metros de caminho de rolamento.

REFERÊNCIA NORMATIVA

NBR 8400:2019 - Equipamentos de elevação e movimentação de carga — Regras para projeto

NBR 8800:2024 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios

NBR 14762:2010 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio

ASTM A36 - Standard specification for carbon structural steel

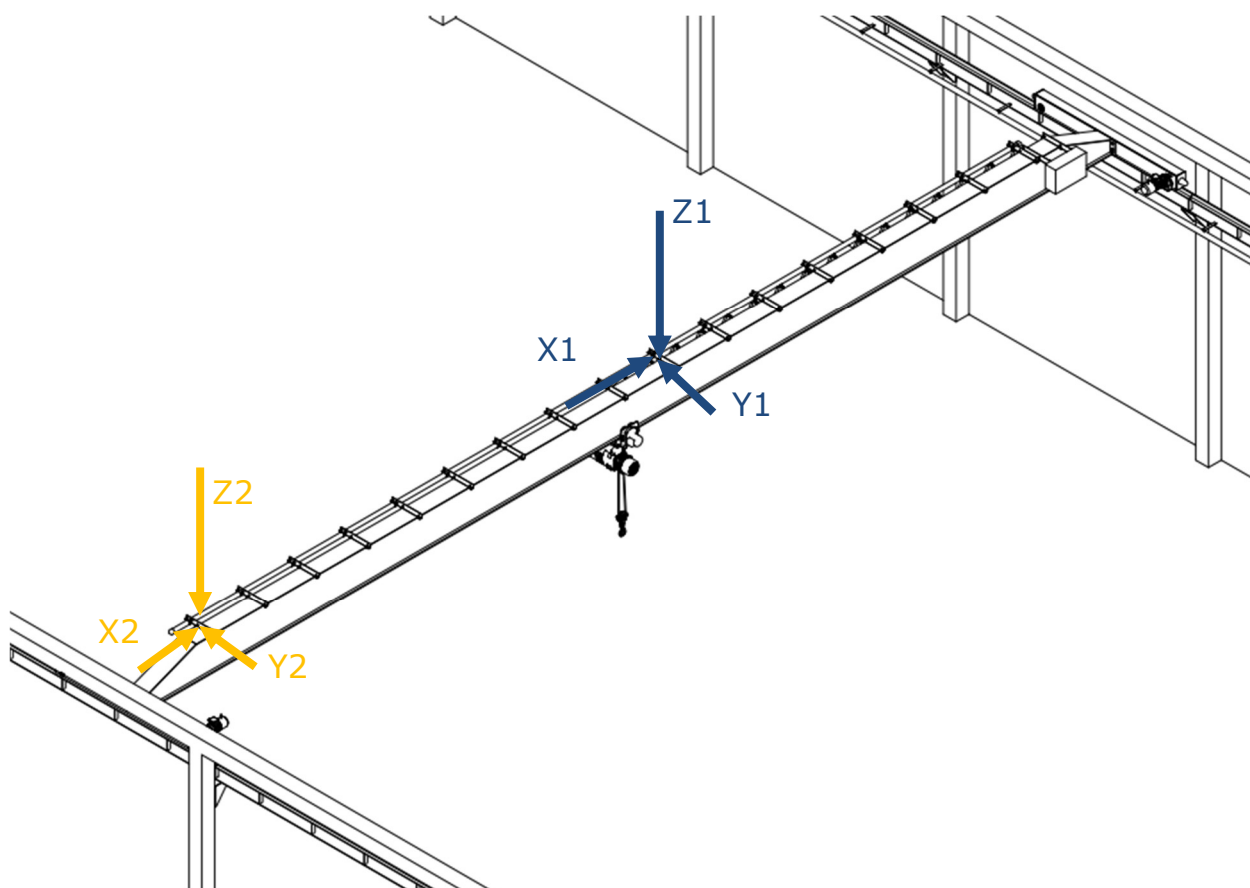
ASTM A572 - Standard specification for high-strength low-alloy columbium-vanadium structural steel

ISO 2553 - Welding and allied processes – Symbolic representation on drawings – Welded joints

ISO 22986 - Cranes – Stiffness – Bridge and gantry cranes

DIMENSIONAMENTO

Desenho esquemático de elementos estruturais:



Classificação do equipamento:

Grupo do equipamento: A4

Classe de elevação: HC3

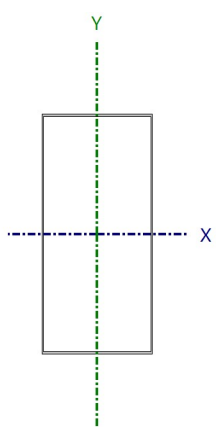
Valor de carga principal considerando coeficiente dinâmico e de amplificação = 27,9 KN

Valores de carga horizontais em função de aceleração ao longo da viga e rotação da mesma (estimado em considerando velocidade baixa/moderada menor que 0,25 m/s e aceleração em $0,078 \text{ m/s}^2$) = 2 KN

Tensão admissível de projeto = 166,7 Mpa (escolhido menor valor entre tensão admissível com relação ao limite elástico e tensão admissível de projeto em relação a fadiga – conforme NBR 8400)

Para verificação, as cargas serão inseridas ao longo do trilho e a condição mais desfavorável para cada elemento será considerada.

Verificação da Viga Principal
Perfil: 650 X 300 X 19 X 9.5 x 6.4 mm
Material: Aço (A36 - Tensão de Projeto (166,7 MPa))



Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N1	N2	19.050	137.14	85053.05	21553.29	53710.34
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme						
	Flambagem		Flambagem lateral			
	Plano ZX		Plano ZY		Aba sup.	Aba inf.
β	1.00		1.00		1.00	1.00
L _K	19.050		19.050		19.050	19.050
C _b	-		1.000			
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _b : Fator de modificação para o momento crítico						

Barra	VERIFICAÇÕES										Estado
	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	NM _x M _y	T	NMVT	σ τ f	
N1/N2	x: 0 m η = 0.1	x: 9.526 m η = 0.1	x: 9.525 m η = 44.4	x: 9.525 m η = 6.2	x: 0 m η = 0.4	x: 0 m η = 6.6	x: 9.526 m η = 50.6	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	PASSA η = 50.6
Notação: N _t : Resistência à tração N _c : Resistência à compressão M _x : Resistência à flexão eixo X M _y : Resistência à flexão eixo Y V _x : Resistência ao esforço cortante X V _y : Resistência ao esforço cortante Y NM _x M _y : Resistência ao esforço axial e flexão combinados T: Resistência à torção NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante σ τ f: Resistência a interações de esforços e momento de torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.A.: Não aplicável											
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.): ⁽¹⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor. ⁽²⁾ Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária. ⁽³⁾ Não há interação entre o momento torsor, os dois momentos fletores e os dois esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.											

Resistência à tração

Deve satisfazer:

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

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações PP+X2.

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

N_{t,Sd} : 2.00 kN

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

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{2078.25} \text{ kN}$$

Onde:

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{137.14} \text{ cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

Resistência à compressão

Deve satisfazer:

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

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 9.526 m do nó N1, para a combinação de ações PP+X1.

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

$$N_{c,Sd} : \underline{1.00} \text{ kN}$$

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

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A_{ef} f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{831.77} \text{ kN}$$

Onde:

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

$$\chi : \underline{0.442}$$

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

$$A_{ef} : \underline{124.14} \text{ cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

Fator de redução χ :

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

$$\chi : \underline{0.442}$$

Onde:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido.

