

**ÍNDICE**

1. OBJETIVO	4
2. CRITÉRIOS DE PROJETO	4
2.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
2.2. PROGRAMA COMPUTACIONAL UTILIZADO	4
2.3. MATERIAIS.....	4
2.4. CARGAS UTILIZADAS NO CÁLCULO	5
2.4.1. COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO DAS CARGAS	5
2.4.2. CARGAS PERMANENTES	6
2.4.3. CARGAS MOVEIS.....	6
2.4.4. FORÇAS HORIZONTAIS	7
3. DIMENSIONAMENTO DA VIGA PRINCIPAL.....	8
3.1. SITUAÇÃO DE PROJETO	8
3.2. COMBINAÇÕES	9
3.3. GEOMETRIA	9
3.3.1. NÓS.....	9
3.3.2. BARRAS.....	10
3.3.2.1. MATERIAIS UTILIZADOS	10
3.3.2.2. DESCRIÇÃO	10
3.3.2.3. CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS	10
4.1. HIPÓTESE DE CÁLCULO – VEÍCULO TIPO TB-450 NO CENTRO DO VÃO.....	11
4.1.1. CARGAS.....	11
4.1.1.1. CARGAS EM BARRAS.....	11
4.1.2. RESULTADOS.....	13
4.1.2.1. NÓS.....	13
4.1.2.1.1. DESLOCAMENTOS.....	13
4.1.2.1.2. REAÇÕES.....	16
4.1.2.2. BARRAS.....	16
4.1.2.2.1. ESFORÇOS	16
4.1.2.2.2. RESISTÊNCIA	17
4.1.2.2.3. FLECHAS.....	21



MEMORIAL DE CÁLCULO

MEMORIALCAL-082025

REV.

0

LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

3 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

4.1.2.2.4.	VERIFICAÇÃO E.L.U. (COMPLETO)	22
4.1.2.2.5.	VERIFICAÇÃO DAS EMENDAS	83
4.1.2.3.	Tabuleiro	107
5	CONCLUSÃO	108



1. OBJETIVO

A presente memória de cálculo tem por objetivo o cálculo da estrutura metálica de uma ponte rodoviária com vão de 30,00m com vigas em perfis de aço laminado. A seção transversal da ponte será composta por 3 vigas espaçadas conforme a figura da seção transversal típica, formando um tabuleiro com 7,50m de largura útil. O tabuleiro será formado por concreto armado com telas soldadas, treliças TG-8L e vergalhões de aço \varnothing 8,00mm sobre forma autoportante trapezoidal de aço galvanizado tipo Steel Deck com espessura de 0,80mm, ligadas aos perfis metálicos através dos conectores de cisalhamento em perfil laminado U de 4". O cálculo do tabuleiro segue as recomendações de carga e armação propostos no Manual Geral para Dimensionamento do fabricante do Steel Deck.

2. CRITÉRIOS DE PROJETO

2.1. Referências Bibliográficas

- ✓ NBR 5884:2013 – Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico;
- ✓ NBR 6120:2019 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações;
- ✓ NBR 6123:2023 – Forças devidas ao vento em edificações;
- ✓ NBR 7187:2021 – Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido;
- ✓ NBR 7188:2024 – Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre;
- ✓ NBR 8681:2004 – Ações e segurança nas estruturas;
- ✓ NBR 8800:2024 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto;
- ✓ NBR 9050:2020 – Acessibilidade a edificações mobiliário, espaços e equipamentos urbanos;
- ✓ NBR 16694:2020 – Projeto de pontes rodoviárias de aço e mistas de aço e concreto;
- ✓ AASHTO – Standard specifications for highway bridges (2024);
- ✓ AWS D1.1 – Código de Soldagem Estrutural – Aço;

2.2. Programa Computacional Utilizado

- ✓ Cype CAD;
- ✓ Autodesk Inventor.

2.3. Materiais

- ✓ Perfis soldados VS série americana: Aço ASTM A572 GR50;
- ✓ Chapas de aço de ligação dos perfis: Aço ASTM 36;
- ✓ Perfis laminados tipo U série americana: Aço ASTM A36;
- ✓ Perfis laminados tipo L série americana (cantoneira): Aço ASTM A36;



- ✓ Parafusos para Ligações Principais: ASTM A325 Galvanizados;
- ✓ Porcas para Ligações Principais: A 194 Galvanizadas;
- ✓ Arruelas para Ligações Principais: F 436 Galvanizadas;
- ✓ Parafusos para Ligações Secundárias: ASTM A307;
- ✓ Porcas para Ligações Secundárias: SAE - 1020: A 563 Grau pesadas;
- ✓ Arruelas para Ligações Secundárias SAE – 1020;
- ✓ Aparelhos de Apoio: Neoprene Fretado;

2.4. Cargas Utilizadas no Cálculo

Para verificação da estrutura foi verificada a seguinte hipóteses de carregamento, sendo:

- ✓ **Hipótese A:** Veículo Tipo TB-450 conforme NBR 7188:2024, no centro do vão de 30,00m.

Para as hipóteses com Veículo Tipo TB-450 de 450 kN, além da carga desse veículo é aplicada na área externa a influência desses uma carga uniformemente distribuída de 5,00 kN/m² correspondente aos demais veículos que trafeguem pela via.

Para as cargas dos Veículos Tipo e cargas uniformemente distribuídas são aplicadas a combinação dos Coeficiente de Impacto Vertical (CIV), Coeficiente de Número de Faixas (CNF) e Coeficiente de Impacto Adicional (CIA), este último atuando apenas nos 5,00m das extremidades das vigas conforme exigido pela NBR 7188:2024.

Foi utilizado o software CypeCAD e Autodesk Inventor para verificação das estruturas.

Os coeficientes de redução das resistências e combinação dos efeitos de majoração das cargas das estruturas metálicas e de estruturas de concreto são considerados diretamente pelo software de cálculo conforme as normas técnicas aplicáveis, NBR 8800:2024 para estruturas metálicas e NBR 6118:2023 para estruturas de concreto.

2.4.1. Coeficientes de ponderação das cargas

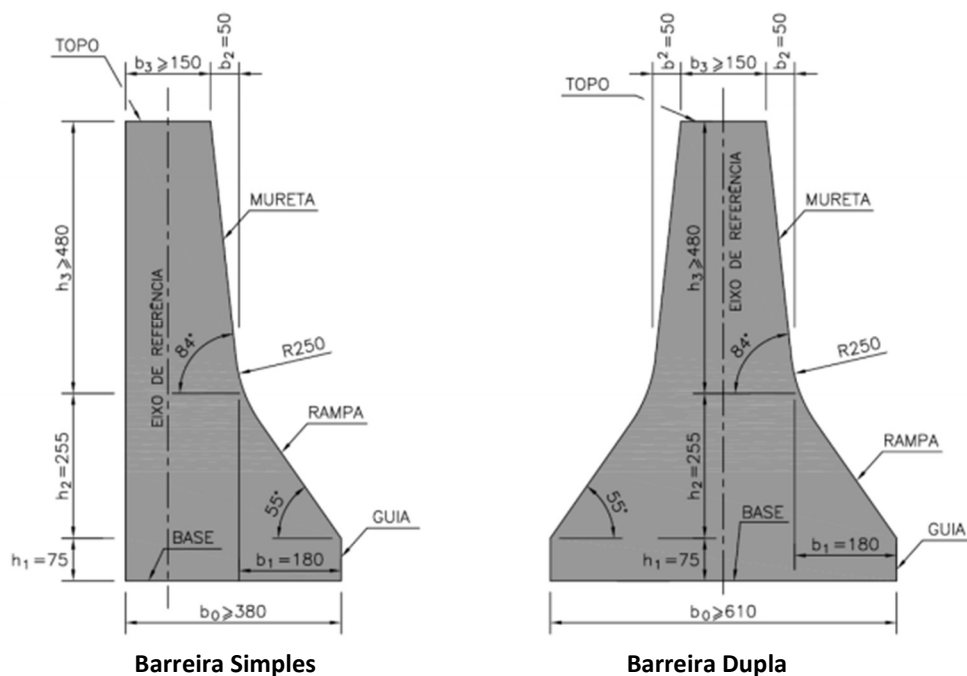
- ✓ Liv = Vão da estrutura = 30,00m
- ✓ N = número de faixas = 2,00
- ✓ Coeficiente de Nº de Faixas (CNF) = $1 - 0,05 \times (n - 2) = 1,00$
- ✓ Coeficiente de Impacto Vertical (CIV) = $1 + 1,06 \times (20,00 / (Liv + 50,00)) \cong 1,265$
- ✓ Coeficiente de Impacto Adicional (CIA) = **1,25**
- ✓ Combinação atuante nos 5,00m de extremidade = CNF x CIV x CIA $\cong 1,581$
- ✓ Combinação atuante no restante da estrutura = CNF x CIV $\cong 1,265$



2.4.2. Cargas permanentes

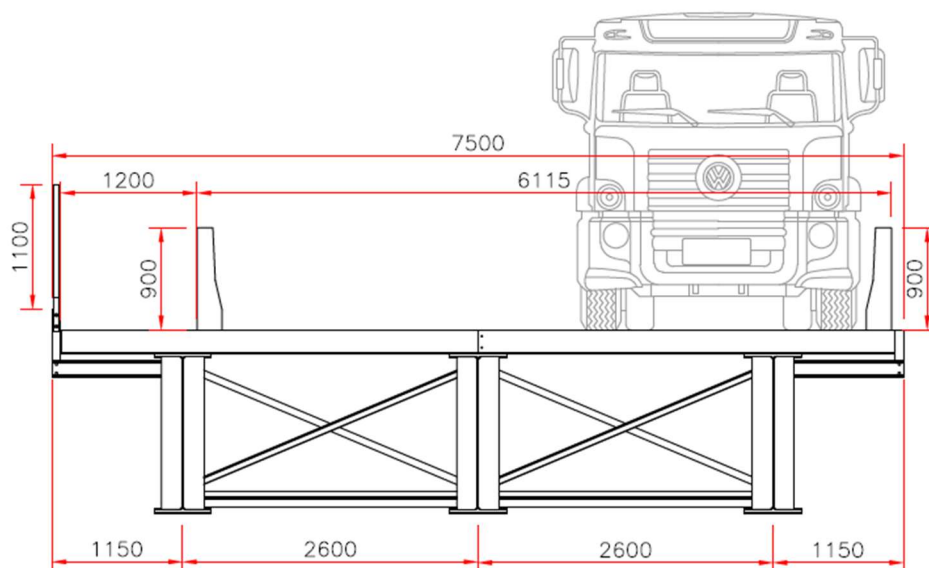
- ✓ O peso próprio da estrutura (vigas e diafragmas) é automaticamente calculado pelo programa. Um fator de 1,05, ou seja, contingência de 5%, foi aplicado com a finalidade de considerar elementos não modelados como, por exemplo, parafusos e pintura.
- ✓ Peso próprio do tabuleiro sobre a viga central por metro = $2,60\text{m} \times 0,17\text{m} \times 25\text{kN/m}^3 = 11,05 \text{ kN/m}$
- ✓ Peso próprio de um guarda corpo $\cong 0,025\text{kN/m}$
- ✓ Peso próprio de um New Jersey sobre a Viga Central por metro = $25\text{kN/m}^3 \times 0,187\text{m}^2 \cong 4,675 \text{ kN/m}$

New Jersey – Padrão DNIT



2.4.3. Cargas moveis

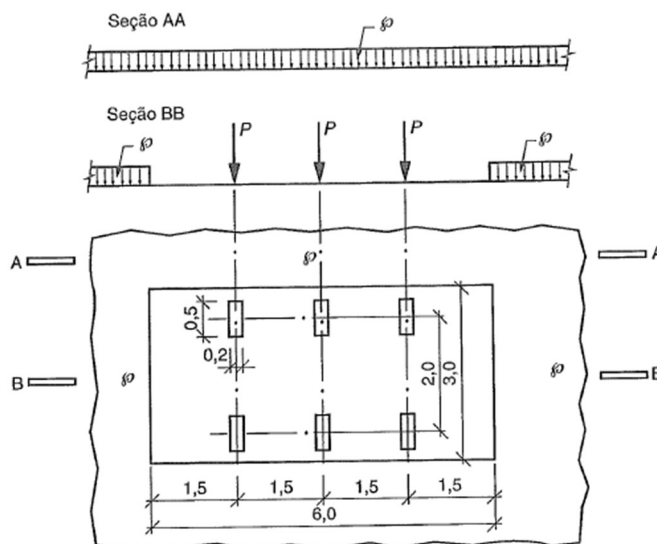
- ✓ Veículo TB450 em cada viga = **75kN por posição**
 - o Centro do vão = $75 \text{ kN} \times \text{CNF} \times \text{CIV} \times \text{CIA} \cong 118,59 \text{ kN por posição}$



ELEVAÇÃO FRONTAL DA MONTAGEM

ESC. 1:50

- ✓ Carga móvel uniformemente distribuída sobre as vigas
 - o Carga móvel acidental = $5kN/m^2 \times 2,60m \times CNF \times CIV \times CIA \cong 20,56 kN/m$
 - o Área sem influência do veículo tipo = $5kN/m^2 \times 2,60m \times CNF \times CIV \cong 16,445 kN/m$
 - o Área lateral ao veículo tipo = $5kN/m^2 \times 0,00m \times CNF \times CIV \times CIA \cong 0,00 kN/m$



Disposição das Cargas Estáticas

2.4.4. Forças horizontais

- ✓ Forças horizontais devido á frenagem e/ou aceleração no nível do pavimento
 - o $H_f = 0,25 \times B \times L \times CNF$



Onde:

$$H_f \geq 135\text{kN}$$

B = Largura efetiva da carga distribuída (m)

L = Comprimento concomitante da carga distribuída (m)

o $H_f = 0,25 \times 7,50\text{m} \times 30,00\text{m} \times 1,00 = 56,25\text{kN} < 135\text{kN}$

o Adotado = **135kN**

3. DIMENSIONAMENTO DA VIGA PRINCIPAL

3.1. Situação de Projeto

Para as distintas situações de projeto, as combinações de ações serão definidas de acordo com os seguintes critérios:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

Onde:

G_k = Ação permanente

P_k = Ação de pré-esforço

Q_k = Ação variável

γ_G = Coeficiente parcial de segurança das ações permanentes

γ_P = Coeficiente parcial de segurança da ação de pré-esforço

$\gamma_{Q,1}$ = Coeficiente parcial de segurança da ação variável principal

$\gamma_{Q,i}$ = Coeficiente parcial de segurança das ações variáveis de acompanhamento

Para cada situação de projeto e estado limite, os coeficientes a utilizar serão:

✓ **E.L.U. Aço laminado: ABNT NBR 8800:2024**

TB-450		
	Coeficientes parciais de segurança (γ)	
	Favorável	Desfavorável
Permanente (G)	1.000	1.500
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000*

*As sobrecargas já foram introduzidas nos cálculos, com os valores majorados conforme a norma (ABNT NBR 7188:2024

– Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre).



