

# **MEMORIAL DE CÁLCULO – ESTRUTURA METÁLICA DA COBERTURA DOS BLOCOS 01 E 02**

Colégio Estadual Dom Bosco  
*Setor Central – São Miguel do Araguaia/GO*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO DA OBRA .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS E REFERÊNCIAS UTILIZADAS .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>DADOS GERAIS DO PROJETO .....</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>MATERIAIS ADOTADOS.....</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....</b>	<b>5</b>
<b>6.1</b>	<b>TESOURAS PRINCIPAIS:.....</b>	<b>5</b>
<b>6.2</b>	<b>TERÇAS:.....</b>	<b>5</b>
<b>6.3</b>	<b>TIRANTES: .....</b>	<b>5</b>
<b>6.4</b>	<b>LIGAÇÕES: .....</b>	<b>6</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES ESTRUTURAIS DOS ELEMENTOS .....</b>	<b>6</b>
<b>8</b>	<b>CARGAS CONSIDERADAS.....</b>	<b>6</b>
<b>9</b>	<b>COMBINAÇÕES DE AÇÕES CONSIDERADAS.....</b>	<b>7</b>
<b>9.1</b>	<b>ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ELU) .....</b>	<b>7</b>
<b>9.2</b>	<b>ESTADO LIMITE DE SERVIÇO (ELS) .....</b>	<b>7</b>
<b>9.3</b>	<b>VERIFICAÇÃO DE FLECHAS .....</b>	<b>7</b>
<b>10</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DOS PERFIS .....</b>	<b>8</b>
<b>11</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>8</b>

<b>12</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>8</b>
<b>13</b>	<b>DOCUMENTOS COMPLEMENTARES.....</b>	<b>8</b>
	<b>ANEXO I .....</b>	<b>10</b>
	<b>ANEXO II .....</b>	<b>11</b>
	<b>ANEXO III.....</b>	<b>30</b>

## 1 IDENTIFICAÇÃO DA OBRA

**Contratante:** Secretaria de Estado da Educação de Goiás – SEDUC - GO

**CNPJ:** 01.409.705.0001-20

**Unidade Escolar:** Colégio Estadual Dom Bosco

**Endereço:** Rua 02, nº171, Setor Central, São Miguel do Araguaia - CEP: 76.590-000

**CRE:** São Miguel do Araguaia /GO

**Responsável Técnico :** Eng. Civil Camilla Batista dos Anjos Grigoletto - CREA

1018488731/D-GO

**Data:** Julho/2025

## 2 OBJETIVO

Este memorial de cálculo apresenta os critérios técnicos e as normas adotadas para o dimensionamento da estrutura metálica da cobertura dos Blocos 01 e 02. Considerando que os dois blocos apresentam configurações estruturalmente muito semelhantes, o memorial de cálculo será elaborado apenas para o Bloco 01.

## 3 NORMAS TÉCNICAS E REFERÊNCIAS UTILIZADAS

- ABNT NBR 8800:2024 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios
- ABNT NBR 6120:2019 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações
- ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações
- ABNT NBR 8681:2004 – Ações e segurança nas estruturas — Procedimento
- ABNT NBR 14762:2010 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio
- ABNT NBR 16239:2013 – Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares
- AWS D1.1 – Código de soldagem estrutural – aço
- AISC Manual – Steel Construction Manual

#### 4 DADOS GERAIS DO PROJETO

- **Tipo de telhado:** Duas águas
- **Cobertura:** Telha cerâmica tipo americana
- **Inclinação:** 35%
- **Vão livre:** 8,80 m
- **Espaçamento entre tesouras:** 2,47 m
- **Forro:** PVC

#### 5 MATERIAIS ADOTADOS

- **Perfis metálicos:** Aço ASTM A36 ( $f_y = 250$  Mpa)
- **Chumbadores:** Parabolt  $\varnothing 1/2 \times 3"$ , resistência ao cisalhamento de 28,97 kN/unidade.
- **Chapas de base:** ASTM A36 ( $f_y = 250$  MPa)
- **Tratamento superficial:** pintura anticorrosiva com acabamento em esmalte alquídico

#### 6 ELEMENTOS ESTRUTURAIS

##### 6.1 TESOURAS PRINCIPAIS:

- **Vigas inclinadas:** perfis tipo “caixa”, formados por dois perfis U enrijecidos soldados (2C150×50×17×2.00 mm).
- **Apoios:** placas de base metálicas fixadas às vigas de concreto por 2 parabolts.

##### 6.2 TERÇAS:

- **Perfis:** U enrijecido
  - ✓ C75×40×15×2.00 mm para terças padrão;
  - ✓ C100×40×17×2.00 mm para terças de beiral.
- **Galga Média:** 360 mm, conforme especificações do catálogo do fabricante.

##### 6.3 TIRANTES:

- **Perfis:** U enrijecidos tipo “caixa” (2C75×40×15×2.00 mm).
- **Função estrutural:** combate à abertura das vigas de concreto, decorrente da reação horizontal das tesouras metálicas.
- **Posicionamento:** instalados no nível dos apoios, com comprimento de apoio a apoio.

#### 6.4 LIGAÇÕES:

- As ligações são **predominantemente soldadas**, com soldas compatíveis com o material base e resistência conforme especificação E60XX ou equivalente.
- **Emendas:** solda contínua de preenchimento total ao longo de todo o contorno da seção dos perfis.
- **Duplagem de Perfis:** cordões de solda longitudinais intermitentes, conforme detalhamento em projeto.

### 7 CONSIDERAÇÕES ESTRUTURAIS DOS ELEMENTOS

- **Condições de contorno:** apoios móveis do 1º gênero em uma extremidade e do 2º gênero na outra, assegurando isostaticidade e permitindo deslocamentos necessários para evitar esforços indesejados decorrentes da hiperestaticidade.
- **Condições de vínculo das terças:** modeladas como vigas biapoiadas entre as vigas inclinadas centrais, com continuidade estrutural nos balanços (beirais).
- **Condições de vínculo dos tirantes:** Considerados como elementos tracionados com extremidades articuladas, já que sua função é exclusivamente resistir à tração. Não são projetados para absorver momentos fletores nem cargas de compressão.