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

$$\lambda_0 : \underline{1.396}$$

Sendo:

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{137.14} \text{ cm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

N_e : Força axial de flambagem elástica.

$$N_e : \underline{1172.34} \text{ kN}$$

Área efetiva da seção transversal.

$$A_{ef} = A_g - \sum ((b - b_{ef}) t)$$

$$A_{ef} : \underline{124.14} \text{ cm}^2$$

Mesa: Elemento do Grupo 2 da Tabela 4.

$$\frac{b}{t} > \frac{(b/t)_{lim}}{\sqrt{\chi}}$$

$$100.36 > 77.62$$

b_{ef}: Largura efetiva do elemento.

$$b_{ef} : \underline{534.98} \text{ mm}$$

$$b_{ef} = b \left(1 - c_1 \sqrt{\frac{\sigma_{el}}{\chi f_y}} \right) \sqrt{\frac{\sigma_{el}}{\chi f_y}}$$

Onde:

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

$$(b/t) : \underline{100.36}$$

b: Largura.

$$b : \underline{637.30} \text{ mm}$$

t: Espessura.

$$t : \underline{6.35} \text{ mm}$$

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

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

$$(b/t)_{lim} : \underline{77.62}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

σ_{el}: Tensão de flambagem local.

$$\sigma_{el} : \underline{83.95} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{el} = \left(c_2 \frac{(b/t)_{lim}}{b/t} \right)^2 f_y$$

C₁: Factor para cálculo de flambagem local (Tabela 5).

$$C_1 : \underline{0.20}$$

C₂: Factor para cálculo de flambagem local (Tabela 5).

$$C_2 : \underline{1.38}$$

Mesa: Elemento do Grupo 2 da Tabela 4.

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

$$29.58 \leq 77.62$$

b_{ef}: Largura efetiva do elemento.

$$b_{ef} : \underline{281.00} \text{ mm}$$

$$b_{ef} = b$$

Onde:

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

$$(b/t) : \underline{29.58}$$

b: Largura.

$$b : \underline{281.00} \text{ mm}$$

t: Espessura.

$$t : \underline{9.50} \text{ mm}$$

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

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

$$(b/t)_{lim} : \underline{77.62}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

Força axial de flambagem elástica:

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):

$$N_e : \underline{1172.34} \text{ kN}$$

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

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

$$N_{ex} : \underline{4626.26} \text{ kN}$$

Onde:

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

$$L_x : \underline{19.050} \text{ m}$$

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

$$I_x : \underline{85053.05} \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

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

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

$$N_{ey} : \underline{1172.34} \text{ kN}$$

Onde:

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

$$L_y : \underline{19.050} \text{ m}$$

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

$$I_y : \underline{21553.29} \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

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

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

$$N_{ez} : \underline{532010.53} \text{ kN}$$

Onde:

L_z: Comprimento de flambagem por torção.

$$L_z : \underline{19.050} \text{ m}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

C_w: Constante de empenamento da seção transversal.

$$C_w : \underline{0.00} \text{ cm}^6$$

G: Módulo de elasticidade transversal do aço.

$$G : \underline{77000} \text{ MPa}$$

J: Constante de torção da seção transversal.

$$J : \underline{53710.34} \text{ cm}^4$$

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

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

$$r_0 : \underline{27.88} \text{ cm}$$

Onde:

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

$$r_x : \underline{24.90} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{12.54} \text{ cm}$$

X₀, Y₀: Coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos principais X, Y, respectivamente.

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

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

Resistência à flexão eixo X

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.444} \quad \checkmark$$

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 9.525 m do nó N1, para a combinação de ações 1.3·PP+Z1.

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

$$\mathbf{M_{sd}^{+}} : \underline{196.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Já que ' $\lambda \leq \lambda_r$ ', deve-se considerar viga de alma não-esbelta

$$\mathbf{99.37 \leq 197.43}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{99.37}$$

Sendo:

h: Altura da parte plana das almas.

$$\mathbf{h} : \underline{631.00} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$\mathbf{t_w} : \underline{6.35} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_r : \underline{197.43}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$\mathbf{E} : \underline{200000} \text{ MPa}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

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:

$$\mathbf{M_{Rd}} : \underline{442.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo

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

$$\mathbf{M_{Rd}} : \underline{594.90} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\mathbf{W_x} : \underline{2617.02} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

(b) Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT

$$\lambda > \lambda_p$$

$$\mathbf{151.96 > 137.01}$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$\mathbf{151.96 \leq 3554.89}$$

$$\mathbf{M_{Rd}} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \cdot \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right]$$

$$\mathbf{M_{Rd}} : \underline{467.38} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{151.96}$$

Sendo:

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

$$L_{b,sup} : \underline{19.050} \text{ m}$$

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

$$r_y : \underline{12.54} \text{ cm}$$

$$\lambda_p = \frac{0.13 \cdot E}{M_{pl}} \cdot \sqrt{J \cdot A}$$

$$\lambda_p : \underline{137.01}$$

$$\lambda_r = \frac{2.00 \cdot E}{M_r} \cdot \sqrt{J \cdot A}$$

$$\lambda_r : \underline{3554.89}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

J: Constante de torção da seção transversal.

$$J : \underline{53710.34} \text{ cm}^4$$

A: Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{137.14} \text{ cm}^2$$

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

$$M_{pl} : \underline{515.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \underline{3089.59} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

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

$$M_r : \underline{305.38} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Sendo:

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

$$W_x : \underline{2617.02} \text{ cm}^3$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

$$\sigma_r : \underline{50.01} \text{ MPa}$$

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

$$C_b : \underline{1.00}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

(c) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM:

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$30.24 \leq 38.79$$

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

$$M_{Rd} : \underline{468.21} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{30.24}$$

Sendo:

b_f : Largura da parte plana das mesas.

$$b_f : \underline{287.30} \text{ mm}$$

t_f : Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{9.50} \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 1.12 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_p : \underline{38.79}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$\mathbf{E} : \underline{200000} \text{ MPa}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

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

$$\mathbf{M_{pl}} : \underline{515.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

$$\mathbf{Z_x} : \underline{3089.59} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

(d) Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA

$$\lambda > \lambda_p$$

$$\mathbf{99.37} > \mathbf{83.82}$$

$$\mathbf{M_{Rd}} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \left(0.305 \lambda \sqrt{\frac{f_y}{E}} - 0.738 \right) \right] \leq \frac{1}{\gamma_{a1}} M_{pl}$$

$$\mathbf{M_{Rd}} : \underline{442.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\mathbf{M_{pl}} : \underline{515.03} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

$$\mathbf{Z_x} : \underline{3089.59} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

$$\mathbf{M_r} = W \cdot (f_y - \sigma_r)$$

$$\mathbf{M_r} : \underline{305.38} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Sendo:

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

$$\mathbf{W_x} : \underline{2617.02} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

$$\mathbf{\sigma_r} : \underline{50.01} \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

$$\lambda : \underline{99.37}$$

Sendo:

h: Altura da parte plana das almas.

$$\mathbf{h} : \underline{631.00} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$\mathbf{t_w} : \underline{6.35} \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 2.42 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_p : \underline{83.82}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$\mathbf{E} : \underline{200000} \text{ MPa}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço. f_y : 166.70 MPa**Resistência à flexão eixo Y**

Deve satisfazer:

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

 η : 0.062 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 9.525 m do nó N1, para a combinação de ações PP+Y1.