3.3.2. Barras

3.3.2.1. Materiais utilizados

Materiais utilizados							
Material		E	ν	G	f_y	α_t	γ
Tipo	Designação	(kgf/cm ²)		(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)	(m/m°C)	(t/m ³)
Aço laminado	A-572 345MPa	2038736.0	0.300	784913.4	3516.8	0.000012	7.850

Notação:
E: Módulo de elasticidade
 ν : Módulo de poisson
G: Módulo de corte
 f_y : Limite elástico
 α_t : Coeficiente de dilatação
 γ : Peso específico

3.3.2.2. Descrição

Descrição									
Material		Barra	Peça	Perfil(Série)	Comprimento	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{Sup.}	Lb _{Inf.}
Tipo	Designação	(Ni/Nf)	(Ni/Nf)		(m)			(m)	(m)
Aço laminado	A-572 345MPa	N1/N2	N1/N9	VS1400X329 (VS)	0.250	1.00	1.00	-	-
		N2/N11	N1/N9	VS1400X329 (VS)	7.250	1.00	1.00	-	-
		N11/N9	N1/N9	VS1400X329 (VS)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N9/N8	N9/N10	VS1400X329 (VS)	3.000	1.00	1.00	-	-
		N8/N6	N9/N10	VS1400X329 (VS)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N6/N4	N9/N10	VS1400X329 (VS)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N4/N7	N9/N10	VS1400X329 (VS)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N7/N10	N9/N10	VS1400X329 (VS)	4.500	1.00	1.00	-	-
		N10/N12	N10/N3	VS1400X329 (VS)	1.500	1.00	1.00	-	-
		N12/N5	N10/N3	VS1400X329 (VS)	7.250	1.00	1.00	-	-
		N5/N3	N10/N3	VS1400X329 (VS)	0.250	1.00	1.00	-	-

Notação:
Ni: Nó inicial
Nf: Nó final
 β_{xy} : Coeficiente de flambagem no plano 'XY'
 β_{xz} : Coeficiente de flambagem no plano 'XZ'
Lb_{Sup.}: Espaçamento entre travamentos do banzo superior
Lb_{Inf.}: Espaçamento entre travamentos do banzo inferior

3.3.2.3. Características mecânicas

4. Tipos de peça	
Ref.	Peças
1	N1/N9, N9/N10 e N10/N3

Características mecânicas									
Material		Ref.	Descrição	A	A _{vy}	A _{vz}	I _{yy}	I _{zz}	I _t
Tipo	Designação			(cm ²)	(cm ²)	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)
Aço laminado	A-572 345MPa	1	VS1400X329, (VS)	418.75	187.50	151.88	1438059.90	52105.31	608.72

**Características mecânicas**

Material		Ref.	Descrição	A (cm ²)	Avy (cm ²)	Avz (cm ²)	Iyy (cm ⁴)	Izz (cm ⁴)	It (cm ⁴)
Tipo	Designação								

Notação:

Ref.: Referência

A: Área da seção transversal

Avy: Área de esforço cortante da seção segundo o eixo local 'Y'

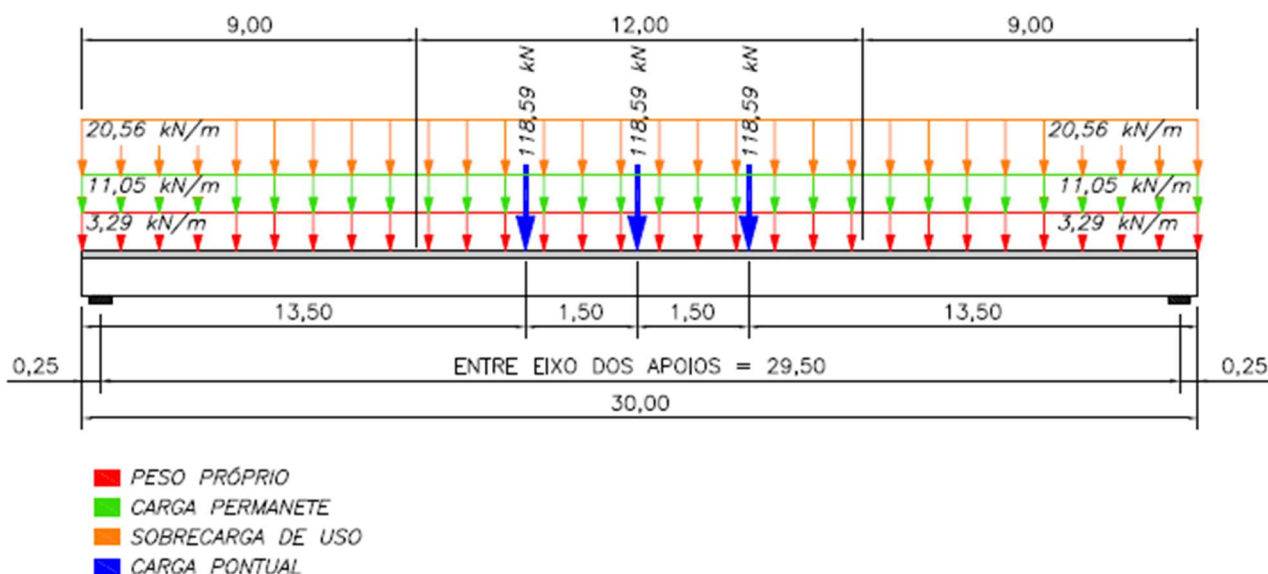
Avz: Área de esforço cortante da seção segundo o eixo local 'Z'

Iyy: Inércia da seção em torno do eixo local 'Y'

Izz: Inércia da seção em torno do eixo local 'Z'

It: Inércia à torção

As características mecânicas das peças correspondem à seção no ponto médio das mesmas.

4.1. Hipótese de Cálculo – Veículo Tipo TB-450 no Centro do Vão**4.1.1. Cargas****Disposição dos carregamentos****4.1.1.1. Cargas em barras**

Referências:

'P1', 'P2':

Cargas pontuais, uniformes, em faixa e momentos pontuais: 'P1' é o valor da carga. 'P2' não se utiliza.

Cargas trapezoidais: 'P1' é o valor da carga no ponto onde começa (L1) e 'P2' é o valor da carga no ponto onde termina (L2).

Cargas triangulares: 'P1' é o valor máximo da carga. 'P2' não se utiliza.



Incrementos de temperatura: 'P1' e 'P2' são os valores da temperatura nas faces exteriores ou paramentos da peça. A orientação da variação do incremento de temperatura sobre a seção transversal dependerá da direção selecionada.

'L1', 'L2':

Cargas e momentos pontuais: 'L1' é a distância entre o nó inicial da barra e a posição onde se aplica a carga. 'L2' não se utiliza.

Cargas trapezoidais, em faixa, e triangulares: 'L1' é a distância entre o nó inicial da barra e a posição onde começa a carga, 'L2' é a distância entre o nó inicial da barra e a posição onde termina a carga.

Unidades:

Cargas concentradas: kN

Momentos pontuais: kN·m.

Cargas uniformes, em faixa, triangulares e trapezoidais: kN/m.

Incrementos de temperatura: °C.

Cargas em barras										
Barra	Hipótese	Tipo	Valores		Posição		Direção			
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	Eixos	X	Y	Z
N1/N2	Peso próprio	Uniforme	0.329	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N1/N2	Carga Permanente	Uniforme	1.105	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N1/N2	Carga Permanente	Uniforme	0.468	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N1/N2	Sobrecarga (Uso 1)	Uniforme	2.056	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N2/N11	Peso próprio	Uniforme	0.329	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N2/N11	Carga Permanente	Uniforme	1.105	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N2/N11	Carga Permanente	Uniforme	0.468	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N2/N11	Sobrecarga (Uso 1)	Uniforme	2.056	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N11/N9	Peso próprio	Uniforme	0.329	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N11/N9	Carga Permanente	Uniforme	1.105	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N11/N9	Carga Permanente	Uniforme	0.468	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N11/N9	Sobrecarga (Uso 1)	Uniforme	2.097	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N9/N8	Peso próprio	Uniforme	0.329	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N9/N8	Carga Permanente	Uniforme	1.105	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N9/N8	Carga Permanente	Uniforme	0.468	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N9/N8	Sobrecarga (Uso 1)	Uniforme	2.097	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N8/N6	Peso próprio	Uniforme	0.329	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N8/N6	Carga Permanente	Uniforme	1.105	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N8/N6	Carga Permanente	Uniforme	0.468	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N8/N6	Sobrecarga (Uso 1)	Uniforme	2.056	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N6/N4	Peso próprio	Uniforme	0.329	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N6/N4	Carga Permanente	Uniforme	1.105	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N6/N4	Carga Permanente	Uniforme	0.477	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N6/N4	Sobrecarga (Uso 1)	Uniforme	2.056	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000



Cargas em barras

Barra	Hipótese	Tipo	Valores		Posição		Direção			
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	Eixos	X	Y	Z
N4/N7	Peso próprio	Uniforme	0.329	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N4/N7	Carga Permanente	Uniforme	1.105	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N4/N7	Carga Permanente	Uniforme	0.468	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N4/N7	Sobrecarga (Uso 1)	Uniforme	2.056	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N7/N10	Peso próprio	Uniforme	0.329	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N7/N10	Carga Permanente	Uniforme	1.105	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N7/N10	Carga Permanente	Uniforme	0.468	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N7/N10	Sobrecarga (Uso 1)	Uniforme	2.097	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N10/N12	Peso próprio	Uniforme	0.329	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N10/N12	Carga Permanente	Uniforme	1.105	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N10/N12	Carga Permanente	Uniforme	0.468	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N10/N12	Sobrecarga (Uso 1)	Uniforme	2.097	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N12/N5	Peso próprio	Uniforme	0.329	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N12/N5	Carga Permanente	Uniforme	1.105	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N12/N5	Carga Permanente	Uniforme	0.468	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N12/N5	Sobrecarga (Uso 1)	Uniforme	2.097	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N5/N3	Peso próprio	Uniforme	0.329	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N5/N3	Carga Permanente	Uniforme	1.105	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N5/N3	Carga Permanente	Uniforme	0.468	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000
N5/N3	Sobrecarga (Uso 1)	Uniforme	2.097	-	-	-	Globais	0.000	0.000	-1.000

4.1.2. Resultados

4.1.2.1. Nós

4.1.2.1.1. Deslocamentos

Referências:

Dx, Dy, Dz: Deslocamentos dos nós em eixos globais.

Gx, Gy, Gz: Rotações dos nós em eixos globais.

Deslocamentos dos nós, por hipóteses/ações

Referência	Descrição	Deslocamentos em eixos globais					
		Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
N1	Peso próprio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Carga Permanente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Sobrecarga (Uso 1)	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000
N2	Peso próprio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Carga Permanente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Sobrecarga (Uso 1)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N3	Peso próprio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Carga Permanente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Sobrecarga (Uso 1)	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000



Deslocamentos dos nós, por hipóteses/ações

Referência	Descrição	Deslocamentos em eixos globais					
		Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
N4	Peso próprio	0.000	0.000	-2.512	0.000	0.000	0.000
	Carga Permanente	0.000	0.000	-12.022	0.000	0.000	0.000
	Sobrecarga (Uso 1)	0.000	0.000	-33.710	0.245	0.000	0.000
N5	Peso próprio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Carga Permanente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Sobrecarga (Uso 1)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N6	Peso próprio	0.000	0.000	-2.463	-0.060	0.000	0.000
	Carga Permanente	0.000	0.000	-11.789	-0.289	0.000	0.000
	Sobrecarga (Uso 1)	0.000	0.000	-33.389	-0.706	0.000	0.000
N7	Peso próprio	0.000	0.000	-2.463	0.060	0.000	0.000
	Carga Permanente	0.000	0.000	-11.789	0.289	0.000	0.000
	Sobrecarga (Uso 1)	0.000	0.000	-32.453	1.125	0.000	0.000
N8	Peso próprio	0.000	0.000	-2.320	-0.117	0.000	0.000
	Carga Permanente	0.000	0.000	-11.104	-0.560	0.000	0.000
	Sobrecarga (Uso 1)	0.000	0.000	-31.468	-1.612	0.000	0.000
N9	Peso próprio	0.000	0.000	-1.791	-0.204	0.000	0.000
	Carga Permanente	0.000	0.000	-8.570	-0.974	0.000	0.000
	Sobrecarga (Uso 1)	0.000	0.000	-23.750	-2.871	0.000	0.000
N10	Peso próprio	0.000	0.000	-1.791	0.204	0.000	0.000
	Carga Permanente	0.000	0.000	-8.570	0.974	0.000	0.000
	Sobrecarga (Uso 1)	0.000	0.000	-22.107	2.817	0.000	0.000
N11	Peso próprio	0.000	0.000	-1.438	-0.226	0.000	0.000
	Carga Permanente	0.000	0.000	-6.884	-1.082	0.000	0.000
	Sobrecarga (Uso 1)	0.000	0.000	-18.777	-3.129	0.000	0.000
N12	Peso próprio	0.000	0.000	-1.438	0.226	0.000	0.000
	Carga Permanente	0.000	0.000	-6.884	1.082	0.000	0.000
	Sobrecarga (Uso 1)	0.000	0.000	-17.357	2.984	0.000	0.000

Deslocamentos dos nós, por combinação

Referência	Combinação		Deslocamentos em eixos globais					
	Tipo	Descrição	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
N1	Deslocamentos	PP+CargaPermanente	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000
		PP+CargaPermanente+Sobrecarga(1)	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000
N2	Deslocamentos	PP+CargaPermanente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		PP+CargaPermanente+Sobrecarga(1)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N3	Deslocamentos	PP+CargaPermanente	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000
		PP+CargaPermanente+Sobrecarga(1)	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000
N4	Deslocamentos	PP+CargaPermanente	0.000	0.000	-14.533	0.000	0.000	0.000
		PP+CargaPermanente+Sobrecarga(1)	0.000	0.000	-48.244	0.246	0.000	0.000
N5	Deslocamentos	PP+CargaPermanente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		PP+CargaPermanente+Sobrecarga(1)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N6	Deslocamentos	PP+CargaPermanente	0.000	0.000	-14.252	-0.349	0.000	0.000



LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

15 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

Deslocamentos dos nós, por combinação

Referência	Combinação		Deslocamentos em eixos globais					
	Tipo	Descrição	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
N7	Deslocamentos	PP+CargaPermanente+Sobrecarga(1)	0.000	0.000	-47.641	-1.055	0.000	0.000
		PP+CargaPermanente	0.000	0.000	-14.252	0.349	0.000	0.000
N8	Deslocamentos	PP+CargaPermanente+Sobrecarga(1)	0.000	0.000	-46.705	1.474	0.000	0.000
		PP+CargaPermanente	0.000	0.000	-13.424	-0.677	0.000	0.000
N9	Deslocamentos	PP+CargaPermanente+Sobrecarga(1)	0.000	0.000	-44.893	-2.289	0.000	0.000
		PP+CargaPermanente	0.000	0.000	-10.361	-1.178	0.000	0.000
N10	Deslocamentos	PP+CargaPermanente+Sobrecarga(1)	0.000	0.000	-34.111	-4.049	0.000	0.000
		PP+CargaPermanente	0.000	0.000	-10.361	1.178	0.000	0.000
N11	Deslocamentos	PP+CargaPermanente+Sobrecarga(1)	0.000	0.000	-32.468	3.995	0.000	0.000
		PP+CargaPermanente	0.000	0.000	-8.322	-1.308	0.000	0.000
N12	Deslocamentos	PP+CargaPermanente+Sobrecarga(1)	0.000	0.000	-27.099	-4.437	0.000	0.000
		PP+CargaPermanente	0.000	0.000	-8.322	1.308	0.000	0.000

Envoltória dos deslocamentos em nós

Referência	Combinação		Deslocamentos em eixos globais					
	Tipo	Descrição	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
N1	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000
N2	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N3	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000
N4	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-48.244	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	-14.533	0.246	0.000	0.000
N5	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N6	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-47.641	-1.055	0.000	0.000
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	-14.252	-0.349	0.000	0.000
N7	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-46.705	0.349	0.000	0.000
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	-14.252	1.474	0.000	0.000
N8	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-44.893	-2.289	0.000	0.000
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	-13.424	-0.677	0.000	0.000
N9	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-34.111	-4.049	0.000	0.000
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	-10.361	-1.178	0.000	0.000
N10	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-32.468	1.178	0.000	0.000
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	-10.361	3.995	0.000	0.000
N11	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-27.099	-4.437	0.000	0.000
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	-8.322	-1.308	0.000	0.000
N12	Deslocamentos	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	-25.679	1.308	0.000	0.000
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	-8.322	4.292	0.000	0.000



4.1.2.1.2. Reações

Referências:

Rx, Ry, Rz: Reações em nós com deslocamentos restringidos (forças).

Mx, My, Mz: Reações em nós com rotações restringidas (momentos).

Reações nos nós, por hipóteses/ações							
Referência	Descrição	Reações em eixos globais					
		Rx (t)	Ry (t)	Rz (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)
N2	Peso próprio	0.000	0.000	4.931	23.829	0.000	0.000
	Carga Permanente	0.000	0.000	23.595	114.043	0.000	0.000
	Sobrecarga (Uso 1)	0.000	0.000	51.910	294.761	0.000	0.000
N5	Peso próprio	0.000	0.000	4.931	-23.829	0.000	0.000
	Carga Permanente	0.000	0.000	23.594	-114.038	0.000	0.000
	Sobrecarga (Uso 1)	0.000	0.000	46.777	-269.911	0.000	0.000

Envoltórias das reações em nós								
Referência	Combinação		Reações em eixos globais					
	Tipo	Descrição	Rx (t)	Ry (t)	Rz (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)
N2	Concreto em fundações	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	28.526	137.872	0.000	0.000
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	112.610	605.686	0.000	0.000
	Tensões sobre o terreno	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	28.526	137.872	0.000	0.000
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	80.436	432.633	0.000	0.000
N5	Concreto em fundações	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	28.525	-570.888	0.000	0.000
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	105.423	-137.867	0.000	0.000
	Tensões sobre o terreno	Valor mínimo da envoltória	0.000	0.000	28.525	-407.777	0.000	0.000
		Valor máximo da envoltória	0.000	0.000	75.302	-137.867	0.000	0.000

Nota: As combinações de concreto indicadas são as mesmas utilizadas para verificar o estado limite de equilíbrio na fundação.

4.1.2.2. Barras

4.1.2.2.1. Esforços

Referências:

N: Esforço axial (kN)

Vy: Esforço cortante segundo o eixo local Y da barra. (kN)

Vz: Esforço cortante segundo o eixo local Z da barra. (kN)

Mt: Momento torsor (kN·m)

My: Momento fletor no plano 'XZ' (rotação da seção em relação ao eixo local 'Y' da barra). (kN·m)


MEMORIAL DE CÁLCULO
MEMORIALCAL-082025

REV.