### 8 CARGAS CONSIDERADAS

- **Peso próprio das estruturas:** calculado automaticamente pelo software de análise estrutural.
- **Carga permanente:**
  - ✓ 0,45 kN/m<sup>2</sup> (Telha cerâmica tipo americana)
  - ✓ 0,10 kN/m<sup>2</sup> (Forro de pvc, incluindo estrutura de suporte)

- **Sobrecarga de cobertura:** 0,25 kN/m<sup>2</sup>
- **Cargas de montagem:** desprezadas, pois durante a montagem não ocorrem cargas localizadas temporárias nem condições que comprometam a estabilidade estrutural.

## 9 COMBINAÇÕES DE AÇÕES CONSIDERADAS

Nome das ações:

- ✓ PP: Peso próprio
- ✓ CP: Carga permanente
- ✓ SC: Sobrecarga

### 9.1 ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ELU)

Foram utilizadas as seguintes combinações últimas normais:

- 1) PP + CP
- 2) 1.25 PP + CP
- 3) PP + 1.25 CP
- 4) 1.25 PP + 1.25 CP
- 5) PP + CP + 1.5 SC
- 6) 1.25 PP + CP + 1.5 SC
- 7) PP + 1.25 CP + 1.5 SC
- 8) 1.25 PP + 1.25 CP + 1.5 SC

### 9.2 ESTADO LIMITE DE SERVIÇO (ELS)

Combinações de serviço para verificação de deslocamentos, deformações e estabilidade:

- 1) PP + CP
- 2) PP + CP + SC

### 9.3 VERIFICAÇÃO DE FLECHAS

Limites máximos conforme NBR 8800, Tabela B.1: L/250 para vigas metálicas e

terças:

- ✓ Vigas metálicas de cobertura: flecha máxima admissível de  $L/250$
- ✓ Terças: flecha máxima admissível de  $L/250$

## 10 DIMENSIONAMENTO DOS PERFIS

O dimensionamento foi realizado com o software Cype 3D®, adotando-se o elemento mais solicitado de cada tipologia como referência para validação dos demais. Resultados detalhados no Anexo I.

**Placa de base:** adotou-se espessura mínima de 12,7 mm, conforme boas práticas e NBR 8800:2008, adequadas às cargas reduzidas nos apoios.

## 11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este memorial de cálculo apresenta os critérios técnicos e informações utilizados no desenvolvimento do projeto estrutural metálico das estruturas descritas, atendendo às exigências normativas, técnicas e construtivas vigentes.

A análise refere-se exclusivamente ao comportamento estrutural em projeto, não abrangendo falhas decorrentes de fabricação, transporte, montagem inadequada ou outros fatores externos ao dimensionamento.

Recomenda-se rigoroso atendimento às especificações do projeto e controle de qualidade durante a execução.

## 12 ANEXOS

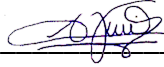
- ANEXO I – Desenho esquemático unifilar do modelo estrutural
- ANEXO II – Verificação dos elementos estruturais
- ANEXO III – Lista de materiais

## 13 DOCUMENTOS COMPLEMENTARES

- Projeto Executivo Estrutural (disponível na mesma pasta que este memorial)
- Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) emitida pelo responsável técnico



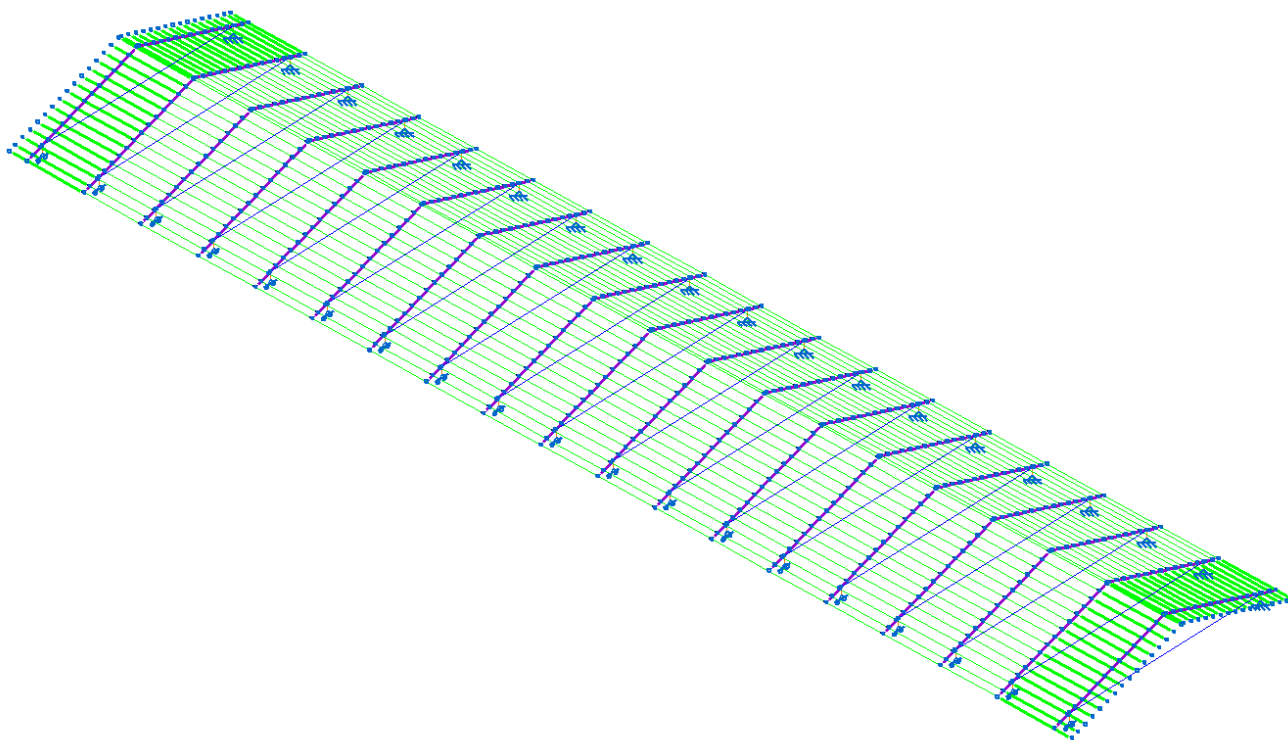
Goiânia, 31 de julho de 2025.