 M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. M_{Sd} : 9.53 kN·mJá que ' $\lambda \leq \lambda_r$ ', deve-se considerar viga de alma não-esbelta**30.24 ≤ 197.43**

Onde:

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

 λ : 30.24

Sendo:

 h : Altura da parte plana das almas. h : 287.30 mm t_w : Espessura da alma. t_w : 9.50 mm

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

 λ_r : 197.43

Sendo:

 E : Módulo de elasticidade do aço. E : 200000 MPa f_y : Resistência ao escoamento do aço. f_y : 166.70 MPa

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} : 154.87 kN·m

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo

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

 M_{Rd} : 326.63 kN·m

Onde:

 W_y : Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. W_y : 1436.89 cm³ f_y : Resistência ao escoamento do aço. f_y : 166.70 MPa γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material. γ_{a1} : 1.10

(b) Estado-limite último de flambagem lateral com torção, FLT

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

(c) Estado-limite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM

$$\lambda > \lambda_r$$

99.37 > 51.61 M_{Rd} : 154.87 kN·m

$$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} f_y W_{ef}$$

Onde:

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

$$\lambda : 99.37$$

Sendo:

b_f: Largura da parte plana das mesas.

$$b_f : 631.00 \text{ mm}$$

t_f: Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : 6.35 \text{ mm}$$

$$\lambda_r = 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_r : 51.61$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : 166.70 \text{ MPa}$$

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 σ igual a f_y.

$$W_{ef,y} : 1021.92 \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : 166.70 \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : 1.10$$

(d) Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA

$$\lambda > \lambda_p$$

$$30.24 > 83.82$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$30.24 \leq 197.43$$

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

$$M_{Rd} : 243.10 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$M_{pl} : 267.41 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

Z_y: Módulo de resistência plástico.

$$Z_y : 1604.11 \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : 166.70 \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : 1.10$$

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

$$\lambda : 30.24$$

Sendo:

h: Altura da parte plana das almas.

$$h : 287.30 \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : 9.50 \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 2.42 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_p : 83.82$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.70 MPa

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

λ_r : 197.43

Sendo:

E : Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.70 MPa

Resistência ao esforço cortante X

Deve satisfazer:

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

η : 0.004 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações PP+Y2.

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

V_{Sd} : 2.00 kN

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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

30.24 ≤ 85.20

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

V_{Rd} : 496.34 kN

Onde:

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

λ : 30.24

Sendo:

b_f : Largura da parte plana das mesas.

b_f : 287.30 mm

t_f : Espessura das mesas.

t_f : 9.50 mm

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

λ_p : 85.20

Sendo:

k_v : Coeficiente de flambagem.

k_v : 5.00

E : Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 166.70 MPa

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

V_{pl} : 545.98 kN

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = 2 \cdot b_f \cdot t_f$$

A_w : 54.59 cm²

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

Resistência ao esforço cortante Y

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.066} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações 1.3·PP+Z2.

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

$$\mathbf{V_{Sd}} : \underline{41.15} \text{ kN}$$

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

$$\lambda > \lambda_p$$

$$\mathbf{99.37 > 85.20}$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$\mathbf{99.37 \leq 106.11}$$

$$\mathbf{V_{Rd}} = \frac{\lambda_p}{\lambda} \cdot \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$\mathbf{V_{Rd}} : \underline{624.74} \text{ kN}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{99.37}$$

Sendo:

h: Altura da parte plana das almas.

$$\mathbf{h} : \underline{631.00} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$\mathbf{t_w} : \underline{6.35} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_p : \underline{85.20}$$

$$\lambda_r = 1.37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}}$$

$$\lambda_r : \underline{106.11}$$

Sendo:

k_v: Coeficiente de flambagem.

$$\mathbf{k_v} : \underline{5.00}$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$\mathbf{E} : \underline{200000} \text{ MPa}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{166.70} \text{ MPa}$$

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

$$\mathbf{V_{pl}} : \underline{801.53} \text{ kN}$$

Sendo:

A_w: Área efetiva ao cisalhamento.

$$\mathbf{A_w} = 2 \cdot h \cdot t_w$$

$$\mathbf{A_w} : \underline{80.14} \text{ cm}^2$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

Resistência ao esforço axial e flexão combinados

Deve satisfazer:

$$\eta \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.506} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 9.526 m do nó N1, para a combinação de ações 1.3·PP+Z1+X1+Y1.

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

$$\mathbf{N_{c,Sd}} : \underline{1.00} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{M_{x,Sd}^+} : \underline{196.09} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$\mathbf{M_{y,Sd}^-} : \underline{9.52} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$\mathbf{0.001} < \mathbf{0.200}$$

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

$$\eta : \underline{0.506}$$

Onde:

N_{c,Rd}: Força axial resistente de cálculo de compressão

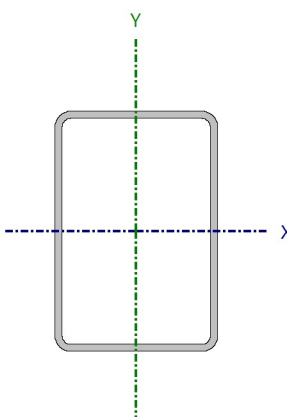
$$\mathbf{N_{c,Rd}} : \underline{831.77} \text{ kN}$$

M_{x,Rd}, M_{y,Rd}: Momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos X e Y da seção transversal

$$\mathbf{M_{x,Rd}} : \underline{442.10} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{M_{y,Rd}} : \underline{154.87} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Verificação da Viga da Cabeceira
Perfil: 236 X 160 X 7.9 mm
Material: Aço (A-36)



Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N1	N3	2.500	58.43	4466.61	2447.31	5113.06
Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme						
	Flambagem		Flambagem lateral			
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
β	1.00	1.00	1.00	1.00		
L _k	2.500	2.500	2.500	2.500		
C _m	-	-	1.000	1.000		
C _b	-		1.000			
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _k : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos C _b : Fator de modificação para o momento crítico						

Barra	VERIFICAÇÕES											Estado
	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _y	N _t M _x M _y	M _t	
N1/N3	x: 0 m η = 0.1	x: 1.251 m η = 0.1	x: 1.25 m η = 29.5	x: 1.25 m η = 1.7	η = 0.3	x: 0 m η = 4.7	x: 1.25 m η = 8.9	x: 1.249 m η < 0.1	x: 1.251 m η = 31.3	x: 1.25 m η = 31.3	M _{t,Sd} = 0.00 N.A. ⁽¹⁾	PASSA η = 31.3
Notação: N _t : Resistência à tração N _c : Resistência à compressão M _x : Resistência à flexão eixo X M _y : Resistência à flexão eixo Y V _x : Resistência ao esforço cortante X V _y : Resistência ao esforço cortante Y M _x V _y : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados M _y V _x : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados N _c M _x M _y : Resistência à flexo-compressão N _t M _x M _y : Resistência à flexo-tração M _t : Resistência à torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.A.: Não aplicável												
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.): ⁽¹⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.												

Resistência à tração

Deve satisfazer:

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

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações PP+X2.

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

N_{t,Sd} : 1.00 kN

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

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

$$N_{t,Rd} : 1380.99 \text{ kN}$$

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : 58.43 \text{ cm}^2$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : 260.00 \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

Resistência à compressão

Deve satisfazer:

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

$$\eta : 0.001 \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 1.251 m do nó N1, para a combinação de ações PP+X2.