0

LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

20 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m
Envoltórias dos esforços em barras

Barra	Tipo de combinação	Esforço	Posições na barra									
			0.000 m	0.188 m	0.375 m	0.563 m	0.750 m	0.938 m	1.125 m	1.313 m	1.500 m	
N10/N12	Aço laminado	N _{mín}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		N _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		V _y _{mín}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		V _y _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		V _z _{mín}	11.414	11.770	12.127	12.483	12.840	13.196	13.553	13.909	14.266	
		V _z _{máx}	58.983	60.108	61.232	62.357	63.481	64.605	65.730	66.854	67.978	
		M _t _{mín}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		M _t _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		M _y _{mín}	34.725	32.551	30.311	28.004	25.630	23.189	20.681	18.107	15.465	
		M _y _{máx}	133.809	122.644	111.268	99.682	87.884	75.876	63.657	51.228	38.587	
		M _z _{mín}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		M _z _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Envoltórias dos esforços em barras

Barra	Tipo de combinação	Esforço	Posições na barra									
			0.000 m	0.906 m	1.813 m	2.719 m	3.625 m	4.531 m	5.438 m	6.344 m	7.250 m	
N12/N5	Aço laminado	N _{mín}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		N _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		V _y _{mín}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		V _y _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		V _z _{mín}	14.266	15.989	17.711	19.434	21.157	22.880	24.603	26.326	28.049	
		V _z _{máx}	67.978	73.413	78.847	84.282	89.716	95.150	100.585	106.019	111.454	
		M _t _{mín}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		M _t _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		M _y _{mín}	15.465	-26.359	-94.474	-168.391	-247.234	-331.001	-419.694	-513.311	-611.854	
		M _y _{máx}	38.587	2.635	-13.514	-30.346	-48.739	-68.694	-90.210	-113.287	-137.926	
		M _z _{mín}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		M _z _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Envoltórias dos esforços em barras

Barra	Tipo de combinação	Esforço	Posições na barra		
			0.000 m	0.125 m	0.250 m
N5/N3	Aço laminado	N _{mín}	0.000	0.000	0.000
		N _{máx}	0.000	0.000	0.000
		V _y _{mín}	0.000	0.000	0.000
		V _y _{máx}	0.000	0.000	0.000
		V _z _{mín}	-1.499	-0.750	0.000
		V _z _{máx}	-0.475	-0.238	0.000
		M _t _{mín}	0.000	0.000	0.000
		M _t _{máx}	0.000	0.000	0.000
		M _y _{mín}	-0.187	-0.047	0.000
		M _y _{máx}	-0.059	-0.015	0.000
		M _z _{mín}	0.000	0.000	0.000
		M _z _{máx}	0.000	0.000	0.000



Origem dos esforços desfavoráveis:

G: Verticais

GV: Verticais + vento

GSis: Verticais + sismo

GVSis: Verticais + vento + sismo

η : Aproveitamento da resistência. A barra cumpre as condições de resistência da Norma se cumprir que $\eta \leq 100\%$.

Verificação de resistência

Barra	η (%)	Posição (m)	Esforços desfavoráveis						Origem	Estado
			N (t)	Vy (t)	Vz (t)	Mt (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)		
N1/N2	1.19	0.250	0.000	0.000	1.484	0.000	-0.185	0.000	G	Passa
N2/N11	95.21	0.000	0.000	0.000	-119.170	0.000	-649.135	0.000	G	Passa
N11/N9	60.83	0.000	0.000	0.000	-76.135	0.000	58.847	0.000	G	Passa
N9/N8	53.64	0.000	0.000	0.000	-67.140	0.000	166.304	0.000	G	Passa
N8/N6	54.21	1.500	0.000	0.000	-22.108	0.000	380.580	0.000	G	Passa
N6/N4	54.40	0.750	0.000	0.000	0.494	0.000	381.883	0.000	G	Passa
N4/N7	54.11	0.000	0.000	0.000	23.095	0.000	379.839	0.000	G	Passa
N7/N10	48.22	0.000	0.000	0.000	31.999	0.000	338.519	0.000	G	Passa
N10/N12	54.31	1.500	0.000	0.000	67.978	0.000	38.587	0.000	G	Passa
N12/N5	89.04	7.250	0.000	0.000	111.454	0.000	-611.854	0.000	G	Passa
N5/N3	1.20	0.000	0.000	0.000	-1.499	0.000	-0.187	0.000	G	Passa

4.1.2.2.3. Flechas

Referências:

Pos.: Valor da coordenada sobre o eixo 'X' local do grupo de flecha no ponto onde se produz o valor péssimo da flecha.

L.: Distância entre dois pontos de corte consecutivos da deformada com a reta que une os nós extremos do grupo de flecha.

Flechas

Grupo	Flecha máxima absoluta xy		Flecha máxima absoluta xz		Flecha ativa absoluta xy		Flecha ativa absoluta xz	
	Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima relativa xz		Flecha ativa relativa xy		Flecha ativa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N1/N9	0.000	0.00	2.969	4.98	0.000	0.00	3.422	3.59
	-	L/(>1000)	2.969	L/(>1000)	-	L/(>1000)	3.422	L/(>1000)
N9/N10	0.000	0.00	5.813	14.96	0.000	0.00	5.813	10.80
	-	L/(>1000)	5.813	L/801.9	-	L/(>1000)	5.813	L/(>1000)



Flechas

Grupo	Flecha máxima absoluta xy		Flecha máxima absoluta xz		Flecha ativa absoluta xy		Flecha ativa absoluta xz	
	Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima relativa xz		Flecha ativa relativa xy		Flecha ativa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N10/N3	0.000	0.00	5.578	4.83	0.000	0.00	5.578	3.44
	-	L/(>1000)	5.578	L/(>1000)	-	L/(>1000)	5.578	L/(>1000)

4.1.2.2.4. Verificação E.L.U. (Completo)

Nota: Mostra-se o relatório completo de verificações realizadas para as 10 barras com maior coeficiente de aproveitamento.

Barra N2/N11

Perfil: VS1400X329

Material: Aço (A-572 345MPa)

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas				
		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
N2	N11	7.250	418.75	1438059.90	52105.31	608.72
<i>Notas:</i> ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme						
		Flambagem		Flambagem lateral		
		Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.	
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L _K		7.250	7.250	0.000	0.000	
C _b		-		1.000		
<i>Notação:</i> β : 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)

A verificação não procede, já que não há força axial de compressão.

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)

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

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

Deve satisfazer:



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

$$\eta : \underline{0.925} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N2, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·Carga Permanente+1.5·Sobrecarga(1).

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

$$M_{Sd} : \underline{649.135} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$108.00 \leq 137.24$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{108.00}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{1350.00} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

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

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

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

$$M_{Rd} : \underline{701.988} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{Rd} : \underline{985.207} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$W_x : \underline{20543.71} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

Não é necessário, pois o comprimento de flambagem lateral é nulo.

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

$$\lambda > \lambda_p$$

$$10.00 > 9.15$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$10.00 \leq 16.96$$

$$M_{Rd} : \underline{701.988} \text{ t}\cdot\text{m}$$



LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

24 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

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

Onde:

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

$$\lambda : \underline{10.00}$$

Sendo:

b_f: Largura da mesa comprimida.

b_f : 500.00 mm

t_f: Espessura da mesa comprimida.

t_f : 25.00 mm

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

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

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

E : 2038736 kgf/cm²

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

$$\lambda_r = 0.95 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)/k_c}}$$

$$\lambda_r : \underline{16.96}$$

Sendo:

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

$$\sigma_r : \underline{1055.05}$$
 kgf/cm²

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \rightarrow 0.35 \leq k_c \leq 0.76$$

$$k_c : \underline{0.38}$$

Onde:

h: Altura da seção.

h : 1350.00 mm

t_w: Espessura da alma.

t_w : 12.50 mm

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

$$M_{pl} : \underline{804.747}$$
 t

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

Z_x : 22882.81 cm³

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

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

$$M_r : \underline{505.740}$$
 t·m

Sendo:

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

W_x : 20543.71 cm³

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

$$\sigma_r : \underline{1055.05}$$
 kgf/cm²

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

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



LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

25 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

$$\lambda > \lambda_p$$

$$108.00 > 90.53$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$108.00 \leq 137.24$$

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

$$M_{Rd} : \underline{703.619} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{108.00}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{1350.00} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_p : \underline{90.53}$$

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

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

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

$$M_{pl} : \underline{804.747} \text{ t}$$

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástica.

$$Z_x : \underline{22882.81} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$M_r = W \cdot f_y$$

$$M_r : \underline{722.485} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Sendo:

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

$$W_x : \underline{20543.71} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

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

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

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

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

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.952} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N2, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·Carga Permanente+1.5·Sobrecarga(1).

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

$$\mathbf{V_{Sd}} : \underline{119.170} \text{ t}$$

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

$$\lambda > \lambda_r$$

$$\mathbf{108.00} > \mathbf{73.76}$$

$$\mathbf{V_{Rd}} = 1.24 \cdot \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$\mathbf{V_{Rd}} : \underline{125.166} \text{ t}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{108.00}$$

Sendo:

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

$$\mathbf{h} : \underline{1350.00} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$\mathbf{t_w} : \underline{12.50} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_p : \underline{59.22}$$

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

$$\lambda_r : \underline{73.76}$$

Sendo:

k_v: Coeficiente de flambagem.

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

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

$$\mathbf{V_{pl}} : \underline{369.266} \text{ t}$$

Sendo:

A_w: Área efetiva ao cisalhamento.

$$\mathbf{A_w} = d \cdot t_w$$

$$\mathbf{A_w} : \underline{175.00} \text{ cm}^2$$

d: Altura total da seção transversal.

$$\mathbf{d} : \underline{1400.00} \text{ mm}$$



γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

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

Não existe interação entre o esforço axial e o momento fletor nem entre momentos fletores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária.

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

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

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

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

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

Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.



Barra N12/N5

Perfil: VS1400X329**Material: Aço (A-572 345MPa)**

Nós	Comprimento (m)		Características mecânicas			
	Inicial	Final	Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N12	N5	7.250	418.75	1438059.90	52105.31	608.72
Notas: ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme						
	Flambagem		Flambagem lateral			
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	7.250	7.250	0.000	0.000		
C _b	-		1.000			
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _b : Fator de modificação para o momento crítico						

Limitação do índice de esbeltez (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.4)

A verificação não procede, já que não há força axial de compressão.

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

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

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

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

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

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.872} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·Carga Permanente+1.5·Sobrecarga(1).

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

M_{sd}: 611.854 t·m

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

108.00 ≤ **137.24**

Onde:



LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

29 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

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

$$\lambda : \underline{108.00}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{1350.00} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

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

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

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

$$M_{Rd} : \underline{701.988} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{Rd} : \underline{985.207} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$W_x : \underline{20543.71} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

Não é necessário, pois o comprimento de flambagem lateral é nulo.

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

$$\lambda > \lambda_p$$

$$10.00 > 9.15$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$10.00 \leq 16.96$$

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

$$M_{Rd} : \underline{701.988} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{10.00}$$

Sendo:

b_f: Largura da mesa comprimida.

$$b_f : \underline{500.00} \text{ mm}$$

t_f: Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{25.00} \text{ mm}$$

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

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

Sendo:



LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

30 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$\lambda_r = 0.95 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)/k_c}}$$

λ_r : $\frac{16.96}{}$

Sendo:

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

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

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \rightarrow 0.35 \leq k_c \leq 0.76$$

k_c : $\frac{0.38}{}$

Onde:

h: Altura da seção.

h : $\frac{1350.00}{\text{mm}}$

t_w: Espessura da alma.

t_w : $\frac{12.50}{\text{mm}}$

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

M_{pl} : $\frac{804.747}{\text{t}}$

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

Z_x : $\frac{22882.81}{\text{cm}^3}$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

M_r : $\frac{505.740}{\text{t}\cdot\text{m}}$

Sendo:

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

W_x : $\frac{20543.71}{\text{cm}^3}$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : $\frac{1.10}{}$

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

$$\lambda > \lambda_p$$

108.00 > **90.53**

$$\lambda \leq \lambda_r$$

108.00 ≤ **137.24**

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

M_{Rd} : $\frac{703.619}{\text{t}\cdot\text{m}}$

Onde:

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

λ : $\frac{108.00}{}$

Sendo:

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

h : $\frac{1350.00}{\text{mm}}$



t_w : Espessura da alma.

t_w : 12.50 mm

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

λ_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

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

λ_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

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

M_{pl} : 804.747 t

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

Z_x : 22882.81 cm³

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

$$M_r = W \cdot f_y$$

M_r : 722.485 t·m

Sendo:

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

W_x : 20543.71 cm³

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

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

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

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

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

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

Deve satisfazer:

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

η : 0.890 ✓



O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações $1.5 \cdot PP + 1.5 \cdot \text{Carga Permanente} + 1.5 \cdot \text{Sobrecarga}(1)$.

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

$$V_{sd} : \underline{111.454} \text{ t}$$

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

$$\lambda > \lambda_r$$

$$108.00 > 73.76$$

$$V_{Rd} = 1.24 \cdot \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$V_{Rd} : \underline{125.166} \text{ t}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{108.00}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{1350.00} \text{ mm}$$

t_w : Espessura da alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_p : \underline{59.22}$$

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

$$\lambda_r : \underline{73.76}$$

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.

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

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

$$V_{pl} : \underline{369.266} \text{ t}$$

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = d \cdot t_w$$

$$A_w : \underline{175.00} \text{ cm}^2$$

d : Altura total da seção transversal.

$$d : \underline{1400.00} \text{ mm}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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

Não existe interação entre o esforço axial e o momento fletor nem entre momentos fletores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária.

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

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



MEMORIAL DE CÁLCULO

MEMORIALCAL-082025

REV.

0

LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

33 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

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

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

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

Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.



Barra N11/N9

Perfil: VS1400X329**Material: Aço (A-572 345MPa)**

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas				
		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
N11	N9	1.500	418.75	1438059.90	52105.31	608.72
<i>Notas:</i> ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme						
	Flambagem		Flambagem lateral			
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	1.500	1.500	0.000	0.000		
C _b	-		1.000			
<i>Notação:</i> β: 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)

A verificação não procede, já que não há força axial de compressão.

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)

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

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

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.237} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N9, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CargaPermanente+1.5·Sobrecarga(1).

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

M_{sd}⁺ : 166.304 t·m

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

108.00 ≤ **137.24**

Onde:



LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

35 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

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

$$\lambda : \underline{108.00}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{1350.00} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

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

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

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

$$M_{Rd} : \underline{701.988} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{Rd} : \underline{985.207} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$W_x : \underline{20543.71} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

Não é necessário, pois o comprimento de flambagem lateral é nulo.

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

$$\lambda > \lambda_p$$

$$10.00 > 9.15$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$10.00 \leq 16.96$$

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

$$M_{Rd} : \underline{701.988} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{10.00}$$

Sendo:

b_f: Largura da mesa comprimida.

$$b_f : \underline{500.00} \text{ mm}$$

t_f: Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{25.00} \text{ mm}$$

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

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

Sendo:



LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

36 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

E: Módulo de elasticidade do aço.**E** : 2038736 kgf/cm²**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 3516.82 kgf/cm²

$$\lambda_r = 0.95 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)/k_c}}$$

λ_r : 16.96

Sendo:

f_y: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 3516.82 kgf/cm²

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

σ_r : 1055.05 kgf/cm²

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \rightarrow 0.35 \leq k_c \leq 0.76$$

k_c : 0.38

Onde:

h: Altura da seção.**h** : 1350.00 mm**t_w**: Espessura da alma.**t_w** : 12.50 mm

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

M_{pl} : 804.747 t

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.**Z_x** : 22882.81 cm³**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 3516.82 kgf/cm²

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

M_r : 505.740 t·m

Sendo:

W_x: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.**W_x** : 20543.71 cm³**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 3516.82 kgf/cm²

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

σ_r : 1055.05 kgf/cm²**γ_{a1}**: Coeficiente de segurança do material.**γ_{a1}** : 1.10

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

$$\lambda > \lambda_p$$

108.00 > **90.53**

$$\lambda \leq \lambda_r$$

108.00 ≤ **137.24**

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

M_{Rd} : 703.619 t·m

Onde:

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

λ : 108.00

Sendo:

h: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas.**h** : 1350.00 mm



t_w : Espessura da alma.

t_w : 12.50 mm

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

λ_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

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

λ_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

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

M_{pl} : 804.747 t

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

Z_x : 22882.81 cm³

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

$$M_r = W \cdot f_y$$

M_r : 722.485 t·m

Sendo:

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

W_x : 20543.71 cm³

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

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

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

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

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

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

Deve satisfazer:

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

η : 0.608 ✓



O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N11, para a combinação de ações $1.5 \cdot PP + 1.5 \cdot \text{Carga Permanente} + 1.5 \cdot \text{Sobrecarga}(1)$.