---

Eng<sup>a</sup> Civil Camilla Batista dos Anjos Grigoletto  
CREA 1018488731/D-GO  
ART Nº 1020250222686

## ANEXO I



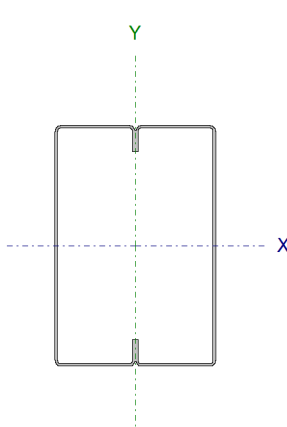
**Figura 1** – Modelo estrutural do Bloco 01.  
Fonte: software CYPE3D®.

### **Descrição do Modelo Estrutural:**

No modelo apresentado, as linhas roxas representam as tesouras principais, as linhas azuis escuras correspondem aos tirantes e as linhas verdes indicam as terças da estrutura. Essa codificação por cores facilita a visualização e a distinção dos diferentes elementos estruturais durante a análise e dimensionamento no software.

## ANEXO II

### TESOURA PRINCIPAL

Perfil: C150X50X17X2.00, Caixa dupla soldada (Cordão descontínuo) Material: Aço (A-36)							
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
	Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
	N488	N1393	0.060	10.83	362.65	170.94	0.14
	Notas: ( <sup>1</sup> ) Inércia em relação ao eixo indicado ( <sup>2</sup> ) Momento de inércia à torção uniforme						
	Flambagem		Flambagem lateral				
	Plano ZX		Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.		
	β	16.67	90.00	90.00	90.00		
	L <sub>K</sub>	1.000	5.400	5.400	5.400		
	C <sub>m</sub>	-	-	1.000	1.000		
	C <sub>b</sub>	-		1.000			
Notação: β: Coeficiente de flambagem L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico							

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>x</sub> V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>x</sub>	N <sub>c</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub>	N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub>	M <sub>t</sub>	
N488/N1393	(b <sub>w</sub> /t) ≤ 500 (b <sub>f</sub> /t) ≤ 60 Passa	λ <sub>xx,c</sub> ≤ 200 λ <sub>yy,c</sub> ≤ 200 Passa	N <sub>t,Sd</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	x: 0 m η = 20.2	x: 0.06 m η = 70.6	M <sub>Sd</sub> = 0.00 N.P. <sup>(2)</sup>	V <sub>Sd</sub> = 0.00 N.P. <sup>(3)</sup>	x: 0.06 m η = 11.7	x: 0.06 m η = 51.2	N.P. <sup>(4)</sup>	x: 0.06 m η = 90.8	N.P. <sup>(5)</sup>	M <sub>t,Sd</sub> = 0.00 N.P. <sup>(6)</sup>	<b>PASSA</b> η = 90.8
Notação: b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura λ: Limitação de esbeltez N <sub>t</sub> : Resistência à tração N <sub>c</sub> : Resistência à compressão M <sub>x</sub> : Resistência à flexão eixo X M <sub>y</sub> : Resistência à flexão eixo Y V <sub>x</sub> : Resistência ao esforço cortante X V <sub>y</sub> : Resistência ao esforço cortante Y M <sub>x</sub> V <sub>y</sub> : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados M <sub>y</sub> V <sub>x</sub> : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados N <sub>c</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> : Resistência à flexo-compressão N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> : Resistência à flexo-tração M <sub>t</sub> : Resistência à torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede														
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): <sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração. <sup>(2)</sup> A verificação não será executada, já que não existe momento fletor. <sup>(3)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante. <sup>(4)</sup> Não há interação entre o momento fletor e o esforço cortante para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. <sup>(5)</sup> Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. <sup>(6)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.														

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

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

Elemento: Alma

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

(b/t) : 71 

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**t**: A espessura.

**b** : 142.00 mm

**t** : 2.00 mm

Elemento: Mesa

Em elementos comprimidos AA, tendo uma borda vinculada à alma ou mesa e a outra ao enrijecedor de borda simples, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 60.

(b/t) : 21 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**t**: A espessura.

**b** : 42.00 mm

**t** : 2.00 mm

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

O índice de esbeltez  $\lambda_c$  das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 200. Além disso, o índice de esbeltez  $\lambda_s$  de cada perfil simples deve ser inferior a 100.

$\lambda_{xx,c}$  : 93.3 ✓

$\lambda_{yy,c}$  : 25.2 ✓

$\lambda_{xx,s}$  : 93.3 ✓

$\lambda_{yy,s}$  < 0.1 ✓

Onde:

**$K_x L_{x,c}$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo X.

**$K_x L_{x,c}$**  : 5.400 m

**$K_y L_{y,c}$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo Y.

**$K_y L_{y,c}$**  : 1.000 m

**$r_{x,c}$** : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal X.

**$r_{x,c}$**  : 5.79 cm

**$r_{y,c}$** : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal Y.

**$r_{y,c}$**  : 3.97 cm

**$K_x L_{x,s}$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo X.

**$K_x L_{x,s}$**  : 5.400 m

**$K_y L_{y,s}$** : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo Y.

**$K_y L_{y,s}$**  : 0.000 m

**$r_{x,s}$** : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal X.

**$r_{x,s}$**  : 5.79 cm

**$r_{y,s}$** : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal Y.

**$r_{y,s}$**  : 1.83 cm

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

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

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

Deve satisfazer:

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

O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N488, para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·Telha+Forro+1.5·SC.