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

$$N_{c,Sd} : 1.00 \text{ kN}$$

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

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

$$N_{c,Rd} : 1165.94 \text{ kN}$$

Onde:

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

$$A_{ef} : 58.43 \text{ cm}^2$$

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

$$\chi_{xx} : 0.96$$

$$\chi_{yy} : 0.92$$

$$\chi_{zz} : 1.00$$

Sendo:

λ₀: Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0, xx} : 0.33$$

$$\lambda_{0, yy} : 0.44$$

$$\lambda_{0, zz} : 0.07$$

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

Sendo:

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

A: Área bruta da seção transversal da barra.

A : 58.43 cm²

f_y: Tensão de escoamento.

f_y : 260.00 MPa

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.2

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

N_e : 7729.27 kN

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

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

N_{ex} : 14106.79 kN

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

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

N_{ey} : 7729.27 kN

c) Força normal de flambagem elástica por torção.

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

N_{ez} : 332535.38 kN

Onde:

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

I_x : 4466.61 cm⁴

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

I_y : 2447.31 cm⁴

I_t: Momento de inércia à torção uniforme.

I_t : 5113.06 cm⁴

C_w: Constante de empenamento da seção.

C_w : 6116.86 cm⁶

E: Módulo de elasticidade.

E : 200000 MPa

G: Módulo de elasticidade transversal.

G : 76923 MPa

K_xL_x: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

K_xL_x : 2.500 m

K_yL_y: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

K_yL_y : 2.500 m

K_zL_z: Comprimento efetivo de flambagem por torção.

K_zL_z : 2.500 m

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

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

r₀ : 10.88 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 : 8.74 cm

r_y : 6.47 cm

x₀ : 0.00 mm

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

y_0 : 0.00 mm

Resistência à flexão eixo X

Deve satisfazer:

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

η : 0.295 ✓

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável M_{Sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 1.250 m do nó N1, para a combinação de hipóteses 1.1·PP+Z2.

M_{Sd} : 26.39 kN·m

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

M_{Rd} : 89.47 kN·m

a) Início de escoamento da seção efetiva

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

M_{Rd} : 89.47 kN·m

Onde:

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

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

W_{ef} : 378.53 cm³

f_y : 260.00 MPa

γ : 1.1

b) Flambagem lateral com torção

$$M_{Rd} = \chi_{FLT} W_{c,ef} f_y / \gamma$$

M_{Rd} : 89.47 kN·m

Onde:

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

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

$W_{c,ef}$: 378.53 cm³

f_y : 260.00 MPa

γ : 1.1

$$^{(1)}\lambda_0 \leq 0.6 \rightarrow \chi_{FLT} = 1$$

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

$$^{(2)}0.6 < \lambda_0 < 1.336 \rightarrow \chi_{FLT} = 1.11(1 - 0.278\lambda_0^2)$$

$$^{(3)}\lambda_0 \geq 1.336 \rightarrow \chi_{FLT} = 1/\lambda_0^2$$

Sendo:

$$\lambda_0 = (W_c f_y / M_e)^{0.5}$$

$$\lambda_0 : \underline{0.13}$$

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

$$\mathbf{W_c} : \underline{378.53} \text{ cm}^3$$

O momento fletor de flambagem lateral com torção **M_e**, em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seccão fechada (caixão), sujeitas à flexão em torno do eixo X:

$$M_e = C_b (N_{ey} G I_t)^{0.5}$$

$$\mathbf{M_e} : \underline{5513.64} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

C_b: Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

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

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

$$\mathbf{N_{ey}} : \underline{7729.27} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{I_y} : \underline{2447.31} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inércia à torção uniforme.

$$\mathbf{I_t} : \underline{5113.06} \text{ cm}^4$$

E: Módulo de elasticidade.

$$\mathbf{E} : \underline{200000} \text{ MPa}$$

G: Módulo de elasticidade transversal.

$$\mathbf{G} : \underline{76923} \text{ MPa}$$

K_yL_y: Comprimento efetivo de flambagem lateral.

$$\mathbf{K_y L_y} : \underline{2.500} \text{ m}$$

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

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

$$\mathbf{r_0} : \underline{10.88} \text{ cm}$$

Sendo:

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

$$\mathbf{r_x} : \underline{8.74} \text{ cm}$$

$$\mathbf{r_y} : \underline{6.47} \text{ cm}$$

x₀, y₀: Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$\mathbf{x_0} : \underline{0.00} \text{ mm}$$

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

Resistência à flexão eixo Y

Deve satisfazer:

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

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

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável M_{Sd} produz-se num ponto situado a uma distância de 1.250 m do nó N1, para a combinação de hipóteses PP+Y2.

$$M_{Sd} : 1.25 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 72.31 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

Onde:

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

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 305.91 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 260.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

Resistência ao esforço cortante X

Deve satisfazer:

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

$$\eta : 0.003 \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável V_{Sd} produz-se para a combinação de hipóteses PP+Y2.

$$V_{Sd} : 1.00 \text{ kN}$$

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

$$V_{Sd} : 0.50 \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 143.85 \text{ kN}$$

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

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

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

$$h/t : 16.25$$

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

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

Onde:

t : Espessura da alma.

$$t : 7.90 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

h : 128.40 mm

f_y: Tensão de escoamento.

f_y : 260.00 MPa

E: Módulo de elasticidade.

E : 200000 MPa

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.1

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

K_v : 5.00

k_v = 5.00

Resistência ao esforço cortante Y

Deve satisfazer:

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

η : 0.047 ✓

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **V_{Sd}** produz-se no nó N1, para a combinação de hipóteses 1.1·PP+Z2.

V_{Sd} : 21.42 kN

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} : 10.71 kN

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

(¹)V_{Rd} : 229.00 kN

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

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

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

h/t : 25.87

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

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

Onde:

t: Espessura da alma.

t : 7.90 mm

h: Largura da alma.

h : 204.40 mm

f_y: Tensão de escoamento.

f_y : 260.00 MPa

E: Módulo de elasticidade.

E : 200000 MPa

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.1

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

K_v : 5.00

k_v = 5.00

Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} produzem-se num ponto situado a uma distância 1.250 m do nó N1, para a combinação de hipóteses 1.1·PP+Z2.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

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

$$\eta : \underline{0.089} \quad \checkmark$$

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : \underline{26.39} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{0,Rd} : \underline{89.47} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : \underline{20.80} \text{ kN}$$

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

$$V_{Rd} : \underline{458.00} \text{ kN}$$

Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} produzem-se num ponto situado a uma distância 1.249 m do nó N1, para a combinação de hipóteses PP+Y2.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

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

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

Onde:

M_{Sd} : Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : \underline{1.25} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{0,Rd} : \underline{72.31} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : \underline{1.00} \text{ kN}$$

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

$$V_{Rd} : \underline{287.71} \text{ kN}$$

Resistência à flexo-compressão

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância 1.251 m do nó N1, para a combinação de hipóteses 1.1·PP+Z2+X2+Y2.