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

$$V_{sd} : \underline{76.135} \text{ t}$$

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

$$\lambda > \lambda_r$$

$$108.00 > 73.76$$

$$V_{Rd} = 1.24 \cdot \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$V_{Rd} : \underline{125.166} \text{ t}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{108.00}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{1350.00} \text{ mm}$$

t_w : Espessura da alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_p : \underline{59.22}$$

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

$$\lambda_r : \underline{73.76}$$

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.

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

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

$$V_{pl} : \underline{369.266} \text{ t}$$

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = d \cdot t_w$$

$$A_w : \underline{175.00} \text{ cm}^2$$

d : Altura total da seção transversal.

$$d : \underline{1400.00} \text{ mm}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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

Não existe interação entre o esforço axial e o momento fletor nem entre momentos flectores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária.

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

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



MEMORIAL DE CÁLCULO

MEMORIALCAL-082025

REV.

0

LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

39 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

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

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

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

Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.



Barra N6/N4

Perfil: VS1400X329**Material: Aço (A-572 345MPa)**

Nós	Comprimento		Características mecânicas			
	Inicial	Final	(m)	Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)
N6	N4	1.500	418.75	1438059.90	52105.31	608.72
Notas: (¹) Inércia em relação ao eixo indicado (²) Momento de inércia à torção uniforme						
	Flambagem		Flambagem lateral			
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	1.500	1.500	0.000	0.000		
C _b	-		1.000			
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _b : Fator de modificação para o momento crítico						

Limitação do índice de esbeltez (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.4)

A verificação não procede, já que não há força axial de compressão.

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

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

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

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

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

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.544} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.750 m do nó N6, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·Carga Permanente+1.5·Sobrecarga(1).

M_{sd}⁺: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.**M_{sd}⁺**: 381.883 t·m

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

$$108.00 \leq 137.24$$

Onde:



LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

41 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

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

$$\lambda : \underline{108.00}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{1350.00} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

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

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

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

$$M_{Rd} : \underline{701.988} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{Rd} : \underline{985.207} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$W_x : \underline{20543.71} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

Não é necessário, pois o comprimento de flambagem lateral é nulo.

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

$$\lambda > \lambda_p$$

$$10.00 > 9.15$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$10.00 \leq 16.96$$

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

$$M_{Rd} : \underline{701.988} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{10.00}$$

Sendo:

b_f: Largura da mesa comprimida.

$$b_f : \underline{500.00} \text{ mm}$$

t_f: Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{25.00} \text{ mm}$$

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

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

Sendo:



LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

42 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

E: Módulo de elasticidade do aço.**E** : 2038736 kgf/cm²**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 3516.82 kgf/cm²

$$\lambda_r = 0.95 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)/k_c}}$$

λ_r : 16.96

Sendo:

f_y: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 3516.82 kgf/cm²

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

σ_r : 1055.05 kgf/cm²

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \rightarrow 0.35 \leq k_c \leq 0.76$$

k_c : 0.38

Onde:

h: Altura da seção.**h** : 1350.00 mm**t_w**: Espessura da alma.**t_w** : 12.50 mm

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

M_{pl} : 804.747 t

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.**Z_x** : 22882.81 cm³**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 3516.82 kgf/cm²

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

M_r : 505.740 t·m

Sendo:

W_x: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.**W_x** : 20543.71 cm³**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 3516.82 kgf/cm²

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

σ_r : 1055.05 kgf/cm²**γ_{a1}**: Coeficiente de segurança do material.**γ_{a1}** : 1.10

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

$$\lambda > \lambda_p$$

108.00 > **90.53**

$$\lambda \leq \lambda_r$$

108.00 ≤ **137.24**

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

M_{Rd} : 703.619 t·m

Onde:

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

λ : 108.00

Sendo:

h: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas.**h** : 1350.00 mm



LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

43 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

 t_w : Espessura da alma. t_w : 12.50 mm

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

 λ_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

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

 λ_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

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

 M_{pl} : 804.747 t

Onde:

 Z_x : Módulo de resistência plástico. Z_x : 22882.81 cm³ f_y : Resistência ao escoamento do aço. f_y : 3516.82 kgf/cm²

$$M_r = W \cdot f_y$$

 M_r : 722.485 t·m

Sendo:

 W_x : Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. W_x : 20543.71 cm³ f_y : Resistência ao escoamento do aço. f_y : 3516.82 kgf/cm² γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material. γ_{a1} : 1.10**Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

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

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

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

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

Deve satisfazer:

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

 η : 0.040 ✓



O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N4, para a combinação de ações PP+1.5·Carga Permanente+1.5·Sobrecarga(1).

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

$$V_{Sd} : \underline{4.956} \text{ t}$$

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

$$\lambda > \lambda_r$$

$$108.00 > 73.76$$

$$V_{Rd} = 1.24 \cdot \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$V_{Rd} : \underline{125.166} \text{ t}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{108.00}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{1350.00} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_p : \underline{59.22}$$

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

$$\lambda_r : \underline{73.76}$$

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.

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

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

$$V_{pl} : \underline{369.266} \text{ t}$$

Sendo:

A_w: Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = d \cdot t_w$$

$$A_w : \underline{175.00} \text{ cm}^2$$

d: Altura total da seção transversal.

$$d : \underline{1400.00} \text{ mm}$$

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

Não existe interação entre o esforço axial e o momento fletor nem entre momentos fletores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária.

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

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



MEMORIAL DE CÁLCULO

MEMORIALCAL-082025

REV.

0

LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

45 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

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

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

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

Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.



Barra N10/N12

Perfil: VS1400X329**Material: Aço (A-572 345MPa)**

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas				
		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
N10	N12	1.500	418.75	1438059.90	52105.31	608.72
Notas: (¹) Inércia em relação ao eixo indicado (²) Momento de inércia à torção uniforme						
	Flambagem		Flambagem lateral			
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	1.500	1.500	0.000	0.000		
C _b	-		1.000			
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _b : Fator de modificação para o momento crítico						

Limitação do índice de esbeltez (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.4)

A verificação não procede, já que não há força axial de compressão.

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

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

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

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

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

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.191} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N10, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CargaPermanente+1.5·Sobrecarga(1).

M_{sd}⁺: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.**M_{sd}⁺**: 133.809 t·mJá que ' $\lambda \leq \lambda_r$ ', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G).

$$108.00 \leq 137.24$$

Onde:



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

$$\lambda : \underline{108.00}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{1350.00} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

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

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

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

$$M_{Rd} : \underline{701.988} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{Rd} : \underline{985.207} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$W_x : \underline{20543.71} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

Não é necessário, pois o comprimento de flambagem lateral é nulo.

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

$$\lambda > \lambda_p$$

$$10.00 > 9.15$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$10.00 \leq 16.96$$

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

$$M_{Rd} : \underline{701.988} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{10.00}$$

Sendo:

b_f: Largura da mesa comprimida.

$$b_f : \underline{500.00} \text{ mm}$$

t_f: Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{25.00} \text{ mm}$$

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

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

Sendo:



LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

48 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

E: Módulo de elasticidade do aço.**E** : 2038736 kgf/cm²**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 3516.82 kgf/cm²

$$\lambda_r = 0.95 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)/k_c}}$$

λ_r : 16.96

Sendo:

f_y: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 3516.82 kgf/cm²

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

σ_r : 1055.05 kgf/cm²

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \rightarrow 0.35 \leq k_c \leq 0.76$$

k_c : 0.38

Onde:

h: Altura da seção.**h** : 1350.00 mm**t_w**: Espessura da alma.**t_w** : 12.50 mm

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

M_{pl} : 804.747 t

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.**Z_x** : 22882.81 cm³**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 3516.82 kgf/cm²

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

M_r : 505.740 t·m

Sendo:

W_x: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.**W_x** : 20543.71 cm³**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 3516.82 kgf/cm²

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

σ_r : 1055.05 kgf/cm²**γ_{a1}**: Coeficiente de segurança do material.**γ_{a1}** : 1.10

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

$$\lambda > \lambda_p$$

108.00 > **90.53**

$$\lambda \leq \lambda_r$$

108.00 ≤ **137.24**

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

M_{Rd} : 703.619 t·m

Onde:

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

λ : 108.00

Sendo:

h: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas.**h** : 1350.00 mm



LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

49 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

 t_w : Espessura da alma. t_w : 12.50 mm

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

 λ_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

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

 λ_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

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

 M_{pl} : 804.747 t

Onde:

 Z_x : Módulo de resistência plástico. Z_x : 22882.81 cm³ f_y : Resistência ao escoamento do aço. f_y : 3516.82 kgf/cm²

$$M_r = W \cdot f_y$$

 M_r : 722.485 t·m

Sendo:

 W_x : Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. W_x : 20543.71 cm³ f_y : Resistência ao escoamento do aço. f_y : 3516.82 kgf/cm² γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material. γ_{a1} : 1.10**Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

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

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

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

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

Deve satisfazer:

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

 η : 0.543 ✓



O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N12, para a combinação de ações $1.5 \cdot PP + 1.5 \cdot \text{Carga Permanente} + 1.5 \cdot \text{Sobrecarga}(1)$.

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

$$V_{sd} : \underline{67.978} \text{ t}$$

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

$$\lambda > \lambda_r$$

$$108.00 > 73.76$$

$$V_{Rd} = 1.24 \cdot \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$V_{Rd} : \underline{125.166} \text{ t}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{108.00}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{1350.00} \text{ mm}$$

t_w : Espessura da alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_p : \underline{59.22}$$

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

$$\lambda_r : \underline{73.76}$$

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.

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

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

$$V_{pl} : \underline{369.266} \text{ t}$$

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = d \cdot t_w$$

$$A_w : \underline{175.00} \text{ cm}^2$$

d : Altura total da seção transversal.

$$d : \underline{1400.00} \text{ mm}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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

Não existe interação entre o esforço axial e o momento fletor nem entre momentos fletores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária.

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

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



MEMORIAL DE CÁLCULO

MEMORIALCAL-082025

REV.

0

LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

51 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

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

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

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

Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.



Barra N8/N6

Perfil: VS1400X329**Material: Aço (A-572 345MPa)**

Nós	Comprimento (m)		Características mecânicas			
	Inicial	Final	Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N8	N6	1.500	418.75	1438059.90	52105.31	608.72
<i>Notas:</i> ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme						
	Flambagem		Flambagem lateral			
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	1.500	1.500	0.000	0.000		
C _b	-		1.000			
<i>Notação:</i> β: 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)

A verificação não procede, já que não há força axial de compressão.

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)

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

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

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.542} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N6, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CargaPermanente+1.5·Sobrecarga(1).

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

M_{sd}⁺ : 380.580 t·m

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

108.00 ≤ **137.24**

Onde:



LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

53 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

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

$$\lambda : \underline{108.00}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{1350.00} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

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

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

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

$$M_{Rd} : \underline{701.988} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{Rd} : \underline{985.207} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$W_x : \underline{20543.71} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

Não é necessário, pois o comprimento de flambagem lateral é nulo.

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

$$\lambda > \lambda_p$$

$$10.00 > 9.15$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$10.00 \leq 16.96$$

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

$$M_{Rd} : \underline{701.988} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{10.00}$$

Sendo:

b_f: Largura da mesa comprimida.

$$b_f : \underline{500.00} \text{ mm}$$

t_f: Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{25.00} \text{ mm}$$

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

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

Sendo:



LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

54 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$\lambda_r = 0.95 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)/k_c}}$$

λ_r : $\frac{16.96}{}$

Sendo:

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

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

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \rightarrow 0.35 \leq k_c \leq 0.76$$

k_c : $\frac{0.38}{}$

Onde:

h: Altura da seção.

h : $\frac{1350.00}{\text{mm}}$

t_w: Espessura da alma.

t_w : $\frac{12.50}{\text{mm}}$

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

M_{pl} : $\frac{804.747}{\text{t}}$

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

Z_x : $\frac{22882.81}{\text{cm}^3}$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

M_r : $\frac{505.740}{\text{t}\cdot\text{m}}$

Sendo:

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

W_x : $\frac{20543.71}{\text{cm}^3}$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : $\frac{1.10}{}$

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

$$\lambda > \lambda_p$$

108.00 > **90.53**

$$\lambda \leq \lambda_r$$

108.00 ≤ **137.24**

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

M_{Rd} : $\frac{703.619}{\text{t}\cdot\text{m}}$

Onde:

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

λ : $\frac{108.00}{}$

Sendo:

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

h : $\frac{1350.00}{\text{mm}}$



LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

55 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

 t_w : Espessura da alma. t_w : 12.50 mm

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

 λ_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

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

 λ_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

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

 M_{pl} : 804.747 t

Onde:

 Z_x : Módulo de resistência plástico. Z_x : 22882.81 cm³ f_y : Resistência ao escoamento do aço. f_y : 3516.82 kgf/cm²

$$M_r = W \cdot f_y$$

 M_r : 722.485 t·m

Sendo:

 W_x : Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. W_x : 20543.71 cm³ f_y : Resistência ao escoamento do aço. f_y : 3516.82 kgf/cm² γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material. γ_{a1} : 1.10**Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

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

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

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

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

Deve satisfazer:

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

 η : 0.248 ✓



O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N8, para a combinação de ações $1.5 \cdot PP + 1.5 \cdot \text{Carga Permanente} + 1.5 \cdot \text{Sobrecarga}(1)$.

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

$$V_{sd} : \underline{31.011} \text{ t}$$

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

$$\lambda > \lambda_r$$

$$108.00 > 73.76$$

$$V_{Rd} = 1.24 \cdot \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$V_{Rd} : \underline{125.166} \text{ t}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{108.00}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{1350.00} \text{ mm}$$

t_w : Espessura da alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_p : \underline{59.22}$$

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

$$\lambda_r : \underline{73.76}$$

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.

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

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

$$V_{pl} : \underline{369.266} \text{ t}$$

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = d \cdot t_w$$

$$A_w : \underline{175.00} \text{ cm}^2$$

d : Altura total da seção transversal.

$$d : \underline{1400.00} \text{ mm}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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

Não existe interação entre o esforço axial e o momento fletor nem entre momentos flectores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária.

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

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



MEMORIAL DE CÁLCULO

MEMORIALCAL-082025

REV.

0

LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

57 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

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

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

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

Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.



Barra N4/N7

Perfil: VS1400X329**Material: Aço (A-572 345MPa)**

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas				
		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N4	N7	1.500	418.75	1438059.90	52105.31	608.72
<i>Notas:</i> ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme						
	Flambagem		Flambagem lateral			
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	1.500	1.500	0.000	0.000		
C _b	-		1.000			
<i>Notação:</i> β: 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)

A verificação não procede, já que não há força axial de compressão.

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)

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

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

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.541} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N4, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CargaPermanente+1.5·Sobrecarga(1).

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

M_{sd}⁺ : 379.839 t·m

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

108.00 ≤ **137.24**

Onde:



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

$$\lambda : \underline{108.00}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{1350.00} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

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

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

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

$$M_{Rd} : \underline{701.988} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{Rd} : \underline{985.207} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$W_x : \underline{20543.71} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

Não é necessário, pois o comprimento de flambagem lateral é nulo.

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

$$\lambda > \lambda_p$$

$$10.00 > 9.15$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$10.00 \leq 16.96$$

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

$$M_{Rd} : \underline{701.988} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{10.00}$$

Sendo:

b_f: Largura da mesa comprimida.

$$b_f : \underline{500.00} \text{ mm}$$

t_f: Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{25.00} \text{ mm}$$

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

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

Sendo:



E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$\lambda_r = 0.95 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)/k_c}}$$

$$\lambda_r : \underline{16.96}$$

Sendo:

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

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

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \rightarrow 0.35 \leq k_c \leq 0.76$$

$$k_c : \underline{0.38}$$

Onde:

h: Altura da seção.

$$h : \underline{1350.00} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

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

$$M_{pl} : \underline{804.747} \text{ t}$$

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

$$Z_x : \underline{22882.81} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

$$M_r : \underline{505.740} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Sendo:

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

$$W_x : \underline{20543.71} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

$$\lambda > \lambda_p$$

$$108.00 > 90.53$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$108.00 \leq 137.24$$

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

$$M_{Rd} : \underline{703.619} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{108.00}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{1350.00} \text{ mm}$$



t_w : Espessura da alma.

t_w : 12.50 mm

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

λ_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

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

λ_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

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

M_{pl} : 804.747 t

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

Z_x : 22882.81 cm³

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

$$M_r = W \cdot f_y$$

M_r : 722.485 t·m

Sendo:

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

W_x : 20543.71 cm³

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

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

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

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

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

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

Deve satisfazer:

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

η : 0.256 ✓



O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N7, para a combinação de ações $1.5 \cdot PP + 1.5 \cdot \text{Carga Permanente} + 1.5 \cdot \text{Sobrecarga}(1)$.

