**Memorial de Cálculo Estrutural**

**EM20251127**

**Galpão em aço 20m X 60m**

Revisões:

R00 – Emissão inicial: 17.11.2025 – Jacob

Sumário

[**1)** **Introdução** 4](#_Toc215150527)

[**a.** **Objetivo:** 4](#_Toc215150528)

[**b.** **Normas adotadas** 4](#_Toc215150529)

[**c.** **Softwares e ferramentas utilizadas.** 4](#_Toc215150530)

[**2)** **Dados do Projeto** 5](#_Toc215150531)

[**a.** **Geometria básica da edificação:** 5](#_Toc215150532)

[**3)** **Cargas Gravitacionais** 6](#_Toc215150533)

[**4)** **Determinação das cargas de vento** 7](#_Toc215150534)

[**5)** **Verificações de Serviço (ELS)** 14](#_Toc215150535)

[**Terças da Cobertura** 14](#_Toc215150536)

[**Terças do Fechamento Lateral** 15](#_Toc215150537)

[**Terças do Fechamento Frontal** 16](#_Toc215150538)

[**Viga do Pórtico Principal** 17](#_Toc215150539)

[**Colunas Laterais** 18](#_Toc215150540)

[**Colunas de Oitão** 19](#_Toc215150541)

[**6)** **Verificações de Segurança (ELU)** 19](#_Toc215150542)

[**Terças da Cobertura** 20](#_Toc215150543)

[**Terças do Fechamento Lateral** 32](#_Toc215150544)

[**Terças do Fechamento Frontal** 44](#_Toc215150545)

[**Viga do Pórtico Principal** 56](#_Toc215150546)

[**Colunas Laterais** 69](#_Toc215150547)

[**Colunas de Oitão** 82](#_Toc215150548)

[**Base das Colunas Laterais** 95](#_Toc215150549)

[**Base das Colunas do oitão** 105](#_Toc215150550)

[Emenda das Vigas Principais 112](#_Toc215150551)

[Emenda entre Viga e Colunas laterais 137](#_Toc215150552)

[Análise de Estabilidade Global e Quantitativos 171](#_Toc215150553)

## **Introdução**

## **Objetivo:**

O objetivo desse documento é registrar para posteriores consultas os procedimentos e considerações utilizadas para dimensionar um galpão em estrutura metálica, conforme requisitos das normas aplicáveis citadas no item b.

O documento original encontra-se em poder do escritório Jacob Engenharia e Educação ME e uma cópia encontra-se em poder do cliente Sr. Fulano de Tal, Socio diretor da empresa Fulano de Tal ME, e se refere ao contrato de prestação de serviços firmado em 27 de Novembro de 2025 sob número 123456.

## **Normas adotadas**

Foram adotadas as seguintes normas para elaboração desse memorial de cálculo estrutura:

* ABNT NBR8800/24 – Projetos de Estruturas de Aço e de Estruturas mistas de aço e concreto em edifícios
* ABNT NBR14.762/10 – Dimensionamento de perfis de aço formados a Frio
* ABNT NBR6120/19 – Cargas para cálculos de estruturas em edificações
* ABNT NBR6123/23 – Esforços devido ao vento nas edificações
* ANSI/AISC 360-16 – Specification for Structural Steel Buildings

## **Softwares e ferramentas utilizadas.**

Para automação do procedimento de cálculo foram utilizadas ferramentas computacionais, listadas a seguir.

Interface gráfica do usuário, Texto, Site

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

## **Dados do Projeto**

## **Geometria básica da edificação:**

**Diagrama

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.**

**Tabela

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.**

Vão livre dos pórticos típicos: 20m

Distanciamento padrão entre pórticos típicos: 6m

Distanciamento padrão entre terças da cobertura: 1,94m

Distanciamento padrão entre terças do fechamento lateral: 1,42m

Distanciamento padrão entre terças dos fechamentos frontais: 1,42m

Distanciamento padrão entre os pilares frontais: 3,75m e 5m

Fechamentos laterais e frontais em alvenaria até 3m de altura

Fechamentos Laterais e frontais em telhas metálicas acima de 3m de altura

Cobertura em telhas Termoacústicas.

# **Cargas Gravitacionais**

Foram considerados no cálculo:

Telhas termoacústicas: 0,12 kN/m²

Telhas Metálicas Simples: 0,06 kN/m²

Painéis Fotovoltaicos: 0,15 kN/m²

Sobrecarga de Uso: 0,25 kN/m² (Inclui luminárias e eletrocalhas até 0,05 kN/m²)

Não foram considerados:

Forro

Sistemas de Combate a incêndio

Outras cargas gravitacionais não mencionadas anteriormente.

# **Determinação das cargas de vento**

Cidade: São José dos Campos – SP

Mapa

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

V0 = 36m/s

S1 = 1,00 Terreno plano ou fracamente acidentado (todas as direções)

S2 (V0, 180, PV) – Classe A, Cat IV

S2 (V90, 270) – Classe C, Cat IV

S3 = 1,00 (estrutura principal) , S3 = 0,92 (Painéis de vedação)

Tela de celular com texto preto sobre fundo branco

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Figura 1: Carga Básica de vento por Direção

Determinação dos Cpes

h/b = 6/20 = 0,30 < 0,50

a/b = 60 / 20 = 3

i= 10% ~ 5 graus.