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

$$\eta : \underline{0.313} \quad \checkmark$$

Onde:

N_{c,Sd}: Força normal de compressão solicitante de cálculo.**M_{x,Sd}, M_{y,Sd}**: Momentos flettores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.**N_{c,Rd}**: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.**M_{x,Rd}, M_{y,Rd}**: Momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.**N_{c,Sd}** : 1.00 kN**M_{x,Sd}** : 26.37 kN·m**M_{y,Sd}** : 1.25 kN·m**N_{c,Rd}** : 1165.94 kN**M_{x,Rd}** : 89.47 kN·m**M_{y,Rd}** : 72.31 kN·m**Resistência à flexo-tração**

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância de 1.250 m do nó N1, para a combinação de hipóteses 1.1·PP+Z2+X2+Y2.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

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

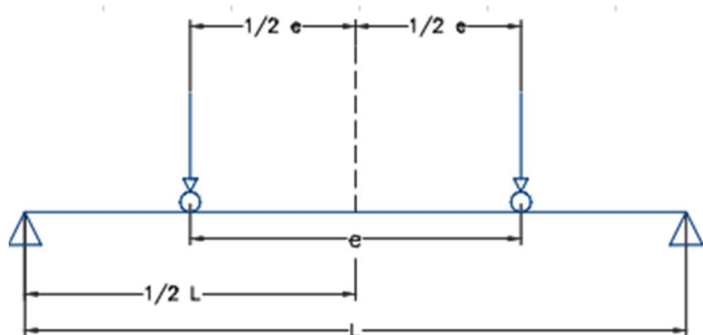
 η : 0.313 ✓

Onde:

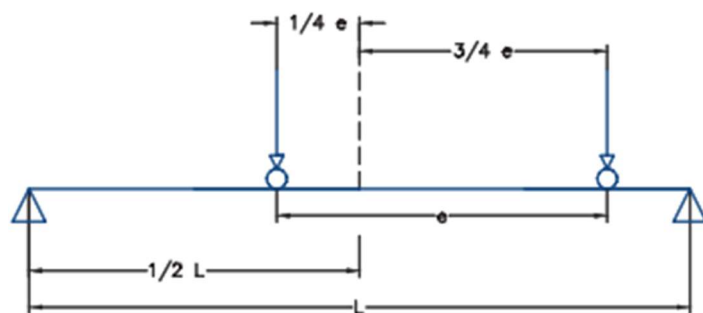
N_{t,Sd}: Força normal de tração solicitante de cálculo.**M_{x,Sd}, M_{y,Sd}**: Momentos flettores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.**N_{Rd}**: Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6.**M_{x,Rd}, M_{y,Rd}**: Momentos flettores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.**N_{t,Sd}** : 1.00 kN**M_{x,Sd}** : 26.39 kN·m**M_{y,Sd}** : 1.25 kN·m**N_{Rd}** : 1380.99 kN**M_{x,Rd}** : 89.47 kN·m**M_{y,Rd}** : 72.31 kN·m

Caminho de Rolamento

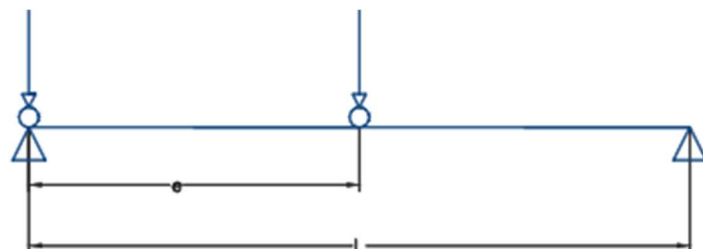
As vigas de rolamento foram verificadas com carregamento em 3 posições distintas:



Posição das rodas da cabeceira no vão da viga de rolamento para maior deformação.



Posição das rodas da cabeceira no vão da viga de rolamento para maior flexão.



Posição das rodas da cabeceira no vão da viga de rolamento para maior esforço cortante.

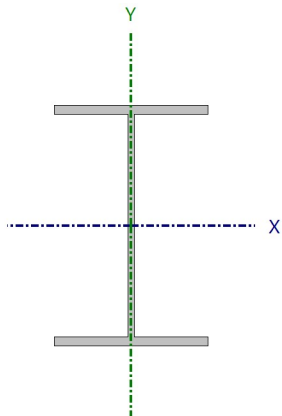
A seguir é apresentado a verificação que exigiu do perfil.

Perfil Viga de Rolamento

Barra N5/N6

Perfil: W200X26.6

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	5.000	33.90	2580.00	332.00	7.16
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme						
	Flambagem		Flambagem lateral			
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
β	0.50	0.50	0.50	0.50		
L _K	2.500	2.500	2.500	2.500		
C _b	-		1.000			
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _b : Fator de modificação para o momento crítico						

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2024)											Estado
	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	NM _x M _y	T	NMVT	σ τ f	
N5/N6	x: 3.751 m λ ≤ 200.0 Passa	x: 0 m η = 0.3	x: 3.751 m η = 0.5	x: 3.75 m η = 47.8	x: 3.75 m η = 13.8	x: 0 m η = 0.8	x: 0 m η = 15.8	x: 3.751 m η = 61.7	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	PASSA η = 61.7
Notação: λ: Limitação do índice de esbeltez N _t : Resistência à tração N _c : Resistência à compressão M _x : Resistência à flexão eixo X M _y : Resistência à flexão eixo Y V _x : Resistência ao esforço cortante X V _y : Resistência ao esforço cortante Y NM _x M _y : Resistência ao esforço axial e flexão combinados T: Resistência à torção NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante σ τ f: Resistência a interações de esforços e momento de torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.A.: Não aplicável												
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.): ⁽¹⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor. ⁽²⁾ Não há interação entre a força axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária. ⁽³⁾ Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.												

Limitação do índice de esbeltez (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.3.7)

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.

$$\lambda \leq 200$$

$$\lambda : \underline{79.9} \quad \checkmark$$

Onde:

λ: Índice de esbeltez.

$$\lambda_x : \underline{28.7}$$

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

$$\lambda_y : 79.9$$

Sendo:

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

$$L_x : 2.500 \text{ m}$$

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

$$L_y : 2.500 \text{ m}$$

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

$$r_x : 8.72 \text{ cm}$$

$$r_y : 3.13 \text{ cm}$$

Resistência à tração (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.2)

Deve satisfazer:

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

$$\eta : 0.003 \checkmark$$

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

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

$$N_{t,Sd} : 3.00 \text{ kN}$$

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

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{t,Rd} : 1063.23 \text{ kN}$$

Onde:

 A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : 33.90 \text{ cm}^2$$

 f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : 345.00 \text{ MPa}$$

 γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : 1.10$$

Resistência à compressão (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.3)

Deve satisfazer:

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

$$\eta : 0.005 \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 3.751 m do nó N5, para a combinação de ações PP+1.5·SCUX.

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

$$N_{c,Sd} : 3.00 \text{ kN}$$

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

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A_{ef} f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{c,Rd} : 666.62 \text{ kN}$$

Onde:

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

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

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

$$\chi : \underline{0.627}$$

$$A_{ef} : \underline{33.90} \text{ cm}^2$$

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

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

Fator de redução χ : (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.3.3)

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

$$\chi : \underline{0.627}$$

Onde:

λ_0 : Índice de esbeltez reduzido.

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

$$\lambda_0 : \underline{1.056}$$

Sendo:

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

N_e : Força axial de flambagem elástica.

$$A_g : \underline{33.90} \text{ cm}^2$$

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$N_e : \underline{1048.55} \text{ kN}$$

Área efetiva da seção transversal. (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.3.4)

$$A_{ef} = A_g - \sum ((b - b_{ef}) t)$$

$$A_{ef} : \underline{33.90} \text{ cm}^2$$

Alma: Elemento do Grupo 2 da Tabela 4.

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

$$\mathbf{32.58 \leq 45.31}$$

b_{ef} : Largura efetiva do elemento.

$$b_{ef} : \underline{190.24} \text{ mm}$$

$$b_{ef} = b$$

Onde:

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

b : Largura.

t : Espessura.

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

$$(b/t) : \underline{32.58}$$

$$b : \underline{190.24} \text{ mm}$$

$$t : \underline{5.84} \text{ mm}$$

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

$$(b/t)_{lim} : \underline{45.31}$$

E : Módulo de elasticidade do aço.