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

$$V_{sd} : \underline{31.999} \text{ t}$$

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

$$\lambda > \lambda_r$$

$$108.00 > 73.76$$

$$V_{Rd} = 1.24 \cdot \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$V_{Rd} : \underline{125.166} \text{ t}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{108.00}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{1350.00} \text{ mm}$$

t_w : Espessura da alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_p : \underline{59.22}$$

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

$$\lambda_r : \underline{73.76}$$

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.

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

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

$$V_{pl} : \underline{369.266} \text{ t}$$

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = d \cdot t_w$$

$$A_w : \underline{175.00} \text{ cm}^2$$

d : Altura total da seção transversal.

$$d : \underline{1400.00} \text{ mm}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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

Não existe interação entre o esforço axial e o momento fletor nem entre momentos fletores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária.

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

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



MEMORIAL DE CÁLCULO

MEMORIALCAL-082025

REV.

0

LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

63 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

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

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

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

Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.



Barra N9/N8

Perfil: VS1400X329**Material: Aço (A-572 345MPa)**

Nós	Comprimento (m)		Características mecânicas			
	Inicial	Final	Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N9	N8	3.000	418.75	1438059.90	52105.31	608.72
<i>Notas:</i> ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme						
	Flambagem		Flambagem lateral			
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	3.000	3.000	0.000	0.000		
C _b	-		1.000			
<i>Notação:</i> β: 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)

A verificação não procede, já que não há força axial de compressão.

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)

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

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

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.485} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N8, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CargaPermanente+1.5·Sobrecarga(1).

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

M_{sd}⁺ : 340.741 t·m

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

108.00 ≤ **137.24**

Onde:



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

$$\lambda : \underline{108.00}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{1350.00} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

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

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

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

$$M_{Rd} : \underline{701.988} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{Rd} : \underline{985.207} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$W_x : \underline{20543.71} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

Não é necessário, pois o comprimento de flambagem lateral é nulo.

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

$$\lambda > \lambda_p$$

$$10.00 > 9.15$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$10.00 \leq 16.96$$

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

$$M_{Rd} : \underline{701.988} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{10.00}$$

Sendo:

b_f: Largura da mesa comprimida.

$$b_f : \underline{500.00} \text{ mm}$$

t_f: Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{25.00} \text{ mm}$$

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

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

Sendo:



LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

66 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

E: Módulo de elasticidade do aço.**E** : 2038736 kgf/cm²**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 3516.82 kgf/cm²

$$\lambda_r = 0.95 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)/k_c}}$$

λ_r : 16.96

Sendo:

f_y: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 3516.82 kgf/cm²

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

σ_r : 1055.05 kgf/cm²

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \rightarrow 0.35 \leq k_c \leq 0.76$$

k_c : 0.38

Onde:

h: Altura da seção.**h** : 1350.00 mm**t_w**: Espessura da alma.**t_w** : 12.50 mm

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

M_{pl} : 804.747 t

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.**Z_x** : 22882.81 cm³**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 3516.82 kgf/cm²

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

M_r : 505.740 t·m

Sendo:

W_x: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.**W_x** : 20543.71 cm³**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 3516.82 kgf/cm²

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

σ_r : 1055.05 kgf/cm²**γ_{a1}**: Coeficiente de segurança do material.**γ_{a1}** : 1.10

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

$$\lambda > \lambda_p$$

108.00 > **90.53**

$$\lambda \leq \lambda_r$$

108.00 ≤ **137.24**

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

M_{Rd} : 703.619 t·m

Onde:

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

λ : 108.00

Sendo:

h: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas.**h** : 1350.00 mm



t_w : Espessura da alma.

t_w : 12.50 mm

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

λ_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

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

λ_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

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

M_{pl} : 804.747 t

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

Z_x : 22882.81 cm³

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

$$M_r = W \cdot f_y$$

M_r : 722.485 t·m

Sendo:

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

W_x : 20543.71 cm³

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

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

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

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

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

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

Deve satisfazer:

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

η : 0.536 ✓



O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N9, para a combinação de ações $1.5 \cdot PP + 1.5 \cdot \text{Carga Permanente} + 1.5 \cdot \text{Sobrecarga}(1)$.

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

$$V_{sd} : \underline{67.140} \text{ t}$$

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

$$\lambda > \lambda_r$$

$$108.00 > 73.76$$

$$V_{Rd} = 1.24 \cdot \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$V_{Rd} : \underline{125.166} \text{ t}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{108.00}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{1350.00} \text{ mm}$$

t_w : Espessura da alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_p : \underline{59.22}$$

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

$$\lambda_r : \underline{73.76}$$

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.

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

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

$$V_{pl} : \underline{369.266} \text{ t}$$

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = d \cdot t_w$$

$$A_w : \underline{175.00} \text{ cm}^2$$

d : Altura total da seção transversal.

$$d : \underline{1400.00} \text{ mm}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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

Não existe interação entre o esforço axial e o momento fletor nem entre momentos flectores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária.

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

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



MEMORIAL DE CÁLCULO

MEMORIALCAL-082025

REV.

0

LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

69 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

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

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

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

Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.



Barra N7/N10

Perfil: VS1400X329**Material: Aço (A-572 345MPa)**

Nós	Comprimento (m)	Características mecânicas				
		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N7	N10	4.500	418.75	1438059.90	52105.31	608.72
<i>Notas:</i> ⁽¹⁾ Inércia em relação ao eixo indicado ⁽²⁾ Momento de inércia à torção uniforme						
	Flambagem		Flambagem lateral			
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	4.500	4.500	0.000	0.000		
C _b	-		1.000			
<i>Notação:</i> β: 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)

A verificação não procede, já que não há força axial de compressão.

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)

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

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

Deve satisfazer:

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

$$\eta : \underline{0.482} \quad \checkmark$$

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N7, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·Carga Permanente+1.5·Sobrecarga(1).

M_{sd}⁺: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.**M_{sd}⁺**: 338.519 t·mJá que ' $\lambda \leq \lambda_r$ ', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G).

$$108.00 \leq 137.24$$

Onde:



LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

71 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

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

$$\lambda : \underline{108.00}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{1350.00} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

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

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

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

$$M_{Rd} : \underline{701.988} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{Rd} : \underline{985.207} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$W_x : \underline{20543.71} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

Não é necessário, pois o comprimento de flambagem lateral é nulo.

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

$$\lambda > \lambda_p$$

$$10.00 > 9.15$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$10.00 \leq 16.96$$

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

$$M_{Rd} : \underline{701.988} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{10.00}$$

Sendo:

b_f: Largura da mesa comprimida.

$$b_f : \underline{500.00} \text{ mm}$$

t_f: Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{25.00} \text{ mm}$$

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

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

Sendo:



LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

72 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

E: Módulo de elasticidade do aço.**E** : 2038736 kgf/cm²**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 3516.82 kgf/cm²

$$\lambda_r = 0.95 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)/k_c}}$$

λ_r : 16.96

Sendo:

f_y: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 3516.82 kgf/cm²

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

σ_r : 1055.05 kgf/cm²

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \rightarrow 0.35 \leq k_c \leq 0.76$$

k_c : 0.38

Onde:

h: Altura da seção.**h** : 1350.00 mm**t_w**: Espessura da alma.**t_w** : 12.50 mm

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

M_{pl} : 804.747 t

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.**Z_x** : 22882.81 cm³**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 3516.82 kgf/cm²

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

M_r : 505.740 t·m

Sendo:

W_x: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão.**W_x** : 20543.71 cm³**f_y**: Resistência ao escoamento do aço.**f_y** : 3516.82 kgf/cm²

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

σ_r : 1055.05 kgf/cm²**γ_{a1}**: Coeficiente de segurança do material.**γ_{a1}** : 1.10

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

$$\lambda > \lambda_p$$

108.00 > **90.53**

$$\lambda \leq \lambda_r$$

108.00 ≤ **137.24**

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

M_{Rd} : 703.619 t·m

Onde:

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

λ : 108.00

Sendo:

h: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas.**h** : 1350.00 mm



t_w : Espessura da alma.

t_w : 12.50 mm

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

λ_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

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

λ_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

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

M_{pl} : 804.747 t

Onde:

Z_x : Módulo de resistência plástico.

Z_x : 22882.81 cm³

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

$$M_r = W \cdot f_y$$

M_r : 722.485 t·m

Sendo:

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

W_x : 20543.71 cm³

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 3516.82 kgf/cm²

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : 1.10

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

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

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

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

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

Deve satisfazer:

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

η : 0.471 ✓



O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N10, para a combinação de ações $1.5 \cdot PP + 1.5 \cdot \text{Carga Permanente} + 1.5 \cdot \text{Sobrecarga}(1)$.

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

$$V_{sd} : \underline{58.983} \text{ t}$$

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

$$\lambda > \lambda_r$$

$$108.00 > 73.76$$

$$V_{Rd} = 1.24 \cdot \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$V_{Rd} : \underline{125.166} \text{ t}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{108.00}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{1350.00} \text{ mm}$$

t_w : Espessura da alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_p : \underline{59.22}$$

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

$$\lambda_r : \underline{73.76}$$

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.

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

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

$$V_{pl} : \underline{369.266} \text{ t}$$

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = d \cdot t_w$$

$$A_w : \underline{175.00} \text{ cm}^2$$

d : Altura total da seção transversal.

$$d : \underline{1400.00} \text{ mm}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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

Não existe interação entre o esforço axial e o momento fletor nem entre momentos flectores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária.

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

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



MEMORIAL DE CÁLCULO

MEMORIALCAL-082025

REV.

0

LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

75 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

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

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

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

Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.



Barra N5/N3

Perfil: VS1400X329**Material: Aço (A-572 345MPa)**

Nós	Comprimento (m)		Características mecânicas			
	Inicial	Final	Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N5	N3	0.250	418.75	1438059.90	52105.31	608.72
Notas: (¹) Inércia em relação ao eixo indicado (²) Momento de inércia à torção uniforme						
	Flambagem		Flambagem lateral			
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	0.250	0.250	0.000	0.000		
C _b	-		1.000			
Notação: β: Coeficiente de flambagem L _K : Comprimento de flambagem (m) C _b : Fator de modificação para o momento crítico						

Limitação do índice de esbeltez (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.4)

A verificação não procede, já que não há força axial de compressão.

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

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

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

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

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

Deve satisfazer:

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

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CargaPermanente+1.5·Sobrecarga(1).

M_{sd}: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável.**M_{sd}**: 0.187 t·mJá que ' $\lambda \leq \lambda_r$ ', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G).

$$108.00 \leq 137.24$$

Onde:



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

$$\lambda : \underline{108.00}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{1350.00} \text{ mm}$$

t_w: Espessura da alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

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

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

Sendo:

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

$$M_{Rd} : \underline{701.988} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$M_{Rd} : \underline{985.207} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$W_x : \underline{20543.71} \text{ cm}^3$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

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

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

Não é necessário, pois o comprimento de flambagem lateral é nulo.

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

$$\lambda > \lambda_p$$

$$10.00 > 9.15$$

$$\lambda \leq \lambda_r$$

$$10.00 \leq 16.96$$

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

$$M_{Rd} : \underline{701.988} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{10.00}$$

Sendo:

b_f: Largura da mesa comprimida.

$$b_f : \underline{500.00} \text{ mm}$$

t_f: Espessura da mesa comprimida.

$$t_f : \underline{25.00} \text{ mm}$$

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

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

Sendo:



LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

78 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

E: Módulo de elasticidade do aço.

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

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$\lambda_r = 0.95 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)/k_c}}$$

λ_r : $\frac{16.96}{}$

Sendo:

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

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

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \rightarrow 0.35 \leq k_c \leq 0.76$$

k_c : $\frac{0.38}{}$

Onde:

h: Altura da seção.

h : $\frac{1350.00}{\text{mm}}$

t_w: Espessura da alma.

t_w : $\frac{12.50}{\text{mm}}$

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

M_{pl} : $\frac{804.747}{\text{t}}$

Onde:

Z_x: Módulo de resistência plástico.

Z_x : $\frac{22882.81}{\text{cm}^3}$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

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

M_r : $\frac{505.740}{\text{t}\cdot\text{m}}$

Sendo:

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

W_x : $\frac{20543.71}{\text{cm}^3}$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

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

$$\sigma_r = 0.30 \cdot f_y$$

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

γ_{a1}: Coeficiente de segurança do material.

γ_{a1} : $\frac{1.10}{}$

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

$$\lambda > \lambda_p$$

108.00 > **90.53**

$$\lambda \leq \lambda_r$$

108.00 ≤ **137.24**

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

M_{Rd} : $\frac{703.619}{\text{t}\cdot\text{m}}$

Onde:

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

λ : $\frac{108.00}{}$

Sendo:

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

h : $\frac{1350.00}{\text{mm}}$



LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

79 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

 t_w : Espessura da alma. t_w : 12.50 mm

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

 λ_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

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

 λ_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

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

 M_{pl} : 804.747 t

Onde:

 Z_x : Módulo de resistência plástico. Z_x : 22882.81 cm³ f_y : Resistência ao escoamento do aço. f_y : 3516.82 kgf/cm²

$$M_r = W \cdot f_y$$

 M_r : 722.485 t·m

Sendo:

 W_x : Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. W_x : 20543.71 cm³ f_y : Resistência ao escoamento do aço. f_y : 3516.82 kgf/cm² γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material. γ_{a1} : 1.10**Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2)

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

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

A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

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

Deve satisfazer:

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

 η : 0.012 ✓



O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações $1.5 \cdot PP + 1.5 \cdot \text{Carga Permanente} + 1.5 \cdot \text{Sobrecarga}(1)$.

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

$$V_{sd} : \underline{1.499} \text{ t}$$

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

$$\lambda > \lambda_r$$

$$108.00 > 73.76$$

$$V_{Rd} = 1.24 \cdot \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$V_{Rd} : \underline{125.166} \text{ t}$$

Onde:

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

$$\lambda : \underline{108.00}$$

Sendo:

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

$$h : \underline{1350.00} \text{ mm}$$

t_w : Espessura da alma.

$$t_w : \underline{12.50} \text{ mm}$$

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

$$\lambda_p : \underline{59.22}$$

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

$$\lambda_r : \underline{73.76}$$

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.

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

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

$$V_{pl} : \underline{369.266} \text{ t}$$

Sendo:

A_w : Área efetiva ao cisalhamento.

$$A_w = d \cdot t_w$$

$$A_w : \underline{175.00} \text{ cm}^2$$

d : Altura total da seção transversal.

$$d : \underline{1400.00} \text{ mm}$$

γ_{a1} : Coeficiente de segurança do material.

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

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

Não existe interação entre o esforço axial e o momento fletor nem entre momentos flectores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária.

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

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



MEMORIAL DE CÁLCULO

MEMORIALCAL-082025

REV.

0

LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

81 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

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

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

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

Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.



Verificação E.L.U. (Resumido)

Barras	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N_t	N_c	M_x	M_y	V_x	V_y	NM_xM_y	T	NMVT	$\sigma \tau f$	
N1/N2	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0.25 m $\eta < 0.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	x: 0.25 m $\eta = 1.2$	N.A. ⁽⁶⁾	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽⁸⁾	N.A. ⁽⁹⁾	PASSA $\eta = 1.2$
N2/N11	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 92.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	x: 0 m $\eta = 95.2$	N.A. ⁽⁶⁾	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽⁸⁾	N.A. ⁽⁹⁾	PASSA $\eta = 95.2$
N11/N9	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 1.5 m $\eta = 23.7$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	x: 0 m $\eta = 60.8$	N.A. ⁽⁶⁾	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽⁸⁾	N.A. ⁽⁹⁾	PASSA $\eta = 60.8$
N9/N8	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 3 m $\eta = 48.5$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	x: 0 m $\eta = 53.6$	N.A. ⁽⁶⁾	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽⁸⁾	N.A. ⁽⁹⁾	PASSA $\eta = 53.6$
N8/N6	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 1.5 m $\eta = 54.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	x: 0 m $\eta = 24.8$	N.A. ⁽⁶⁾	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽⁸⁾	N.A. ⁽⁹⁾	PASSA $\eta = 54.2$
N6/N4	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0.75 m $\eta = 54.4$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	x: 1.5 m $\eta = 4.0$	N.A. ⁽⁶⁾	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽⁸⁾	N.A. ⁽⁹⁾	PASSA $\eta = 54.4$
N4/N7	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 54.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	x: 1.5 m $\eta = 25.6$	N.A. ⁽⁶⁾	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽⁸⁾	N.A. ⁽⁹⁾	PASSA $\eta = 54.1$
N7/N10	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 48.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	x: 4.5 m $\eta = 47.1$	N.A. ⁽⁶⁾	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽⁸⁾	N.A. ⁽⁹⁾	PASSA $\eta = 48.2$
N10/N12	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta = 19.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	x: 1.5 m $\eta = 54.3$	N.A. ⁽⁶⁾	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽⁸⁾	N.A. ⁽⁹⁾	PASSA $\eta = 54.3$
N12/N5	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 7.25 m $\eta = 87.2$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	x: 7.25 m $\eta = 89.0$	N.A. ⁽⁶⁾	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽⁸⁾	N.A. ⁽⁹⁾	PASSA $\eta = 89.0$
N5/N3	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽²⁾	N.A. ⁽³⁾	x: 0 m $\eta < 0.1$	N.A. ⁽⁴⁾	N.A. ⁽⁵⁾	x: 0 m $\eta = 1.2$	N.A. ⁽⁶⁾	N.A. ⁽⁷⁾	N.A. ⁽⁸⁾	N.A. ⁽⁹⁾	PASSA $\eta = 1.2$

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_xM_y : Resistência ao esforço axial e flexão combinados

T: Resistência à torção

NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante

$\sigma \tau f$: 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 procede, já que não há força axial de compressão.