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

$$N_{c,Sd} : \underline{1.275} \quad t$$

A resistência de cálculo à compressão  $N_{c,Rd}$  é dada pelo menor dos valores obtidos segundo os seguintes itens:

$$N_{c,Rd} : \underline{6.310} \quad t$$

### a) Início de ruptura da seção efetiva e flambagem global (9.7.2)

$$N_{c,Rd} : \underline{6.310} \quad t$$

Onde:

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

$$A_{ef} : \underline{4.71} \quad cm^2$$

$\chi$ : Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi : \underline{0.63}$$

Sendo:

$\lambda_0$ : Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_0, ft : \underline{1.05}$$

Sendo:

$N_e$ : Esforço axial crítico elástico de flambagem mínimo.

$$N_e : \underline{12.512} \quad t$$

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{5.41} \quad cm^2$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \quad kgf/cm^2$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.2}$$

A tensão crítica elástica de flambagem  $\sigma_{cr}$  é o valor da menor das raízes da seguinte equação cúbica:

$$\sigma_{cr} : \underline{2310.84} \quad kgf/cm^2$$

Onde:

$\sigma_{cr,x}$ : Tensão crítica elástica de flambagem por flexão da seção composta, em torno do eixo X.

$$\sigma_{cr,x} : \underline{2310.84} \quad kgf/cm^2$$

$\sigma_{cr,y}$ : Tensão crítica elástica de flambagem por flexão da seção composta, em torno do eixo Y.

$$\sigma_{cr,y} : \underline{31761.86} \quad kgf/cm^2$$

$\sigma_{cr,T}$ : Tensão crítica elástica de flambagem por torção da seção composta.

$$\sigma_{cr,T} : \underline{\infty}$$

$I_x$ : Momento de inércia da seção composta, em relação ao eixo X.

$$I_x : \underline{362.65} \quad cm^4$$

$I_y$ : Momento de inércia da seção composta, em relação ao eixo Y.

$$I_y : \underline{170.94} \quad cm^4$$

$I_t$ : Módulo de torção uniforme da seção composta.

$$I_t : \underline{0.14} \quad cm^4$$

$C_w$ : Constante de empenamento da seção composta.

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

$E$ : Módulo de elasticidade.

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

$G$ : Módulo de elasticidade transversal.

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

$\lambda_x$ : Esbeltez mecânica da seção composta, em relação ao eixo X, calculada levando em conta o tipo de ligações e o espaçamento.

$$\lambda_x : \underline{93.31}$$

$\lambda_y$ : Esbeltez mecânica da seção composta, em relação ao eixo Y, calculada levando em conta o tipo de ligações e o espaçamento.

$$\lambda_y : \underline{25.17}$$

$K_z L_z$ : Comprimento efetivo de flambagem por torção da seção composta.

$$K_z L_z : \underline{0.000} \text{ m}$$

$r_o$ : Raio de giração polar da seção composta, em relação ao centro de torção.

$$r_o : \underline{7.02} \text{ cm}$$

Sendo:

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

$$r_x : \underline{5.79} \text{ cm}$$

$$r_y : \underline{3.97} \text{ cm}$$

$x_o, y_o$ : Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, relativas ao centro de gravidade da seção composta.

$$x_o : \underline{0.00} \text{ cm}$$

$$y_o : \underline{0.00} \text{ cm}$$

#### b) Flambagem por distorção (9.7.3)

Não é necessário, dado que os comprimentos efetivos de flambagem por distorção são nulos.

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

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.706} \quad \checkmark$$

O momento fletor desfavorável de cálculo  $M_{sd}$  é obtido para o nó N1393, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·Telha+Forro+1.5·SC.

$$M_{sd} : \underline{0.395} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{rd} : \underline{0.560} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{rd} : \underline{0.560} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$$W_{ef} : \underline{24.18} \text{ cm}^3$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

#### b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

### c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)

Não é necessário, dado que os comprimentos efetivos de flambagem por distorção são nulos.

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

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

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

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.117} \quad \checkmark$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{sd}$  produz-se no nó N1393, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·Telha+Forro+1.5·SC.

$$V_{sd} : \underline{0.446} \text{ t}$$

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

$$^{(2)}V_{Rd} : \underline{3.810} \text{ t}$$

para

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

para

$$h/t : \underline{71.00}$$

para

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

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : \underline{142.00} \text{ mm}$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : \underline{5.00}$$

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  são obtidos no nó N1393, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot Telha + Forro + 1.5 \cdot SC$ .

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

$$\eta : \underline{0.512} \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$M_{Sd} : \underline{0.395} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{0,Rd} : \underline{0.560} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$V_{Sd}$ : Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : \underline{0.446} \text{ t}$$

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

$$V_{Rd} : \underline{3.810} \text{ t}$$

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

Não há interação entre o momento fletor e o esforço cortante para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

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

Os esforços de cálculo desfavoráveis são obtidos no nó N1393, para a combinação de hipóteses  $1.25 \cdot PP + 1.25 \cdot Telha + Forro + 1.5 \cdot SC$ .

$$\eta : \underline{0.908} \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$N_{c,Sd} : \underline{1.275} \text{ t}$$

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

$$M_{x,Sd} : \underline{0.395} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

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

$$N_{c,Rd} : \underline{6.310} \text{ t}$$

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

$$M_{x,Rd} : \underline{0.560} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{y,Rd} : \underline{0.119} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

#### **Resistência à torção** (Critério da CYPE Ingenieros)

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



## TERÇA

### Perfil: C75X40X15X2.00 Material: Aço (A-36)

Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas					
Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	x <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	y <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)
N512	N511	2.468	3.43	30.25	7.87	0.05	-4.98	0.00

Notas:

<sup>(1)</sup> Inércia em relação ao eixo indicado

<sup>(2)</sup> Momento de inércia à torção uniforme

<sup>(3)</sup> Coordenadas do centro de gravidade

	Flambagem		Flambagem lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Aba sup.	Aba inf.
β	1.00	1.00	1.00	1.00
L <sub>K</sub>	2.468	2.468	2.468	2.468
C <sub>m</sub>	-	-	1.000	1.000
C <sub>b</sub>	-		1.000	

Notação:

β: Coeficiente de flambagem

L<sub>K</sub>: Comprimento de flambagem (m)

C<sub>m</sub>: Coeficiente de momentos

C<sub>b</sub>: Fator de modificação para o momento crítico

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	λ	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>x</sub> V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>x</sub>	N <sub>c</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub>	N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub>	M <sub>t</sub>	
N512/N511	(b <sub>w</sub> /t) ≤ 500 (b <sub>f</sub> /t) ≤ 60 Passa	λ <sub>xx</sub> ≤ 200 λ <sub>yy</sub> ≤ 200 Passa	N <sub>t,Sd</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	N <sub>c</sub> = 0.1	x: 1.234 m η = 36.1	M <sub>Sd</sub> = 0.00 N.P. <sup>(2)</sup>	V <sub>Sd</sub> = 0.00 N.P. <sup>(3)</sup>	x: 0 m η = 3.2	x: 1.028 m η = 3.7	N.P. <sup>(4)</sup>	x: 1.234 m η = 36.2	N.P. <sup>(5)</sup>	M <sub>t,Sd</sub> = 0.00 N.P. <sup>(6)</sup>	<b>PASSA</b> η = 36.2
Notação: b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura λ: Limitação de esbeltez N <sub>t</sub> : Resistência à tração N <sub>c</sub> : Resistência à compressão M <sub>x</sub> : Resistência à flexão eixo X M <sub>y</sub> : Resistência à flexão eixo Y V <sub>x</sub> : Resistência ao esforço cortante X V <sub>y</sub> : Resistência ao esforço cortante Y M <sub>x</sub> V <sub>y</sub> : Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados M <sub>y</sub> V <sub>x</sub> : Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados N <sub>c</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> : Resistência à flexo-compressão N <sub>t</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> : Resistência à flexo-tração M <sub>t</sub> : Resistência à torção x: Distância à origem da barra η: Coeficiente de aproveitamento (%) N.P.: Não procede														
Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.): <sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração. <sup>(2)</sup> A verificação não será executada, já que não existe momento fletor. <sup>(3)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante. <sup>(4)</sup> Não há interação entre o momento fletor e o esforço cortante para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. <sup>(5)</sup> Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada. <sup>(6)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.														

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

Elemento: Alma

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

(b/t) : 34 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**t**: A espessura.

**b** : 67.00 mm

**t** : 2.00 mm

Elemento: Mesa

Em elementos comprimidos AA, tendo uma borda vinculada à alma ou mesa e a outra ao enrijecedor de borda simples, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 60.

$$(b/t) : \underline{16} \quad \checkmark$$

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

$$b : \underline{32.00} \text{ mm}$$

**t**: A espessura.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

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

O índice de esbeltez  $\lambda$  das barras comprimidas não deve exceder o valor 200.

$$\lambda_{xx} : \underline{83.1} \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy} : \underline{163.0} \quad \checkmark$$

Onde:

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

$$K_x L_x : \underline{2.468} \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : \underline{2.468} \text{ m}$$

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

$$r_x : \underline{2.97} \text{ cm}$$

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

$$r_y : \underline{1.51} \text{ cm}$$

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

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

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

Deve satisfazer:

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

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

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

$$N_{c,Ed} : \underline{0.002} \text{ t}$$

A resistência de cálculo à compressão  **$N_{c,Rd}$**  é dada pelo menor dos valores obtidos segundo os seguintes itens:

$$N_{c,Rd} : \underline{1.900} \text{ t}$$

#### **a) Início de ruptura da seção efetiva e flambagem global (9.7.2)**

$$N_{c,Rd} : \underline{1.900} \text{ t}$$

Onde:

**A<sub>ef</sub>**: Área efetiva da seção transversal da barra.

$$A_{ef} : \underline{3.43} \text{ cm}^2$$

**χ**: Fator de redução associado à flambagem,

$$\chi_{yy} : \underline{0.26}$$

Sendo:

$$\chi_{xz} : \underline{0.26}$$

**λ<sub>0</sub>**: Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas.

$$\lambda_{0, yy} : \underline{1.83}$$

$$\lambda_{0, xz} : \underline{1.82}$$

Sendo:

**N<sub>e</sub>**: Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2.

**A**: Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{3.43} \text{ cm}^2$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

**γ**: Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : \underline{1.2}$$

A força normal de flambagem elástica **N<sub>e</sub>** é o menor valor entre os obtidos por a) e b):

$$N_e : \underline{2.600} \text{ t}$$

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

$$N_{ey} : \underline{2.600} \text{ t}$$

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

$$N_{exz} : \underline{2.642} \text{ t}$$

Onde:

$$N_{ex} : \underline{9.996} \text{ t}$$

$$N_{ez} : \underline{3.135} \text{ t}$$

**I<sub>x</sub>**: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X.

$$I_x : \underline{30.25} \text{ cm}^4$$

**I<sub>y</sub>**: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y.

$$I_y : \underline{7.87} \text{ cm}^4$$

**I<sub>t</sub>**: Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : \underline{0.05} \text{ cm}^4$$

**C<sub>w</sub>**: Constante de empenamento da seção.

$$C_w : \underline{110.57} \text{ cm}^6$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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

**G**: Módulo de elasticidade transversal.

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

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

$$K_x L_x : 2.468 \text{ m}$$

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

$$K_y L_y : 2.468 \text{ m}$$

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

$$K_z L_z : 2.468 \text{ m}$$

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

$$r_0 : 4.81 \text{ cm}$$

Sendo:

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

$$r_x : 2.97 \text{ cm}$$

$$r_y : 1.51 \text{ cm}$$

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

$$x_0 : -34.65 \text{ mm}$$

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

### b) Flambagem por distorção (9.7.3)

Não é possível calcular o esforço axial de flambagem por distorção elástica, já que não se cumprem as seguintes limitações geométricas (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007))

Onde:

$$50.00 \leq b_w/t \leq 200.00$$

$$b_w/t : 37.50$$

$$25.00 \leq b_f/t \leq 100.00$$

$$b_f/t : 20.00$$

$$6.25 \leq D/t \leq 50.00$$

$$D/t : 7.50$$

$$0.04 \leq D/b_f \leq 0.50$$

$$D/b_f : 0.38$$

$$2.00 \leq b_w/b_f \leq 8.00$$

$$b_w/b_f : 1.88$$

Sendo:

$b_w$ : Largura da alma.

$$b_w : 75.00 \text{ mm}$$

$b_f$ : Largura da aba.

$$b_f : 40.00 \text{ mm}$$

$D$ : Comprimento do enrijecedor da mesa.

$$D : 15.00 \text{ mm}$$

$t$ : A espessura.

$$t : 2.00 \text{ mm}$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : 0.361 \quad \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável  $M_{Sd}$  produz-se num ponto situado a uma distância de 1.234 m do nó N512, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·Telha+Forro+1.5·SC.

$$M_{Sd} : 0.037 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd}^{pos} : 0.102 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd}^{neg} : 0.116 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : 0.187 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\begin{aligned} W_{ef} &: 8.07 \text{ cm}^3 \\ f_y &: 2548.42 \text{ kgf/cm}^2 \\ \gamma &: 1.1 \end{aligned}$$

## b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

$$M_{Rd}^{pos} : 0.102 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{Rd}^{neg} : 0.116 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$\chi_{FLT}$ : Fator de redução associado à flambagem lateral com torção.

$$\begin{aligned} W_{c,ef}^{pos} &: 6.80 \text{ cm}^3 \\ W_{c,ef}^{neg} &: 7.75 \text{ cm}^3 \\ f_y &: 2548.42 \text{ kgf/cm}^2 \\ \gamma &: 1.1 \end{aligned}$$

$$^{(2)}\chi_{FLT} : 0.65$$

Sendo:

$$\lambda_0 : 1.22$$

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

$$W_c : 8.07 \text{ cm}^3$$

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

$$M_e : 0.137 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

$C_b$ : Coeficiente de equivalência de momento na flexão.

$$C_b : 1.00$$

$$N_{ey} : 2.600 \text{ t}$$

$$N_{ez} : 3.135 \text{ t}$$

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

$$I_y : 7.87 \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inércia à torção uniforme.

$$I_t : 0.05 \text{ cm}^4$$

**C<sub>w</sub>**: Constante de empenamento da seção.

**E**: Módulo de elasticidade.

**G**: Módulo de elasticidade transversal.

**K<sub>y</sub>L<sub>y</sub>**: Comprimento efetivo de flambagem lateral.

**K<sub>z</sub>L<sub>z</sub>**: Comprimento efetivo de flambagem por torção.

$$C_w : \frac{110.57}{\text{cm}^6}$$

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

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

$$K_y L_y : \frac{2.468}{\text{m}}$$

$$K_z L_z : \frac{2.468}{\text{m}}$$

**r<sub>o</sub>**: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção.

$$r_o : \frac{4.81}{\text{cm}}$$

Sendo:

**r<sub>x</sub>, r<sub>y</sub>**: Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente.

$$r_x : \frac{2.97}{\text{cm}}$$

$$r_y : \frac{1.51}{\text{cm}}$$

**x<sub>o</sub>, y<sub>o</sub>**: Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção.

$$x_o : \frac{-34.65}{\text{mm}}$$

$$y_o : \frac{0.00}{\text{mm}}$$

### c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)

Não é possível calcular o esforço axial de flambagem por distorção elástica, já que não se cumprem as seguintes limitações geométricas (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007))

Onde:

$$50.00 \leq b_w/t \leq 200.00$$

$$25.00 \leq b_f/t \leq 100.00$$

$$6.25 \leq D/t \leq 50.00$$

$$0.04 \leq D/b_f \leq 0.50$$

$$2.00 \leq b_w/b_f \leq 8.00$$

$$b_w/t : \frac{37.50}{\text{mm}}$$

$$b_f/t : \frac{20.00}{\text{mm}}$$

$$D/t : \frac{7.50}{\text{mm}}$$

$$D/b_f : \frac{0.38}{\text{mm}}$$

$$b_w/b_f : \frac{1.88}{\text{mm}}$$

Sendo:

**b<sub>w</sub>**: Largura da alma.

$$b_w : \frac{75.00}{\text{mm}}$$

**b<sub>f</sub>**: Largura da aba.

$$b_f : \frac{40.00}{\text{mm}}$$

**D**: Comprimento do enrijecedor da mesa.

$$D : \frac{15.00}{\text{mm}}$$

**t**: A espessura.

$$t : \frac{2.00}{\text{mm}}$$

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

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

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

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta : \frac{0.032}{\text{✓}}$$

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{sd}$  produz-se no nó N512, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·Telha+Forro+1.5·SC.

$$V_{sd} : 0.060 \text{ t}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : 1.863 \text{ t}$$

para

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

para

$$h/t : 33.50$$

para

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

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : 2.00 \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : 67.00 \text{ mm}$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : 2548.42 \text{ kgf/cm}^2$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$\gamma : 1.1$$

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : 5.00$$

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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis  $M_{sd}$  e  $V_{sd}$  produzem-se num ponto situado a uma distância 1.028 m do nó N512, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·Telha+Forro+1.5·SC.

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

$$\eta : 0.037 \checkmark$$

Onde:

**M<sub>sd</sub>**: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{sd} : 0.036 \text{ t}\cdot\text{m}$$

**M<sub>0,Rd</sub>**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : 0.187 \text{ t}\cdot\text{m}$$

**V<sub>sd</sub>**: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{sd} : 0.010 \text{ t}$$

**V<sub>Rd</sub>**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

$$V_{Rd} : 1.863 \text{ t}$$

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

Não há interação entre o momento fletor e o esforço cortante para nenhuma combinação. Assim a

verificação não será executada.