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

Mesa: Elemento do Grupo 4 da Tabela 4.

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

$$\mathbf{7.94 \leq 17.03}$$

b_{ef} : Largura efetiva do elemento.

$$b_{ef} : \underline{66.50} \text{ mm}$$

$$b_{ef} = b$$

Onde:

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

b: Largura.

t: Espessura.

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

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

E: Módulo de elasticidade do aço.

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

(b/t) : 7.94

b : 66.50 mm

t : 8.38 mm

(b/t)_{lim} : 17.03

E : 200000 MPa

f_y : 345.00 MPa

Força axial de flambagem elástica: (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.3.5)

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 : 1048.55 kN

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

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

N_{ex} : 8148.35 kN

Onde:

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

L_x : 2.500 m

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

I_x : 2580.00 cm⁴

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

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

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

N_{ey} : 1048.55 kN

Onde:

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

L_y : 2.500 m

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

I_y : 332.00 cm⁴

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

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

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

N_{ez} : 1847.78 kN

Onde:

L_z: Comprimento de flambagem por torção.

L_z : 2.500 m

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

C_w: Constante de empenamento da seção transversal.

C_w : 32800.00 cm⁶

G: Módulo de elasticidade transversal do aço.

G : 77000 MPa

J: Constante de torção da seção transversal.

J : 7.16 cm⁴

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

$$r_o = \sqrt{(r_x^2 + r_y^2 + x_o^2 + y_o^2)}$$

$$r_o : \underline{9.27} \text{ cm}$$

Onde:

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

$$r_x : \underline{8.72} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{3.13} \text{ cm}$$

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

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

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

Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.4.2)

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.478} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 3.750 m do nó N5, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·SCUZ.

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

$$M_{sd}^+ : \underline{35.21} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Já que ' $\lambda \leq \lambda_r$ ', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2024, Anexo D).

$$32.58 \leq 137.24$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{32.58}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{190.24} \text{ mm}$$

t_w : Espessura da alma.

$$t_w : \underline{5.84} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_r : \underline{137.24}$$

Sendo:

E : Módulo de elasticidade do aço.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{73.71} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.4.2.2):

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

$$M_{Rd} : \underline{117.27} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

$$W_x : \underline{249.28} \text{ cm}^3$$

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 345.00 MPa

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

(b) Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT (ABNT NBR 8800:2024, Anexo D):

$$\lambda > \lambda_p$$

$$79.89 > 42.38$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$79.89 \leq 131.52$$

$$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \cdot \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right]$$

$$M_{Rd} : 73.71 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : 79.89$$

Sendo:

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

$$L_{b,sup} : 2.500 \text{ m}$$

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

$$r_y : 3.13 \text{ cm}$$

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

$$\lambda_p : 42.38$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : 345.00 \text{ MPa}$$

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

$$\lambda_r : 131.52$$

Sendo:

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

$$I_y : 332.00 \text{ cm}^4$$

J: Constante de torção da seção transversal.

$$J : 7.16 \text{ cm}^4$$

C_w: Constante de empenamento da seção transversal.

$$C_w : 32800.00 \text{ cm}^6$$

$$\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r) W_x}{EJ} \leq \frac{f_y W_t}{EJ}$$

$$\beta_1 : 0.042 \text{ cm}^{-1}$$

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

$$M_{pl} : 96.26 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : 279.00 \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : 345.00 \text{ MPa}$$

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

$$M_r : 60.20 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Sendo:

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

$$\mathbf{W_x} : \underline{249.28} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

$$\sigma_r : \underline{103.50} \text{ MPa}$$

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

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

(c) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2024, Anexo D):

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$\mathbf{7.94 \leq 9.15}$$

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

$$\mathbf{M_{Rd}} : \underline{87.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{7.94}$$

Sendo:

b_f: Largura da mesa comprimida.

$$\mathbf{b_f} : \underline{133.00} \text{ mm}$$

t_f: Espessura da mesa comprimida.

$$\mathbf{t_f} : \underline{8.38} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_p : \underline{9.15}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$\mathbf{E} : \underline{200000} \text{ MPa}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

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

$$\mathbf{M_{pl}} : \underline{96.26} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

$$\mathbf{Z_x} : \underline{279.00} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$\mathbf{f_y} : \underline{345.00} \text{ MPa}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

(d) Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA (ABNT NBR 8800:2024, Anexo D):

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$\mathbf{32.58 \leq 90.53}$$

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

$$\mathbf{M_{Rd}} : \underline{87.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{32.58}$$

Sendo:

h: Altura da alma, tomada igual à distância entre as faces internas das mesas.**h** : 190.24 mm**t_w**: Espessura da alma.**t_w** : 5.84 mm

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

λ_p : 90.53

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.**E** : 200000 MPa**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 345.00 MPa

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

M_{pl} : 96.26 kN·m

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.**Z_x** : 279.00 cm³**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 345.00 MPa**γ_{a1}**: Coeficiente de segurança do material.**γ_{a1}** : 1.10**Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.4.2)

Deve satisfazer:

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

η : 0.138 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 3.750 m do nó N5, para a combinação de ações PP+1.5·SCUY.

M_{sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.**M_{sd}** : 3.23 kN·m

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

M_{Rd} : 23.49 kN·m

(a) Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.4.2.2):

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

M_{Rd} : 23.49 kN·m

Onde:

W_y: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.**W_y** : 49.92 cm³**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 345.00 MPa**γ_{a1}**: Coeficiente de segurança do material.**γ_{a1}** : 1.10

(b) Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2024, Anexo D):

$$\lambda \leq \lambda_p$$

7.94 ≤ **9.15****M_{Rd}** : 23.96 kN·m

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

Onde:

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

$$\lambda : \underline{7.94}$$

Sendo:

b_f: Largura da mesa comprimida.

b_f : 133.00 mm

t_f: Espessura da mesa comprimida.

t_f : 8.38 mm

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

$$\lambda_p : \underline{9.15}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 200000 MPa

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 345.00 MPa

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

M_{pl} : 26.36 kN·m

Onde:

Z_y: Módulo de resistência plástico.

Z_y : 76.40 cm³

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 345.00 MPa

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.4.3)

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.008} \quad \checkmark$$

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

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

V_{Sd} : 3.41 kN

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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$\underline{7.94} \leq \underline{29.01}$$

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

V_{Rd} : 419.47 kN

Onde:

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

$$\lambda : \underline{7.94}$$

Sendo:

b_f: Largura das mesas.

b_f : 133.00 mm

t_f: Espessura das mesas.

t_f : 8.38 mm

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

$$\lambda_p : 29.01$$

Sendo:

k_v: Coeficiente de flambagem.

$$k_v : 1.20$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : 345.00 \text{ MPa}$$

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

$$V_{pl} : 461.42 \text{ kN}$$

Sendo:

A_w: Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = 2 \cdot b_f \cdot t_f$$

$$A_w : 22.29 \text{ cm}^2$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

$$\gamma_{a1} : 1.10$$

Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.4.3)

Deve satisfazer:

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

$$\eta : 0.158 \checkmark$$

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

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

$$V_{Sd} : 35.94 \text{ kN}$$

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

$$\lambda \leq \lambda_p$$

$$32.58 \leq 61.20$$

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

$$V_{Rd} : 227.49 \text{ kN}$$

Onde:

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

$$\lambda : 32.58$$

Sendo:

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

$$h : 190.24 \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : 5.84 \text{ mm}$$

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

$$\lambda_p : 61.20$$

Sendo:

k_v: Coeficiente de flambagem.

$$k_v : 5.34$$

E: Módulo de elasticidade do aço.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço. f_y : 345.00 MPa

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

 V_{pl} : 250.24 kN

Sendo:

 A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = d \cdot t_w$$

 A_w : 12.09 cm² d : Altura total da seção transversal. d : 207.00 mm γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material. γ_{a1} : 1.10**Resistência ao esforço axial e flexão combinados** (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.5.1.2)

Deve satisfazer:

$$\eta \leq 1$$

 η : 0.617 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 3.751 m do nó N5, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·SCUZ+1.5·SCUX+1.5·SCUY.