⁽²⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

⁽³⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.

⁽⁴⁾ A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.

⁽⁵⁾ A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.

⁽⁶⁾ Não existe interação entre o esforço axial e o momento fletor nem entre momentos fletores em ambas as direções para nenhuma combinação. Portanto, a verificação não é necessária.

⁽⁷⁾ A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.

⁽⁸⁾ Não há interação entre a força axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.

⁽⁹⁾ 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.



4.1.2.2.5. Verificação das Emendas

1) Chapas de Emenda

Componente	Verificação	Unidades	Desfavorável	Resistente	Aprov. (%)
Cobrejuntas externas da mesa superior	Compressão	kN	593.25	1443.18	41.11
	Esmagamento	kN	37.08	229.39	16.16
	Rasgamento	kN	0.00	1384.19	0.00
	Fletor	--	--	--	0.00
Cobrejuntas internas da mesa superior	Compressão	kN	296.63	635.00	46.71
	Esmagamento	kN	37.08	229.39	16.16
	Rasgamento	kN	0.00	1006.70	0.00
	Fletor	--	--	--	0.00
Cobrejuntas de alma	Esmagamento	kN	20.80	184.04	11.30
	Rasgamento	kN	329.32	1736.73	18.96
Cobrejuntas internas da mesa inferior	Tração	kN	296.63	624.75	47.48
	Esmagamento	kN	37.08	210.00	17.66
	Rasgamento	kN	296.63	1006.70	29.47
	Fletor	--	--	--	0.00
Cobrejuntas externas da mesa inferior	Tração	kN	593.25	1443.18	41.11
	Esmagamento	kN	37.08	210.00	17.66
	Rasgamento	kN	593.25	1384.19	42.86
	Fletor	--	--	--	0.00

– Aba superior

Parafusos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3)

Cisalhamento

A força de cisalhamento resistente de cálculo de um parafuso ou barra redonda rosqueada é, por plano de corte, igual a:

a) para parafusos de alta resistência e barras redondas rosqueadas, quando o plano de corte passa pela rosca e para parafusos comuns em qualquer situação:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,4 A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

onde A_b é a área bruta, baseada no diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada, d_b , dada em 6.3.2.2.

Pressão de contato em furos

A força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda, é dada por:



a) no caso de furos-padrão, furos alargados, furos pouco alongados em qualquer direção e furos muito alongados na direção da força:

- quando a deformação no furo para forças de serviço for uma limitação de projeto

$$F_{c,Rd} = \frac{1,2L_f t f_u}{\gamma_{a2}} \leq 2,4 d_b t f_u / \gamma_{a2}$$

onde:

L_f: Distância, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda livre.

d_b: Diâmetro do parafuso.

t: Espessura da parte ligada.

f_u: Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

Tração e cisalhamento combinados

Quando ocorrer a ação simultânea de tração e cisalhamento, deve ser atendida a seguinte equação de interação:

$$\left(\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1,0$$

onde:

F_{t,Sd}: Força de tração solicitante de cálculo por parafuso ou barra redonda rosqueada.

F_{v,Sd}: Força de cisalhamento solicitante de cálculo no plano considerado do parafuso ou barra redonda rosqueada.

F_{t,Rd} e F_{v,Rd} são dados respectivamente em F_{v,Rd}

Alternativamente ao uso da equação da interação, a força de tração solicitante de cálculo (F_{t,Sd}) por parafuso ou barra redonda rosqueada deve atender às exigências:

Meio de ligação	Limitação adicional do valor da força de tração solicitante de cálculo por parafuso ou barra redonda rosqueada
Parafusos ASTM A325	$F_{t,Sd} \leq f_{ub} A_b / \gamma_{a2} - 1,90 F_{v,Sd}$ (1)
	$F_{t,Sd} \leq f_{ub} A_b / \gamma_{a2} - 1,50 F_{v,Sd}$ (2)
<small>(1) Plano de corte passa pela rosca. (2) Plano de corte não passa pela rosca.</small>	

Pega longa

Exceto nos casos dos parafusos de alta resistência montados com protensão inicial, quando o comprimento de pega excede 5 d_b, a força de cisalhamento resistente de cálculo dos parafusos ou barras redondas rosqueadas deve ser reduzida em 1% para cada 1,5 mm adicionais de pega (d_b é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada).

Espaçamento mínimo entre furos

A distância entre centros de furos-padrão, alargados ou alongados, não pode ser inferior a 2,7 d_b, sendo d_b o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

Espaçamento máximo entre parafusos



O espaçamento máximo entre parafusos que ligam uma chapa a um perfil ou a outra chapa, em contato contínuo, deve ser determinado como a seguir:

- a) em elementos pintados ou não sujeitos à corrosão, o espaçamento não pode exceder 24 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 300 mm;
- b) em elementos sujeitos à corrosão atmosférica, executados com aços resistentes à corrosão, não pintados, o espaçamento não pode exceder 14 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 180 mm.

Distância mínima de um furo às bordas

Furos-padrão

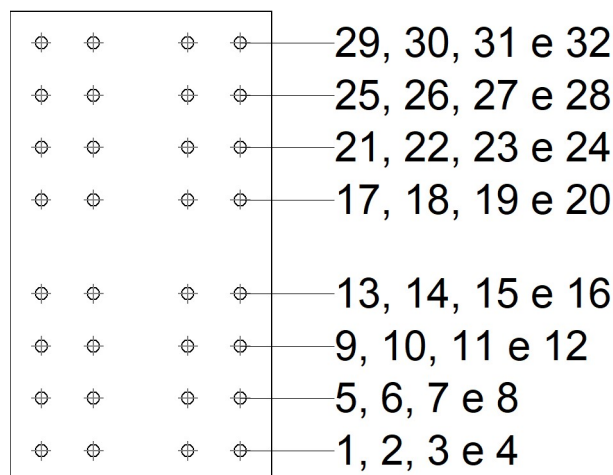
A distância do centro de um furo-padrão a qualquer borda de uma parte ligada não pode ser inferior ao valor indicado na Tabela 14, na qual d_b é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

Tabela 14 - Distância mínima do centro de um furo-padrão à borda

Diâmetro d_b pol	Borda cortada com serra ou tesoura (mm)	Borda laminada ou cortada a maçarico (mm)
	1"	44

Distância máxima de um parafuso ou barra rosqueada às bordas

Para qualquer borda de uma parte ligada, a distância do centro do parafuso, ou barra redonda rosqueada, mais próximo até essa borda não pode exceder a 12 vezes a espessura da parte ligada considerada, nem 150 mm.



Disposições construtivas

Parafuso	Descrição	Diâmetro do furo (mm)	Distâncias de um furo às bordas		Distâncias entre furos	
			x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)
1	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	60	100	100



MEMORIAL DE CÁLCULO

MEMORIALCAL-082025

REV.

0

LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

86 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

Disposições construtivas

Parafuso	Descrição	Diâmetro do furo (mm)	Distâncias de um furo às bordas		Distâncias entre furos	
			x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)
2	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	60	100	100
3	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	60	100	100
4	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	60	100	100
5	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
6	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
7	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
8	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
9	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
10	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
11	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
12	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
13	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
14	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
15	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
16	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
17	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
18	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
19	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
20	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
21	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
22	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
23	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
24	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
25	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
26	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
27	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
28	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
29	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	60	100	100
30	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	60	100	100
31	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	60	100	100
32	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	60	100	100

--: Não precisa ser considerado.

Resistência

Parafuso	Cisalhamento				Aprov. Máx. (%)
	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	
1	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
2	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
3	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
4	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94



MEMORIAL DE CÁLCULO

MEMORIALCAL-082025

REV.

0

LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

87 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

Resistência

Parafuso	Cisalhamento				Aprov. Máx. (%)
	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	
5	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	29.94
	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	
6	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	29.94
	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	
7	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	29.94
	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	
8	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	29.94
	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	
9	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	29.94
	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	
10	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	29.94
	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	
11	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	29.94
	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	
12	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	29.94
	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	
13	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	29.94
	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	
14	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	29.94
	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	
15	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	29.94
	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	
16	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	29.94
	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	
17	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	29.94
	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	
18	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	29.94
	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	
19	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	29.94
	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	
20	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	29.94
	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	
21	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	29.94
	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	
22	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	29.94
	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	
23	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	29.94
	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	
24	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	29.94
	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	
25	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	29.94
	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	

**Resistência**

Parafuso	Cisalhamento				Aprov. Máx. (%)
	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	
26	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
27	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
28	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
29	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
30	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
31	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
32	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	

– Alma

Parafusos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3)*Cisalhamento*

A força de cisalhamento resistente de cálculo de um parafuso ou barra redonda rosqueada é, por plano de corte, igual a:

a) para parafusos de alta resistência e barras redondas rosqueadas, quando o plano de corte passa pela rosca e para parafusos comuns em qualquer situação:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,4 A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

onde A_b é a área bruta, baseada no diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada, d_b , dada em 6.3.2.2.

Pressão de contato em furos

A força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda, é dada por:

a) no caso de furos-padrão, furos alargados, furos pouco alongados em qualquer direção e furos muito alongados na direção da força:

- quando a deformação no furo para forças de serviço for uma limitação de projeto

$$F_{c,Rd} = \frac{1,2 L_f t f_u}{\gamma_{a2}} \leq 2,4 d_b t f_u / \gamma_{a2}$$

onde:

L_f : Distância, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda livre.



d_b: Diâmetro do parafuso.

t: Espessura da parte ligada.

f_u: Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

Tração e cisalhamento combinados

Quando ocorrer a ação simultânea de tração e cisalhamento, deve ser atendida a seguinte equação de interação:

$$\left(\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1,0$$

onde:

F_{t,Sd}: Força de tração solicitante de cálculo por parafuso ou barra redonda rosqueada.

F_{v,Sd}: Força de cisalhamento solicitante de cálculo no plano considerado do parafuso ou barra redonda rosqueada.

F_{t,Rd} e F_{v,Rd} são dados respectivamente em F_{v,Rd}

Alternativamente ao uso da equação da interação, a força de tração solicitante de cálculo (F_{t,Sd}) por parafuso ou barra redonda rosqueada deve atender às exigências:

Meio de ligação	Limitação adicional do valor da força de tração solicitante de cálculo por parafuso ou barra redonda rosqueada
Parafusos ASTM A325	$F_{t,Sd} \leq f_{ub} A_b / \gamma_{a2} - 1,90 F_{v,Sd}$ (1)
	$F_{t,Sd} \leq f_{ub} A_b / \gamma_{a2} - 1,50 F_{v,Sd}$ (2)
<small>(1) Plano de corte passa pela rosca. (2) Plano de corte não passa pela rosca.</small>	

Pega longa

Exceto nos casos dos parafusos de alta resistência montados com protensão inicial, quando o comprimento de pega excede 5 d_b, a força de cisalhamento resistente de cálculo dos parafusos ou barras redondas rosqueadas deve ser reduzida em 1% para cada 1,5 mm adicionais de pega (d_b é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada).

Espaçamento mínimo entre furos

A distância entre centros de furos-padrão, alargados ou alongados, não pode ser inferior a 2,7 d_b, sendo d_b o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

Espaçamento máximo entre parafusos

O espaçamento máximo entre parafusos que ligam uma chapa a um perfil ou a outra chapa, em contato contínuo, deve ser determinado como a seguir:

- em elementos pintados ou não sujeitos à corrosão, o espaçamento não pode exceder 24 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 300 mm;
- em elementos sujeitos à corrosão atmosférica, executados com aços resistentes à corrosão, não pintados, o espaçamento não pode exceder 14 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 180 mm.



Distância mínima de um furo às bordas

Furos-padrão

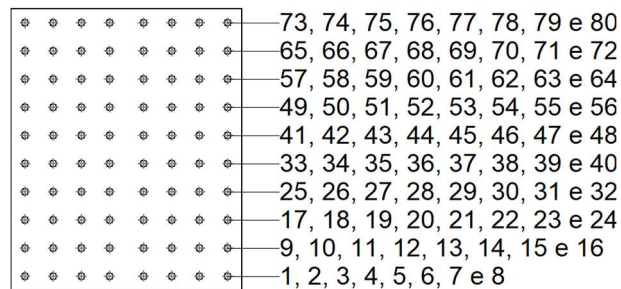
A distância do centro de um furo-padrão a qualquer borda de uma parte ligada não pode ser inferior ao valor indicado na Tabela 14, na qual d_b é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

Tabela 14 - Distância mínima do centro de um furo-padrão à borda

Diâmetro d_b pol	Borda cortada com serra ou tesoura (mm)	Borda laminada ou cortada a maçarico (mm)
1"	44	32

6.3.12 Distância máxima de um parafuso ou barra rosqueada às bordas

Para qualquer borda de uma parte ligada, a distância do centro do parafuso, ou barra redonda rosqueada, mais próximo até essa borda não pode exceder a 12 vezes a espessura da parte ligada considerada, nem 150 mm.



Disposições construtivas

Parafuso	Descrição	Diâmetro do furo (mm)	Distâncias de um furo às bordas		Distâncias entre furos	
			x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)
1	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	50	100	100
2	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	50	100	100
3	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	50	100	100
4	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	50	100	100
5	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	50	100	100
6	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	50	100	100
7	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	50	100	100
8	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	50	100	100
9	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
10	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
11	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
12	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
13	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
14	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
15	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100



MEMORIAL DE CÁLCULO

MEMORIALCAL-082025

REV.

0

LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

91 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

Disposições construtivas

Parafuso	Descrição	Diâmetro do furo (mm)	Distâncias de um furo às bordas		Distâncias entre furos	
			x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)
16	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
17	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
18	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
19	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
20	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
21	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
22	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
23	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
24	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
25	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
26	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
27	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
28	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
29	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
30	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
31	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
32	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
33	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
34	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
35	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
36	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
37	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
38	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
39	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
40	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
41	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
42	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
43	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
44	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
45	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
46	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
47	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
48	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
49	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
50	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
51	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
52	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
53	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
54	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
55	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
56	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
57	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	50	100	100
58	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	50	100	100



MEMORIAL DE CÁLCULO

MEMORIALCAL-082025

REV.

0

LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

92 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

Disposições construtivas

Parafuso	Descrição	Diâmetro do furo (mm)	Distâncias de um furo às bordas		Distâncias entre furos	
			x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)
59	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	50	100	100
60	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	50	100	100
61	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	50	100	100
62	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	50	100	100
63	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	50	100	100
64	1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	50	100	100

--: Não precisa ser considerado.

Resistência

Parafuso	Cisalhamento				Aprov. Máx. (%)
	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	
1	Seção transversal	41.598	247.724	16.79	16.79
	Esmagamento	41.598	254.000	16.38	
2	Seção transversal	36.084	247.724	14.57	14.57
	Esmagamento	36.084	254.000	14.21	
3	Seção transversal	31.451	247.724	12.70	12.70
	Esmagamento	31.451	254.000	12.38	
4	Seção transversal	28.140	247.724	11.36	11.36
	Esmagamento	28.140	254.000	11.08	
5	Seção transversal	41.598	247.724	16.79	16.79
	Esmagamento	41.598	254.000	16.38	
6	Seção transversal	36.084	247.724	14.57	14.57
	Esmagamento	36.084	254.000	14.21	
7	Seção transversal	31.451	247.724	12.70	12.70
	Esmagamento	31.451	254.000	12.38	
8	Seção transversal	28.140	247.724	11.36	11.36
	Esmagamento	28.140	254.000	11.08	
9	Seção transversal	37.200	247.724	15.02	15.02
	Esmagamento	37.200	254.000	14.65	
10	Seção transversal	30.911	247.724	12.48	12.48
	Esmagamento	30.911	254.000	12.17	
11	Seção transversal	25.350	247.724	10.23	10.23
	Esmagamento	25.350	254.000	9.98	
12	Seção transversal	21.102	247.724	8.52	8.52
	Esmagamento	21.102	254.000	8.31	
13	Seção transversal	37.200	247.724	15.02	15.02
	Esmagamento	37.200	254.000	14.65	
14	Seção transversal	30.911	247.724	12.48	12.48
	Esmagamento	30.911	254.000	12.17	
15	Seção transversal	25.350	247.724	10.23	10.23
	Esmagamento	25.350	254.000	9.98	
16	Seção transversal	21.102	247.724	8.52	8.52
	Esmagamento	21.102	254.000	8.31	

**MEMORIAL DE CÁLCULO****MEMORIALCAL-082025**

REV.