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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância 1.234 m do nó N512, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·Telha+Forro+1.5·SC.

$\eta : 0.362$  ✓

Onde:

**N<sub>c,sd</sub>**: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

**N<sub>c,Sd</sub> :** 0.002 t

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

$$\mathbf{M}_{x,Sd} : 0.037 \text{ t}\cdot\text{m}$$

**M<sub>y,Sd</sub>** : 0.000 t·m

**N<sub>C,Rd</sub>**: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$$N_{c,Rd} : 1.900 \text{ t}$$

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

$$\mathbf{M}_{x,Rd} : 0.102 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{M}_{y,Rd} : 0.073 \text{ t}\cdot\text{m}$$

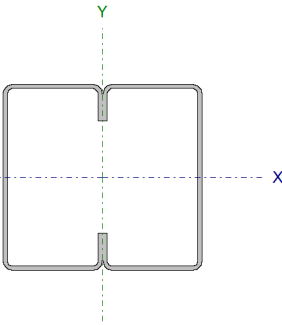
**Resistência à flexo-tração** (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

### **Resistência à torção** (Critério da CYPE Ingenieros)

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

**TIRANTE**

Perfil: C75X40X15X2.00, Caixa dupla soldada (Cordão descontínuo)							
Material: Aço (A-36)							
	Nós		Comprimento (m)	Características mecânicas			
	Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
	N38	N40	8.800	6.87	60.51	58.60	0.09
	Notas:						
	<sup>(1)</sup> Inércia em relação ao eixo indicado						
	<sup>(2)</sup> 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 <sub>K</sub>	8.800	8.800	0.000	0.000		
C <sub>m</sub>	-	-	1.000	1.000			
C <sub>b</sub>	-		1.000				
Notação:							
β: Coeficiente de flambagem							
L <sub>K</sub> : Comprimento de flambagem (m)							
C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos							
C <sub>b</sub> : Fator de modificação para o momento crítico							



Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010)													Estado
	b/t	$\lambda$	$N_t$	$N_c$	$M_x$	$M_y$	$V_x$	$V_y$	$M_x V_y$	$M_y V_x$	$N_c M_x M_y$	$N_t M_x M_y$	$M_t$	
N38/N40	x: 0 m ( $b_w/t$ ) $\leq$ 500 ( $b_l/t$ ) $\leq$ 60 Passa	$\lambda_{xx,c} \leq 300$ $\lambda_{yy,c} \leq 300$ Passa	$\eta = 17.0$	$N_{c,Sd} = 0.00$ N.P. <sup>(1)</sup>	x: 4.4 m $\eta = 12.9$	$M_{Sd} = 0.00$ N.P. <sup>(2)</sup>	$V_{Sd} = 0.00$ N.P. <sup>(3)</sup>	x: 0 m $\eta = 0.8$	x: 3.85 m $\eta = 1.6$	N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	x: 4.4 m $\eta = 29.9$	$M_{t,Sd} = 0.00$ N.P. <sup>(6)</sup>	<b>PASSA</b> $\eta = 29.9$
<p>Notação:</p> <p>b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura</p> <p><math>\lambda</math>: Limitação de esbeltez</p> <p><math>N_t</math>: Resistência à tração</p> <p><math>N_c</math>: Resistência à compressão</p> <p><math>M_x</math>: Resistência à flexão eixo X</p> <p><math>M_y</math>: Resistência à flexão eixo Y</p> <p><math>V_x</math>: Resistência ao esforço cortante X</p> <p><math>V_y</math>: Resistência ao esforço cortante Y</p> <p><math>M_x V_y</math>: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados</p> <p><math>M_y V_x</math>: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados</p> <p><math>N_c M_x M_y</math>: Resistência à flexo-compressão</p> <p><math>N_t M_x M_y</math>: Resistência à flexo-tração</p> <p><math>M_t</math>: Resistência à torção</p> <p>x: Distância à origem da barra</p> <p><math>\eta</math>: Coeficiente de aproveitamento (%)</p> <p>N.P.: Não procede</p> <p>Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.P.):</p> <p><sup>(1)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de compressão.</p> <p><sup>(2)</sup> A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.</p> <p><sup>(3)</sup> A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.</p> <p><sup>(4)</sup> Não há interação entre o momento fletor e o esforço cortante para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.</p> <p><sup>(5)</sup> Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.</p> <p><sup>(6)</sup> A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.</p>														

Nota: A análise de peças compostas é realizada através da verificação de cada um dos perfis simples que as constituem. As verificações destes perfis são realizadas para os esforços calculados a partir daqueles que atuam sobre a peça composta, segundo as suas características mecânicas. Para as verificações de estabilidade, utiliza-se a esbeltez mecânica ideal, obtida em função da esbeltez da peça e uma esbeltez complementar que considera a distância das ligações entre os perfis simples.

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

A relação comprimento-espessura desfavorável é obtida no nó N38.

Elemento: Alma

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

(b/t) : 34 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**b** : 67.00 mm

**t**: A espessura.

**t** : 2.00 mm

Elemento: Mesa

Em elementos comprimidos AA, tendo uma borda vinculada à alma ou mesa e a outra ao enrijecedor de borda simples, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor 60.