 $N_{c,Sd}$: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável. $N_{c,Sd}$: 3.00 kN $M_{x,Sd}$: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. $M_{x,Sd}^+$: 35.18 kN·m $M_{y,Sd}$: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. $M_{y,Sd}^-$: 3.23 kN·m

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

$$0.005 < 0.200$$

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

 η : 0.617

Onde:

 $N_{c,Rd}$: Força axial resistente de cálculo de compressão (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.3). $N_{c,Rd}$: 666.62 kN $M_{x,Rd}, M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos X e Y da seção transversal (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.4.2). $M_{x,Rd}$: 73.71 kN·m $M_{y,Rd}$: 23.49 kN·m**Resistência à torção** (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.5.2.1)

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

Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.5.2.2)

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

Coluna do Caminho de Rolamento
Perfil: 200X100X3 mm
Material: Aço (A-36)

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)		
N11	N7	4.395	17.40	923.55	317.90	754.26		
Notas: (1) Inércia em relação ao eixo indicado (2) Momento de inércia à torção uniforme								
	Flambagem		Flambagem lateral					
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.				
β	0.63	0.70	0.50	0.50				
L _K	2.749	3.077	2.198	2.198				
C _m	-	-	1.000	1.000				
C _b	-		1.000					
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _m : Coeficiente de momentos C _b : Fator de modificação para o momento crítico								

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x V _y	M _y V _x	N _c M _x M _y	N _t M _x M _y	M _t	
N11/N7	(b _w /t) ≤ 500 (b _w /t) ≤ 500 Passa	λ _{xx} ≤ 200.0 λ _{yy} ≤ 200.0 Passa	x: 4.395 m η = 0.1	x: 0 m η = 18.4	x: 0 m η = 38.5	x: 4.395 m η = 26.6	η = 1.8	η = 1.2	x: 0 m η = 14.8	x: 4.395 m η = 7.1	x: 0 m η = 71.1	x: 4.395 m η = 24.1	η = 5.9	PASSA η = 71.1
Notação: b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura λ: Limitação de esbeltez N_t: Resistência à tração N_c: Resistência à compressão M_x: Resistência à flexão eixo X M_y: Resistência à flexão eixo Y V_x: Resistência ao esforço cortante X V_y: Resistência ao esforço cortante Y M_xV_y: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados M_yV_x: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados N_cM_xM_y: Resistência à flexo-compressão N_tM_xM_y: Resistência à flexo-tração M_t: Resistência à torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%)														

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

Elemento: Alma

Em elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

$$(b/t) \leq 500$$

$$(b/t) : \underline{63} \quad \checkmark$$

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

t: A espessura.

$$b : \underline{188.00} \text{ mm}$$

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

Elemento: Alma

Em elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 500.

$$(b/t) \leq 500$$

$$(b/t) : \underline{29} \quad \checkmark$$

Sendo:

b: Comprimento do elemento.

b : 88.00 mm

t: A espessura.

t : 3.00 mm

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

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

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

$$\lambda_{xx} : \underline{42.2} \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : \underline{64.3} \quad \checkmark$$

Onde:

K_xL_x: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. **K_xL_x** : 3.077 m**K_yL_y**: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. **K_yL_y** : 2.749 m**r_x**: Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X. **r_x** : 7.28 cm**r_y**: Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y. **r_y** : 4.27 cm**Resistência à tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

Deve satisfazer:

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

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N7, para a combinação de ações PP+1.5·SCUX.

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

N_{t,Sd} : 0.30 kN

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

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

N_{t,Rd} : 395.52 kN

Onde:

A: Área bruta da seção transversal da barra.
f_y: Tensão de escoamento.
γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

A : 17.40 cm²
f_y : 250.00 MPa
γ : 1.1

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

Deve satisfazer:

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

η : 0.184 ✓

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N11, para a combinação de ações 1.25·PP+1.5·SCUZ.

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

N_{c,Sd} : 45.02 kN

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

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

N_{c,Rd} : 245.01 kN

Onde:

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

A_{ef} : 14.64 cm²

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

χ_{xx} : 0.91

χ_{yy} : 0.80

χ_{zz} : 1.00

Sendo:

λ₀: Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

λ_{0, xx} : 0.48

λ_{0, yy} : 0.72

λ_{0, zz} : 0.07

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

Sendo:

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

A: Área bruta da seção transversal da barra.

A : 17.40 cm²

f_y: Tensão de escoamento.

f_y : 250.00 MPa

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

γ : 1.2

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

N_e : 830.22 kN

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

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

N_{ex} : 1926.08 kN

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

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

N_{ey} : 830.22 kN

c) Força normal de flambagem elástica por torção.

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

N_{ez} : 81422.83 kN

Onde:

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

I_x : 923.55 cm⁴

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

I_y : 317.90 cm⁴

I_t: Momento de inércia à torção uniforme.

I_t : 754.26 cm⁴

C_w: Constante de empenamento da seção.

C_w : 1566.17 cm⁶

E: Módulo de elasticidade.

E : 200000 MPa

G: Módulo de elasticidade transversal.

G : 76923 MPa

K_xL_x: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

K_xL_x : 3.077 m

K_yL_y: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

K_yL_y : 2.749 m

K_zL_z: Comprimento efetivo de flambagem por torção.

K_zL_z : 2.198 m

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

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

r₀ : 8.45 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 : 7.28 cm

r_y : 4.27 cm

x₀, y₀: Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

x₀ : 0.00 mm

y₀ : 0.00 mm

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

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.385} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo M_{Sd} é obtido para o nó N11, para a combinação de hipóteses PP+1.5·SCUY.

$$M_{Sd} : \underline{8.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{20.99} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{Rd} : \underline{20.99} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{92.35} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

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

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$$M_{Rd} = \chi_{FLT} W_{c,ef} f_y / \gamma$$

$$M_{Rd} : \underline{20.99} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

$$W_{c,ef} : \underline{92.35} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

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

$$^{(1)} \lambda_0 \leq 0.6 \rightarrow \chi_{FLT} = 1$$

$$^{(2)} 0.6 < \lambda_0 < 1.336 \rightarrow \chi_{FLT} = 1.11 \left(1 - 0.278 \lambda_0^2 \right)$$

$$^{(3)} \lambda_0 \geq 1.336 \rightarrow \chi_{FLT} = 1 / \lambda_0^2$$

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

Sendo:

$$\lambda_0 = \left(W_c f_y / M_e \right)^{0.5}$$

$$\lambda_0 : \underline{0.16}$$

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

W_c : 92.35 cm³

O momento fletor de flambagem lateral com torção **M_e**, em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seccão fechada (caixão), sujeitas à flexão em torno do eixo X:

$$M_e = C_b (N_{ey} G I_t)^{0.5}$$

M_e : 868.31 kN·m

Onde:

C_b: Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

C_b : 1.00

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

N_{ey} : 1299.48 kN

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

I_y : 317.90 cm⁴

I_t: Momento de inércia à torção uniforme.