0

LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

93 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m**Resistência**

Parafuso	Cisalhamento				Aprov. Máx. (%)
	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	
17	Seção transversal	33.953	247.724	13.71	13.71
	Esmagamento	33.953	254.000	13.37	
18	Seção transversal	26.916	247.724	10.87	10.87
	Esmagamento	26.916	254.000	10.60	
19	Seção transversal	20.288	247.724	8.19	8.19
	Esmagamento	20.288	254.000	7.99	
20	Seção transversal	14.638	247.724	5.91	7.40
	Esmagamento	16.977	229.390	7.40	
21	Seção transversal	33.953	247.724	13.71	13.71
	Esmagamento	33.953	254.000	13.37	
22	Seção transversal	26.916	247.724	10.87	10.87
	Esmagamento	26.916	254.000	10.60	
23	Seção transversal	20.288	247.724	8.19	8.19
	Esmagamento	20.288	254.000	7.99	
24	Seção transversal	14.638	247.724	5.91	5.91
	Esmagamento	14.638	254.000	5.76	
25	Seção transversal	32.207	247.724	13.00	13.00
	Esmagamento	32.207	254.000	12.68	
26	Seção transversal	24.677	247.724	9.96	9.96
	Esmagamento	24.677	254.000	9.72	
27	Seção transversal	17.208	247.724	6.95	6.95
	Esmagamento	17.208	254.000	6.77	
28	Seção transversal	9.938	247.724	4.01	7.02
	Esmagamento	16.104	229.390	7.02	
29	Seção transversal	32.207	247.724	13.00	13.00
	Esmagamento	32.207	254.000	12.68	
30	Seção transversal	24.677	247.724	9.96	9.96
	Esmagamento	24.677	254.000	9.72	
31	Seção transversal	17.208	247.724	6.95	6.95
	Esmagamento	17.208	254.000	6.77	
32	Seção transversal	9.938	247.724	4.01	4.01
	Esmagamento	9.938	254.000	3.91	
33	Seção transversal	32.207	247.724	13.00	13.00
	Esmagamento	32.207	254.000	12.68	
34	Seção transversal	24.677	247.724	9.96	9.96
	Esmagamento	24.677	254.000	9.72	
35	Seção transversal	17.208	247.724	6.95	6.95
	Esmagamento	17.208	254.000	6.77	
36	Seção transversal	9.938	247.724	4.01	7.02
	Esmagamento	16.104	229.390	7.02	
37	Seção transversal	32.207	247.724	13.00	13.00
	Esmagamento	32.207	254.000	12.68	
38	Seção transversal	24.677	247.724	9.96	9.96

**MEMORIAL DE CÁLCULO****MEMORIALCAL-082025**

REV.

0

LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

94 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m**Resistência**

Parafuso	Cisalhamento				Aprov. Máx. (%)
	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	
39	Esmagamento	24.677	254.000	9.72	6.95
	Seção transversal	17.208	247.724	6.95	
40	Esmagamento	17.208	254.000	6.77	4.01
	Seção transversal	9.938	247.724	4.01	
41	Esmagamento	9.938	254.000	3.91	13.71
	Seção transversal	33.953	247.724	13.71	
42	Esmagamento	33.953	254.000	13.37	10.87
	Seção transversal	26.916	247.724	10.87	
43	Esmagamento	26.916	254.000	10.60	8.19
	Seção transversal	20.288	247.724	8.19	
44	Esmagamento	20.288	254.000	7.99	7.40
	Seção transversal	14.638	247.724	5.91	
45	Esmagamento	16.977	229.390	7.40	13.71
	Seção transversal	33.953	247.724	13.71	
46	Esmagamento	33.953	254.000	13.37	10.87
	Seção transversal	26.916	247.724	10.87	
47	Esmagamento	26.916	254.000	10.60	8.19
	Seção transversal	20.288	247.724	8.19	
48	Esmagamento	20.288	254.000	7.99	5.91
	Seção transversal	14.638	247.724	5.91	
49	Esmagamento	14.638	254.000	5.76	15.02
	Seção transversal	37.200	247.724	15.02	
50	Esmagamento	37.200	254.000	14.65	12.48
	Seção transversal	30.911	247.724	12.48	
51	Esmagamento	30.911	254.000	12.17	10.23
	Seção transversal	25.350	247.724	10.23	
52	Esmagamento	25.350	254.000	9.98	8.52
	Seção transversal	21.102	247.724	8.52	
53	Esmagamento	21.102	254.000	8.31	15.02
	Seção transversal	37.200	247.724	15.02	
54	Esmagamento	37.200	254.000	14.65	12.48
	Seção transversal	30.911	247.724	12.48	
55	Esmagamento	30.911	254.000	12.17	10.23
	Seção transversal	25.350	247.724	10.23	
56	Esmagamento	25.350	254.000	9.98	8.52
	Seção transversal	21.102	247.724	8.52	
57	Esmagamento	21.102	254.000	8.31	16.79
	Seção transversal	41.598	247.724	16.79	
58	Esmagamento	41.598	254.000	16.38	14.57
	Seção transversal	36.084	247.724	14.57	
59	Esmagamento	36.084	254.000	14.21	12.70
	Seção transversal	31.451	247.724	12.70	
	Esmagamento	31.451	254.000	12.38	

**Resistência**

Parafuso	Cisalhamento				Aprov. Máx. (%)
	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	
60	Seção transversal	28.140	247.724	11.36	11.36
	Esmagamento	28.140	248.997	11.30	
61	Seção transversal	41.598	247.724	16.79	16.79
	Esmagamento	41.598	254.000	16.38	
62	Seção transversal	36.084	247.724	14.57	14.57
	Esmagamento	36.084	254.000	14.21	
63	Seção transversal	31.451	247.724	12.70	12.70
	Esmagamento	31.451	254.000	12.38	
64	Seção transversal	28.140	247.724	11.36	11.36
	Esmagamento	28.140	254.000	11.08	

Aba inferior

Parafusos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3)

Cisalhamento

A força de cisalhamento resistente de cálculo de um parafuso ou barra redonda rosqueada é, por plano de corte, igual a:

a) para parafusos de alta resistência e barras redondas rosqueadas, quando o plano de corte passa pela rosca e para parafusos comuns em qualquer situação:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,4 A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

onde A_b é a área bruta, baseada no diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada, d_b , dada em 6.3.2.2.

Pressão de contato em furos

A força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda, é dada por:

a) no caso de furos-padrão, furos alargados, furos pouco alongados em qualquer direção e furos muito alongados na direção da força:

- quando a deformação no furo para forças de serviço for uma limitação de projeto

$$F_{c,Rd} = \frac{1,2 L_f t f_u}{\gamma_{a2}} \leq 2,4 d_b t f_u / \gamma_{a2}$$

onde:

L_f : Distância, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda livre.

d_b : Diâmetro do parafuso.

t : Espessura da parte ligada.

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.



Tração e cisalhamento combinados

Quando ocorrer a ação simultânea de tração e cisalhamento, deve ser atendida a seguinte equação de interação:

$$\left(\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1,0$$

onde:

F_{t,Sd}: Força de tração solicitante de cálculo por parafuso ou barra redonda rosqueada.

F_{v,Sd}: Força de cisalhamento solicitante de cálculo no plano considerado do parafuso ou barra redonda rosqueada.

F_{t,Rd} e F_{v,Rd} são dados respectivamente em F_{v,Rd}

Alternativamente ao uso da equação da interação, a força de tração solicitante de cálculo (F_{t,Sd}) por parafuso ou barra redonda rosqueada deve atender às exigências:

Meio de ligação	Limitação adicional do valor da força de tração solicitante de cálculo por parafuso ou barra redonda rosqueada
Parafusos ASTM A325	$F_{t,Sd} \leq f_{ub} A_b / \gamma_{a2} - 1,90 F_{v,Sd}$ (1)
	$F_{t,Sd} \leq f_{ub} A_b / \gamma_{a2} - 1,50 F_{v,Sd}$ (2)
<small>(1) Plano de corte passa pela rosca. (2) Plano de corte não passa pela rosca.</small>	

Pega longa

Exceto nos casos dos parafusos de alta resistência montados com protensão inicial, quando o comprimento de pega excede 5 d_b, a força de cisalhamento resistente de cálculo dos parafusos ou barras redondas rosqueadas deve ser reduzida em 1% para cada 1,5 mm adicionais de pega (d_b é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada).

Espaçamento mínimo entre furos

A distância entre centros de furos-padrão, alargados ou alongados, não pode ser inferior a 2,7 d_b, sendo d_b o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

Espaçamento máximo entre parafusos

O espaçamento máximo entre parafusos que ligam uma chapa a um perfil ou a outra chapa, em contato contínuo, deve ser determinado como a seguir:

- em elementos pintados ou não sujeitos à corrosão, o espaçamento não pode exceder 24 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 300 mm;
- em elementos sujeitos à corrosão atmosférica, executados com aços resistentes à corrosão, não pintados, o espaçamento não pode exceder 14 vezes a espessura da parte ligada menos espessa, nem 180 mm.

Distância mínima de um furo às bordas

Furos-padrão



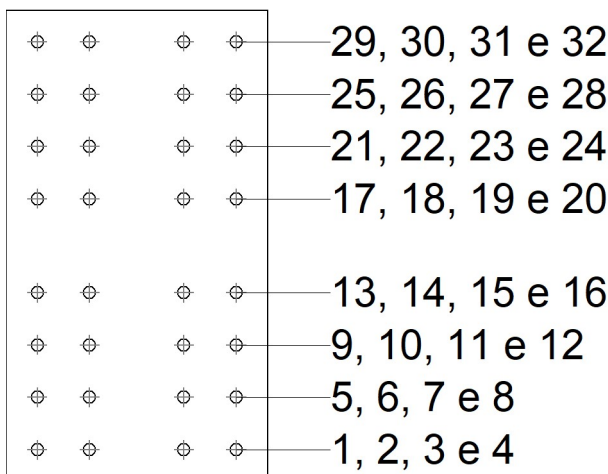
A distância do centro de um furo-padrão a qualquer borda de uma parte ligada não pode ser inferior ao valor indicado na Tabela 14, na qual d_b é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

Tabela 14 - Distância mínima do centro de um furo-padrão à borda

Diâmetro d_b pol	Borda cortada com serra ou tesoura (mm)	Borda laminada ou cortada a maçarico (mm)
1"	44	32

Distância máxima de um parafuso ou barra rosqueada às bordas

Para qualquer borda de uma parte ligada, a distância do centro do parafuso, ou barra redonda rosqueada, mais próximo até essa borda não pode exceder a 12 vezes a espessura da parte ligada considerada, nem 150 mm.



Disposições construtivas

Parafuso	Descrição	Diâmetro do furo (mm)	Distâncias de um furo às bordas		Distâncias entre furos	
			x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)
1	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	60	100	100
2	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	60	100	100
3	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	60	100	100
4	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	60	100	100
5	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
6	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
7	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
8	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
9	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
10	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
11	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
12	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
13	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
14	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100



MEMORIAL DE CÁLCULO

MEMORIALCAL-082025

REV.

0

LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

98 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

Disposições construtivas

Parafuso	Descrição	Diâmetro do furo (mm)	Distâncias de um furo às bordas		Distâncias entre furos	
			x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)
15	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
16	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
17	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
18	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
19	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
20	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
21	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
22	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
23	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
24	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
25	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
26	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
27	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	--	100	100
28	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	--	100	100
29	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	60	100	100
30	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	60	100	100
31	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	--	60	100	100
32	1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T	27.0	60	60	100	100

--: Não precisa ser considerado.

Resistência

Parafuso	Cisalhamento				Aprov. Máx. (%)
	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	
1	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	420.003	17.66	
2	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	420.003	17.66	
3	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	420.003	17.66	
4	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	420.003	17.66	
5	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
6	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
7	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
8	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
9	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
10	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	



MEMORIAL DE CÁLCULO

MEMORIALCAL-082025

REV.

0

LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

99 de 108

TÍTULO:

MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

Resistência

Parafuso	Cisalhamento				Aprov. Máx. (%)
	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	
11	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
12	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
13	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
14	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
15	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
16	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
17	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
18	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
19	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
20	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
21	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
22	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
23	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
24	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
25	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
26	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
27	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
28	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
29	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
30	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
31	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	
32	Seção transversal	74.156	247.724	29.94	29.94

**Resistência**

Parafuso	Cisalhamento				Aprov. Máx. (%)
	Verificação	Desfavorável (kN)	Resistente (kN)	Aprov. (%)	
	Esmagamento	74.156	458.780	16.16	

2) Peça A VS 1240

– Aba

Pressão de contato em furos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3.3.3)

Deve satisfazer a condição:

$$\sqrt{\left(\frac{F_{Sd,y}}{F_{c,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{Sd,z}}{F_{c,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

$$0.20 \leq 1 \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

F_{Sd,y}: -- kN

F_{Sd,z}: 109.36 kN

F_{c,Rd}: Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda.

onde:

$$F_{c,Rd,i} = \frac{1.2 l_f t f_u}{\gamma_{a2}} \leq \frac{2.4 d_b t f_u}{\gamma_{a2}}$$

F_{c,Rd,y}: -- kN

F_{c,Rd,z}: 539.58 kN

onde:

t: Espessura da parte ligada.

t: 32.5 mm

l_f: Distância livre, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda da parte ligada.

l_{f,y}: -- mm

l_{f,z}: 42 mm

d_b: Diâmetro do parafuso.

d_b: 25 mm

f_u: Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

f_u: 450.00 N/mm²

γ_{a2}: Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

γ_{a2}: 1.35

Colapso por rasgamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABNT NBR 8800:2008, 6.5.6)

Deve satisfazer a condição:

$$F_{Sd} \leq F_{t,Rd}$$

$$874.85 \text{ kN} \leq 3597.21 \text{ kN} \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

F_{Sd}: 874.85 kN

F_{t,Rd}: Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento.