(b/t) : 16 ✓

Sendo:

**b**: Comprimento do elemento.

**b** : 32.00 mm

**t**: A espessura.

**t** : 2.00 mm

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

O índice de esbeltez  $\lambda_c$  das barras compostas comprimidas não deve exceder o valor 300. Além disso, o índice de esbeltez  $\lambda_s$  de cada perfil simples deve ser inferior a 300.

$$\lambda_{xx,c} : \underline{296.5} \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy,c} < \underline{0.1} \quad \checkmark$$

$$\lambda_{xx,s} : \underline{296.5} \quad \checkmark$$

$$\lambda_{yy,s} < \underline{0.1} \quad \checkmark$$

Onde:

$K_x L_{x,c}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo X.

$$K_x L_{x,c} : \underline{8.800} \text{ m}$$

$K_y L_{y,c}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção composta, em relação ao eixo Y.

$$K_y L_{y,c} : \underline{0.000} \text{ m}$$

$r_{x,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal X.

$$r_{x,c} : \underline{2.97} \text{ cm}$$

$r_{y,c}$ : Raio de giração da seção composta, em relação ao eixo principal Y.

$$r_{y,c} : \underline{2.92} \text{ cm}$$

$K_x L_{x,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo X.

$$K_x L_{x,s} : \underline{8.800} \text{ m}$$

$K_y L_{y,s}$ : Comprimento efetivo de flambagem por flexão da seção simples, em relação ao eixo Y.

$$K_y L_{y,s} : \underline{0.000} \text{ m}$$

$r_{x,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal X.

$$r_{x,s} : \underline{2.97} \text{ cm}$$

$r_{y,s}$ : Raio de giração da seção simples, em relação ao eixo principal Y.

$$r_{y,s} : \underline{1.51} \text{ cm}$$

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

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.170} \quad \checkmark$$

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

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

$$N_{t,Sd} : \underline{1.350} \text{ t}$$

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

$$N_{t,Rd} : \underline{7.957} \text{ t}$$

Onde:

$A$ : Área bruta da seção transversal da barra.

$$A : \underline{3.43} \text{ cm}^2$$

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

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

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

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

Deve satisfazer:

$$\eta : \underline{0.129} \quad \checkmark$$

O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável  $M_{sd}$  produz-se num ponto situado a uma distância de 4.400 m do nó N38, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·Telha+Forro+1.5·SC.

$$M_{sd} : \underline{0.024} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{0.187} \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{Rd} : \underline{0.187} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Onde:

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

$f_y$ : Tensão de escoamento.

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

$$W_{ef} : \underline{8.07} \text{ cm}^3$$

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

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

**b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)**

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção  $K_t L_t$  e os comprimentos efetivos de flambagem lateral  $K_y L_y^{pos}$  e  $K_y L_y^{neg}$  são nulos.

**c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)**

Não é necessário, dado que os comprimentos efetivos de flambagem por distorção são nulos.

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

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

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

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

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

Deve satisfazer:

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

O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável  $V_{Sd}$  produz-se no nó N38, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+Telha+Forro.

$$V_{Sd} : \underline{0.015} \text{ t}$$

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

$$^{(1)}V_{Rd} : \underline{1.863} \text{ t}$$

para

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

para

$$h/t : \underline{33.50}$$

para

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

Onde:

**t**: Espessura da alma.

$$t : \underline{2.00} \text{ mm}$$

**h**: Largura da alma.

$$h : \underline{67.00} \text{ mm}$$

**f<sub>y</sub>**: Tensão de escoamento.

$$f_y : \underline{2548.42} \text{ kgf/cm}^2$$

**E**: Módulo de elasticidade.

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

$\gamma$ : Coeficiente de ponderação das resistências.

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

**K<sub>v</sub>**: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

$$K_v : \underline{5.00}$$

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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis  $M_{Sd}$  e  $V_{Sd}$  produzem-se num ponto situado a uma distância 3.850 m do nó N38, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·Telha+Forro+1.5·SC.

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

$$\eta : \underline{0.016} \quad \checkmark$$

Onde:

**M<sub>Sd</sub>**: Momento fletor solicitante de cálculo.

$$M_{Sd} : \underline{0.024} \text{ t}\cdot\text{m}$$

**M<sub>0,Rd</sub>**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

$$M_{0,Rd} : \underline{0.187} \text{ t}\cdot\text{m}$$

**V<sub>Sd</sub>**: Força cortante solicitante de cálculo.

$$V_{Sd} : \underline{0.002} \text{ t}$$

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

$V_{Rd}$  : 1.863 t

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

Não há interação entre o momento fletor e o esforço cortante para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

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

Não há interação entre o esforço axial de compressão e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

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

Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis produzem-se num ponto situado a uma distância de 4.400 m do nó N38, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·Telha+Forro+1.5·SC.

Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação:

$\eta$  : 0.299 ✓

Onde:

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

$N_{t,Sd}$  : 1.350 t

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

$M_{x,Sd}$  : 0.024 t·m

$M_{y,Sd}$  : 0.000 t·m

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

$N_{Rd}$  : 7.957 t

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

$M_{x,Rd}$  : 0.187 t·m

$M_{y,Rd}$  : 0.073 t·m

**Resistência à torção** (Critério da CYPE Ingenieros)

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

## ANEXO III

LISTA DE MATERIAL (BLOCO 01)							
Qtde PEÇAS	PERFIL	LARG.	COMPR.	MARCAS POS	Peso em Kg.		Qualidade Material
					Unit.	Total	
68	C150X50X17X2.00		6000.0	TS01	25.8	1754.4	ASTM A36
16	C100X40X17X2.00		6000.0	TERÇA BEIRAL	18.9	302.7	ASTM A36
286	C75X40X15X2.00		6000.0	TERÇA PADRÃO e TIRANTE	16.2	4633.2	ASTM A36
38	Laminado #12.7	120.0	230.0	CH.01	2.8	104.5	ASTM A36
76	Laminado #4.75	120.0	150.0	CH.A	0.7	50.9	ASTM A36
38	Laminado #2	100.0	150.0	CH.TAMPA	0.2	9.1	ASTM A36
76	PARABOLT ø1/2X3"			PARABOLT ø1/2X3"			GALVANIZADO
						6854.9	

Não foram consideradas perdas.

**Figura 2** – Lista de material e quantitativo da estrutura. metálica do Bloco 01.  
 Fonte: Projeto Estrutural "EST\_ME\_52001237\_JUL25\_R00.dwg", prancha MTG-001.