I_t : 754.26 cm⁴

E: Módulo de elasticidade.

E : 200000 MPa

G: Módulo de elasticidade transversal.

G : 76923 MPa

K_yL_y: Comprimento efetivo de flambagem lateral.

K_yL_y : 2.198 m

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

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

r₀ : 8.45 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 : 7.28 cm

r_y : 4.27 cm

x₀, y₀: Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centroide da seção.

x₀ : 0.00 mm

y₀ : 0.00 mm

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

Deve satisfazer:

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

η : 0.266 ✓

O momento fletor desfavorável de cálculo **M_{Sd}** é obtido para o nó N7, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.5·SCUZ.

M_{Sd} : 2.99 kN·m

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

M_{Rd} : 11.22 kN·m

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

Onde:

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

f_y: Tensão de escoamento.

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : 49.38 \text{ cm}^3$$

$$f_y : 250.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma : 1.1$$

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

Deve satisfazer:

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

$$\eta : 0.018 \checkmark$$

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

$$V_{Sd} : 1.28 \text{ kN}$$

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

$$V_{Sd} : 0.64 \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 36.00 \text{ kN}$$

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

$$1.08(Ek_v/f_y)^{0.5} : 68.31$$

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

$$h/t : 29.33$$

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

$$1.4(Ek_v/f_y)^{0.5} : 88.54$$

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : 3.00 \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : 88.00 \text{ mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : 250.00 \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : 200000 \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

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

$$K_v : 5.00$$

$$k_v = 5.00$$

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

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.012} \quad \checkmark$$

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

$$V_{Sd} : \underline{1.84} \text{ kN}$$

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

$$V_{Sd} : \underline{0.92} \text{ kN}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{76.91} \text{ kN}$$

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

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

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

$$h/t : \underline{62.67}$$

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

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

Onde:

t: Espessura da alma.

$$t : \underline{3.00} \text{ mm}$$

h: Largura da alma.

$$h : \underline{188.00} \text{ mm}$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

E: Módulo de elasticidade.

$$E : \underline{200000} \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

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

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

$$K_v : \underline{5.00}$$

$$k_v = 5.00$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis M_{Sd} e V_{Sd} são obtidos no nó N11, para a combinação de hipóteses PP+1.5·SCUY.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

$$\eta : \underline{0.148} \quad \checkmark$$

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

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

M_{Sd} : 8.08 kN·m

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

M_{0,Rd} : 20.99 kN·m

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Sd} : 1.84 kN

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

V_{Rd} : 153.82 kN

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 N7, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.5·SCUZ.

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação:

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

η : **0.071** ✓

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo.

M_{Sd} : 2.99 kN·m

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

M_{0,Rd} : 11.22 kN·m

V_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

V_{Sd} : 0.98 kN

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

V_{Rd} : 72.00 kN

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N11, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.5·SCUZ+1.5·SCUX+1.5·SCUY.

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

η : **0.711** ✓

Onde:

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

N_{c,Sd} : 44.17 kN

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

M_{x,Sd} : 8.08 kN·m

M_{y,Sd} : 1.64 kN·m

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

N_{c,Rd} : 245.01 kN

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} : 20.99 kN·m

M_{y,Rd} : 11.22 kN·m

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

Os esforços desfavoráveis de cálculo são obtidos no nó N7, para a combinação PP+1.5·SCUX+1.5·SCUY.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

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

$$\eta : \underline{0.241} \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$\mathbf{N_{t,Sd}} : \underline{0.30} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{M_{x,Sd}} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{M_{y,Sd}} : \underline{2.69} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$\mathbf{N_{Rd}} : \underline{395.52} \text{ kN}$$

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

$$\mathbf{M_{x,Rd}} : \underline{20.99} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{M_{y,Rd}} : \underline{11.22} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.059} \quad \checkmark$$

O momento torsor solicitante de cálculo desfavorável **M_{t,Sd}** produz-se para a combinação de hipóteses PP+1.5·SCUY.

$$\mathbf{M_{t,Sd}} : \underline{0.92} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

O momento torsor resistente de cálculo **M_{t,Rd}** é dado por:

$$\mathbf{M_{t,Rd}} = 0.6 f_y W_t / \gamma$$

$$\mathbf{M_{t,Rd}} : \underline{15.62} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Onde:

W_t: módulo de resistência à torção

$$\mathbf{W_t} : \underline{114.55} \text{ cm}^3$$

f_y: Tensão de escoamento.

$$\mathbf{f_y} : \underline{250.00} \text{ MPa}$$

γ: Coeficiente de ponderação das resistências.

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



CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conforme exposto nesse Relatório, os equipamentos aqui descritos se encontram em conformidade e podem ser utilizados para as atividades a que se destinam, não podendo ultrapassar a capacidade de carga estipulada.

Nenhum item do sistema deve ser inserido, retirado ou modificado, sem autorização expressa, o que resultará na invalidação deste relatório.

Atenciosamente,

Luís Eduardo Wiechoreck
Engenheiro Mecânico
Engenheiro de Segurança do Trabalho
CREA RS2211066380



Tipo: OBRA OU SERVIÇO **Participação Técnica:** INDIVIDUAL/PRINCIPAL
Convênio: NÃO É CONVÊNIO **Motivo:** NORMAL

Contratado

Carteira: RS190508 **Profissional:** LUÍS EDUARDO WIECHORECK **E-mail:** eduardowie@gmail.com
RNP: 2211066380 **Título:** Engenheiro Mecânico, Engenheiro de Segurança do Trabalho
Empresa: SIAOTECH EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS COMERCIO INDUSTRIA E SERVICO LTDA **Nr.Reg.:** 266660

Contratante

Nome: SIAOTECH EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS E SERVIÇOS LTDA **E-mail:**
Endereço: Rua JERONIMO DEMORI 1474 **Telefone:** (54) 99192 9494 **CPF/CNPJ:** 43983467000101
Cidade: Caxias do Sul **Bairro:** SÃO LUIZ **CEP:** 95074758 **UF:** RS

Identificação da Obra/Serviço

Proprietário: QUALITY IND. E COM. DE MARMORES E GRANITOS LTDA. **CPF/CNPJ:** 07768197000152
Endereço da Obra/Serviço: Rua JACOB LUCHESI 1907 **CEP:** 95032000 **UF:** RS
Cidade: CAXIAS DO SUL **Bairro:** SANTA LÚCIA **Honorários(R\$):** 0,00
Finalidade: INDUSTRIAL **Vlr Contrato(R\$):** 3.500,00 **Ent.Classe:**
Data Início: 19/01/2026 **Prev.Fim:** 26/01/2026

Atividade Técnica	Descrição da Obra/Serviço	Quantidade	Unid.
Projeto e Execução	Ponte Rolante	1,00	UN
Observações	REF. A PONTE ROLANTE DE 2 TON COM VÃO DE 19,05 METROS.		
Observações	E 50M DE CAMINHO DE ROLAMENTO CONFORME PROJETO PR 25 12 108.		

ART registrada (paga) no CREA-RS em 22/01/2026

Caxias do Sul/RS - 22/01/2026

Local e Data

Declaro serem verdadeiras as informações acima

Luís Eduardo Wiechoreck

LUÍS EDUARDO WIECHORECK

Profissional

De acordo

Rolison Monteiro

SIAOTECH EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS E SERVIÇOS LTDA

Contratante

A AUTENTICIDADE DESTA ART PODE SER CONFIRMADA NO SITE DO CREA-RS, LINK SOCIEDADE - ART CONSULTA.