F_{t,Rd}: 3597.21 kN

$$F_{t,Rd} = \min \left\{ \frac{0.5 f_u A_n}{\gamma_{a2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{a1}} \right\}$$



onde:

A_n : Área líquida sujeita à rasgamento.

$$A_n : \underline{21583} \text{ mm}^2$$

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

$$f_u : \underline{450.00} \text{ N/mm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

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

γ_{a2} : Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

$$\gamma_{a2} : \underline{1.35}$$

Tração (ABNT NBR 8800:2008, 5.2)

Deve satisfazer a condição:

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd}$$

$$874.85 \text{ kN} \leq 2665.27 \text{ kN} \checkmark$$

onde:

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

$$N_{t,Sd} : \underline{874.85} \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$: Força axial de tração resistente de cálculo.

$$N_{t,Rd} : \underline{2665.27} \text{ kN}$$

A força axial de tração resistente de cálculo, $N_{t,Rd}$, a ser usada no dimensionamento é o menor dos valores obtidos, considerando-se os estados-limites últimos de escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida, de acordo com as expressões indicadas a seguir:

a) para escoamento da seção bruta

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

$$N_{pl,Rd} : \underline{3057.95}$$

b) para ruptura da seção líquida

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}}$$

$$N_{u,Rd} : \underline{2665.27}$$

onde:

A_g : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{9750} \text{ mm}^2$$

A_e : Área líquida efetiva da seção transversal da barra.

$$A_e : \underline{7996} \text{ mm}^2$$

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ N/mm}^2$$

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

$$f_u : \underline{450.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

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

γ_{a2} : Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

$$\gamma_{a2} : \underline{1.35}$$

- Alma

Pressão de contato em furos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3.3.3)

Deve satisfazer a condição:

$$\sqrt{\left(\frac{F_{Sd,y}}{F_{c,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{Sd,z}}{F_{c,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

$$0.09 \leq 1 \checkmark$$

onde:

F_{Sd} : Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd,y} : \underline{10.41} \text{ kN}$$

$$F_{Sd,z} : \underline{13.94} \text{ kN}$$



F_{c,Rd}: Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda.

onde:

$$F_{c,Rd,i} = \frac{1.2 l_f t f_u}{\gamma_{a2}} \leq \frac{2.4 d_b t f_u}{\gamma_{a2}}$$

$$F_{c,Rd,y} : \underline{203.2} \text{ kN}$$

$$F_{c,Rd,z} : \underline{203.2} \text{ kN}$$

onde:

t: Espessura da parte ligada.

$$t : \underline{10.0} \text{ mm}$$

l_f: Distância livre, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda da parte ligada.

$$l_{f,y} : \underline{337} \text{ mm}$$

$$l_{f,z} : \underline{73} \text{ mm}$$

d_b: Diâmetro do parafuso.

$$d_b : \underline{25} \text{ mm}$$

f_u: Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

$$f_u : \underline{450.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a2}: Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

$$\gamma_{a2} : \underline{1.35}$$

Colapso por rasgamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABNT NBR 8800:2008, 6.5.6)

Deve satisfazer a condição:

$$F_{Sd} \leq F_{t,Rd}$$

$$418.66 \text{ kN} \leq 1963.67 \text{ kN} \checkmark$$

onde:

F_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd} : \underline{418.66} \text{ kN}$$

F_{t,Rd}: Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento.

$$F_{t,Rd} : \underline{1963.67} \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \min \left\{ \frac{0.5 f_u A_n}{\gamma_{a2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{a1}} \right\}$$

onde:

A_n: Área líquida sujeita à rasgamento.

$$A_n : \underline{11782} \text{ mm}^2$$

f_u: Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

$$f_u : \underline{450.00} \text{ N/mm}^2$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a1}: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

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

γ_{a2}: Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

$$\gamma_{a2} : \underline{1.35}$$

3) Peça B VS 1240

– Aba

Pressão de contato em furos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3.3.3)

Deve satisfazer a condição:

$$\sqrt{\left(\frac{F_{Sd,y}}{F_{c,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{Sd,z}}{F_{c,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

$$0.20 \leq 1 \checkmark$$

onde:

F_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd,y} : \underline{--} \text{ kN}$$

$$F_{Sd,z} : \underline{107.25} \text{ kN}$$

F_{c,Rd}: Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda.

onde:



$$F_{c,Rd,i} = \frac{1.2 l_f t f_u}{\gamma_{a2}} \leq \frac{2.4 d_b t f_u}{\gamma_{a2}}$$

$$F_{c,Rd,y} : \quad \underline{\quad \quad} \text{ kN}$$

$$F_{c,Rd,z} : \underline{539.58} \text{ kN}$$

onde:

t: Espessura da parte ligada.

$$t : \underline{32.5} \text{ mm}$$

l_f: Distância livre, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda da parte ligada.

$$l_{f,y} : \underline{\quad \quad} \text{ mm}$$

$$l_{f,z} : \underline{42} \text{ mm}$$

d_b: Diâmetro do parafuso.

$$d_b : \underline{25} \text{ mm}$$

f_u: Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

$$f_u : \underline{450.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a2}: Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

$$\gamma_{a2} : \underline{1.35}$$

Colapso por rasgamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABNT NBR 8800:2008, 6.5.6)

Deve satisfazer a condição:

$$F_{Sd} \leq F_{t,Rd}$$

$$857.97 \text{ kN} \leq 3597.21 \text{ kN} \quad \checkmark$$

onde:

F_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd} : \underline{857.97} \text{ kN}$$

F_{t,Rd}: Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento.

$$F_{t,Rd} : \underline{3597.21} \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \min \left\{ \frac{0.5 f_u A_n}{\gamma_{a2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{a1}} \right\}$$

onde:

A_n: Área líquida sujeita à rasgamento.

$$A_n : \underline{21583} \text{ mm}^2$$

f_u: Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

$$f_u : \underline{450.00} \text{ N/mm}^2$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a1}: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

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

γ_{a2}: Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

$$\gamma_{a2} : \underline{1.35}$$

Tração (ABNT NBR 8800:2008, 5.2)

Deve satisfazer a condição:

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd}$$

$$857.97 \text{ kN} \leq 2665.27 \text{ kN} \quad \checkmark$$

onde:

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

$$N_{t,Sd} : \underline{857.97} \text{ kN}$$

N_{t,Rd}: Força axial de tração resistente de cálculo.

$$N_{t,Rd} : \underline{2665.27} \text{ kN}$$

A força axial de tração resistente de cálculo, $N_{t,Rd}$, a ser usada no dimensionamento é o menor dos valores obtidos, considerando-se os estados-limites últimos de escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida, de acordo com as expressões indicadas a seguir:

a) para escoamento da seção bruta

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

$$N_{pl,Rd} : \underline{3057.95}$$

b) para ruptura da seção líquida



$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}}$$

$$N_{u,Rd} : \underline{2665.27}$$

onde:

A_g: Área bruta da seção transversal da barra.

$$A_g : \underline{9750} \text{ mm}^2$$

A_e: Área líquida efetiva da seção transversal da barra.

$$A_e : \underline{7996} \text{ mm}^2$$

f_y: Resistência ao escoamento do aço.

$$f_y : \underline{345.00} \text{ N/mm}^2$$

f_u: Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

$$f_u : \underline{450.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a1}: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

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

γ_{a2}: Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

$$\gamma_{a2} : \underline{1.35}$$

- Alma

Pressão de contato em furos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3.3.3)

Deve satisfazer a condição:

$$\sqrt{\left(\frac{F_{Sd,y}}{F_{c,Rd,y}}\right)^2 + \left(\frac{F_{Sd,z}}{F_{c,Rd,z}}\right)^2} \leq 1$$

$$0.09 \leq 1 \checkmark$$

onde:

F_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd,y} : \underline{10.41} \text{ kN}$$

$$F_{Sd,z} : \underline{13.94} \text{ kN}$$

F_{c,Rd}: Força resistente de cálculo à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda.

onde:

$$F_{c,Rd,i} = \frac{1.2 l_f t f_u}{\gamma_{a2}} \leq \frac{2.4 d_b t f_u}{\gamma_{a2}}$$

$$F_{c,Rd,y} : \underline{166.03} \text{ kN}$$

$$F_{c,Rd,z} : \underline{203.2} \text{ kN}$$

onde:

t: Espessura da parte ligada.

$$t : \underline{10.0} \text{ mm}$$

l_f: Distância livre, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda da parte ligada.

$$l_{f,y} : \underline{42} \text{ mm}$$

$$l_{f,z} : \underline{73} \text{ mm}$$

d_b: Diâmetro do parafuso.

$$d_b : \underline{25} \text{ mm}$$

f_u: Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

$$f_u : \underline{450.00} \text{ N/mm}^2$$

γ_{a2}: Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

$$\gamma_{a2} : \underline{1.35}$$

Colapso por rasgamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABNT NBR 8800:2008, 6.5.6)

Deve satisfazer a condição:

$$F_{Sd} \leq F_{t,Rd}$$

$$418.66 \text{ kN} \leq 1963.67 \text{ kN} \checkmark$$

onde:

F_{Sd}: Força cortante solicitante de cálculo.

$$F_{Sd} : \underline{418.66} \text{ kN}$$

F_{t,Rd}: Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento.

$$F_{t,Rd} : \underline{1963.67} \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \min \left\{ \frac{0.5 f_u A_n}{\gamma_{a2}}, \frac{f_y A_n}{\sqrt{3} \gamma_{a1}} \right\}$$



onde:

A_n : Área líquida sujeita à rasgamento.

A_n : 11782 mm²

f_u : Resistência à ruptura do aço da parede do furo.

f_u : 450.00 N/mm²

f_y : Resistência ao escoamento do aço.

f_y : 345.00 N/mm²

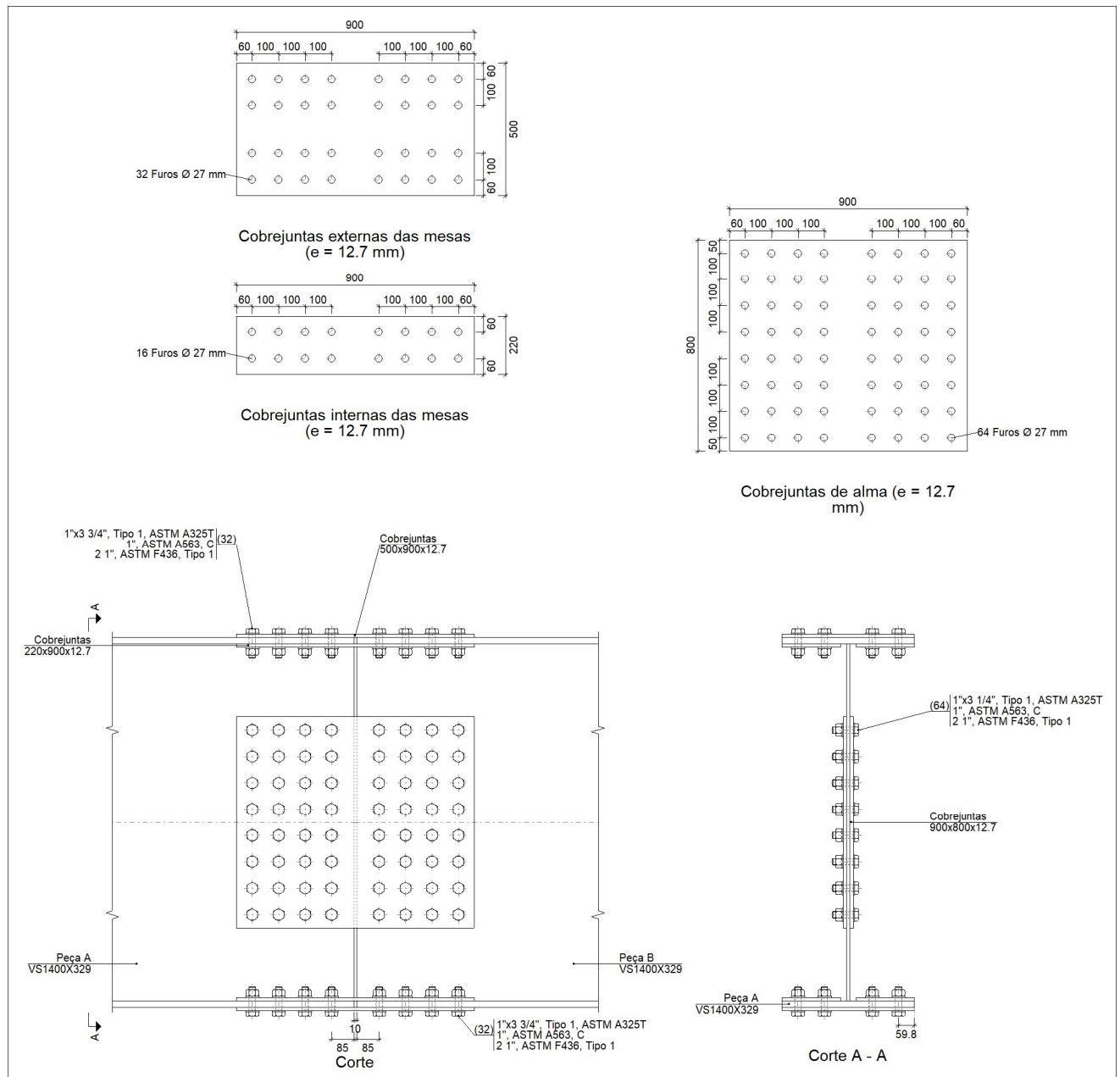
γ_{a1} : Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos.

γ_{a1} : 1.10

γ_{a2} : Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura.

γ_{a2} : 1.35

Detalhe




MEMORIAL DE CÁLCULO
MEMORIALCAL-082025

REV.

0

LOCAL:

MUNICÍPIO DE COTIPORÃ /RS

FOLHA:

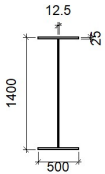
106 de 108

TÍTULO:

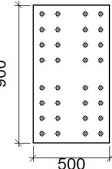
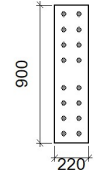
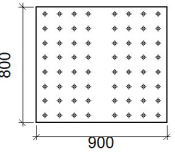
MEMORIAL DE CÁLCULO - PONTE MISTA - 30,00m x 7,50m

b) Descrição dos componentes da ligação

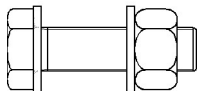
Perfis

Peça	Descrição	Geometria					Aço		
		Esquema	Altura total (mm)	Largura da aba (mm)	Espessura da mesa (mm)	Espessura da alma (mm)	Tipo	f_y (kgf/cm ²)	f_u (kgf/cm ²)
Peça	VS1400X329		1400	500	25	12.5	A-572 345MPa	3516.8	4587.2

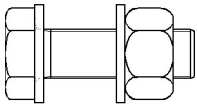
Elementos complementares

Peça	Geometria				Furos		Aço		
	Esquema	Largura (mm)	Altura (mm)	Espessura (mm)	Quantidade	Diâmetro (mm)	Tipo	f_y (kgf/cm ²)	f_u (kgf/cm ²)
Cobrejuntas		500	900	12.7	32	27	A-36 250Mpa	2548.4	4077.5
Cobrejuntas		220	900	12.7	16	27	A-36 250Mpa	2548.4	4077.5
Cobrejuntas		900	800	12.7	64	27	A-36 250Mpa	2548.4	4077.5

Parafusos

Descrição	Geometria			Aço		
	Esquema	Diâmetro	Comprimento (mm)	Classe	f_y (kgf/cm ²)	f_u (kgf/cm ²)
1"x3 3/4", Tipo 1, ASTM A325T 1", ASTM A563, C 2 1", ASTM F436, Tipo 1		1"	95.3	ASTM A325	6473.0	8409.8

**Parafusos**

Descrição	Geometria			Aço		
	Esquema	Diâmetro	Comprimento (mm)	Classe	f_y (kgf/cm ²)	f_u (kgf/cm ²)
1"x3 1/4", Tipo 1, ASTM A325T 1", ASTM A563, C 2 1", ASTM F436, Tipo 1		1"	82.6	ASTM A325	6473.0	8409.8

4.1.2.3. Tabuleiro

O dimensionamento do tabuleiro segue as especificações do Manual Geral para Dimensionamento da forma de aço colaborante para lajes mistas Steel Deck da Polydeck, modelo 59S espessura de 0,80mm, com capacidades em kg/m² (daN/m²) para sistema de 04 ou mais apoios (projeto com 05 vigas e 02 chapas de borda para apoio) conforme tabela abaixo:

ESPESSURA 0,80 mm

Espessura da Laje em cm	SISTEMA 4 APOIOS - (Vão m) - Vão máximo sem escora: 3,20 m													
	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80	4,00	4,20	4,40	4,60
11	1205	999	842	719	622	544	479							
12	1326	1099	927	792	685	598	315	256						
13	1447	1200	1012	865	748	654	341	276						
14	1569	1301	1097	937	811	450	366	296						
15	1691	1402	1182	1010	874	482	391	316	253					
16	1813	1503	1268	1084	633	514	417	336	296					
17	1936	1605	1353	1157	673	547	443	357	285					
18	2058	1707	1439	1230	714	579	469	377	301					
19	2181	1809	1525	931	754	612	495	398	317					
20	2304	1911	1611	982	795	644	521	418	333	260				
21	2427	2013	1698	1032	836	677	547	439	349	273				
22	2551	2115	1343	1083	876	710	573	460	365	285				
23	2674	2218	1407	1134	917	742	599	481	381	297				
24	2798	2321	1470	1185	958	775	626	501	397	310				
25	2922	1916	1534	1263	999	808	652	522	414	322				

Para a utilização nessa ponte verifica-se que a espessura utilizada de 20cm possui capacidade resistente de superior a 2304kg/m² uma vez que a maior distância entre os apoios é de 2,00m (entre eixo) e 1,50m (entre vigas), portanto sendo adequada para a estrutura da ponte.

A chapa de borda além de forma tem a função de apoiar o steel deck transmitindo as cargas para as transversinas externas que por sua vez descarregam nas vigas, não havendo assim segmento da laje em balanço, sendo apoiada nas laterais pelas chapas de borda e internamente pelas vigas.



5 CONCLUSÃO

Para as verificações de capacidade resistente no Estado Limite de Utilização (ELU), são mostrados os índices de utilização (Solicitação / Resistência) para cada barra do modelo. Onde a longarina interna apresentou eficiência abaixo de 1 como o desejado.

Para as verificações de uso no Estado Limite de Serviço (ELS), são mostrados os deslocamentos máximos para o caso crítico da carga móvel (trem tipo locado no centro dos vãos) e comparados os valores com o limite $L/600$.

Para a viga de 12,00m, o limite seria:

- $L / 800 = 30.000 \text{ mm} / 800 = 37,50 \text{ mm}$

O deslocamento máximo obtido por cálculo foi de 0,001482m ou 14,82mm, abaixo dos 37,50 mm estabelecidos como limite.

Conclui-se então que a estrutura satisfaz todos os requisitos dos Estados Limites Últimos e de Estados Limites de Serviço, de acordo com as premissas de projeto apresentadas.