Gráfico, Gráfico de caixa estreita

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Diagrama, Linha do tempo

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Diagrama

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Diagrama, Esquemático

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Diagrama, Esquemático

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

# **Verificações de Serviço (ELS)**

Diagrama

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Figura 2: Verde = Aprovado; Vermelho = Reprovado

**Terças da Cobertura**

**Diagrama, Desenho técnico

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.**

**Uma imagem contendo Diagrama

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.**

Flecha Limite = 6000/250 = 24mm > 15,62mm OK!

**Terças do Fechamento Lateral**

**Diagrama

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.**

**Diagrama

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.**

Flecha Limite = 6000/250 = 24mm > 5,21 OK!

**Terças do Fechamento Frontal**

**Diagrama

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.**

**Gráfico

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.**

Flecha Limite = 5000/250 = 20mm > 2,71 OK!

**Viga do Pórtico Principal**

**Interface gráfica do usuário, Gráfico

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.**

Flecha Limite = 20000/250 = 80mm > 8,43 OK!

**Colunas Laterais**

**Gráfico, Gráfico de linhas

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.**

Deslocamento limite = 6000/300 = 20mm > 5,73mm OK

**Colunas de Oitão**

**Diagrama

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.**

# **Verificações de Segurança (ELU)**

**Terças da Cobertura**

Barra N1189/N1188

| **Perfil: C200X75X25X2.66**  **Material: Aço (SAE1020)** | |
| --- | --- |
| image5.bmp | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | | Nós | | Comprimento  (m) | Características mecânicas | | | | | | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | Inicial | Final | Área  (cm²) | Ix(1)  (cm4) | Iy(1)  (cm4) | It(2)  (cm4) | xg(3)  (mm) | yg(3)  (mm) | | N1189 | N1188 | 2.000 | 10.17 | 622.15 | 78.92 | 0.24 | -14.19 | 0.00 | | *Notas:*  *(1) Inércia em relação ao eixo indicado*  *(2) Momento de inércia à torção uniforme*  *(3) Coordenadas do centro de gravidade* | | | | | | | | | | | |  | Flambagem | | Flambagem lateral | | | --- | --- | --- | --- | --- | | Plano ZX | Plano ZY | Aba sup. | Aba inf. | | b | 1.00 | 3.00 | 1.00 | 1.00 | | LK | 2.000 | 6.000 | 2.000 | 2.000 | | Cm | - | - | 1.000 | 1.000 | | Cb | - | | 1.000 | | | *Notação:*  *b: Coeficiente de flambagem*  *LK: Comprimento de flambagem (m)*  *Cm: Coeficiente de momentos*  *Cb: Fator de modificação para o momento crítico* | | | | | | |

| Barra | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) | | | | | | | | | | | | | Estado |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| b/t | l | Nt | Nc | Mx | My | Vx | Vy | MxVy | MyVx | NcMxMy | NtMxMy | Mt |
| N1189/N1188 | (bw/t) £ 500  (bf/t) £ 60  Passa | lxx £ 200.0  lyy £ 200.0  Passa | h = 3.0 | h = 2.5 | x: 1 m  h = 81.1 | x: 2 m  h = 12.5 | x: 0 m  h = 1.1 | x: 0 m  h = 3.3 | x: 0.8 m  h = 49.3 | x: 2 m  h = 1.6 | x: 1.4 m  h = 70.0 | x: 1.8 m  h = 87.5 | Mt,Sd = 0.00  N.A.(1) | **PASSA**  **h = 87.5** |
| *Notação:*  *b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura*  *l: Limitação de esbeltez*  *Nt: Resistência à tração*  *Nc: Resistência à compressão*  *Mx: Resistência à flexão eixo X*  *My: Resistência à flexão eixo Y*  *Vx: Resistência ao esforço cortante X*  *Vy: Resistência ao esforço cortante Y*  *MxVy: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados*  *MyVx: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados*  *NcMxMy: Resistência à flexo-compressão*  *NtMxMy: Resistência à flexo-tração*  *Mt: Resistência à torção*  *x: Distância à origem da barra*  *h: Coeficiente de aproveitamento (%)*  *N.A.: Não aplicável* | | | | | | | | | | | | | | |
| *Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.):*  *(1) A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.* | | | | | | | | | | | | | | |

|  |
| --- |
| **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. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image6.wmf | |  | | | | |
|  | **(b/t)** | : | ***71*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **b**: Comprimento do elemento. |  | **b** | : | *189.36* | mm |
| **t**: A espessura. |  | **t** | : | *2.66* | 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. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image8.wmf | |  | | | | |
|  | **(b/t)** | : | ***24*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **b**: Comprimento do elemento. |  | **b** | : | *64.36* | mm |
| **t**: A espessura. |  | **t** | : | *2.66* | mm |
|  | | | | | |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| O índice de esbeltez **l** das barras comprimidas não deve exceder o valor 200. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image9.wmf | |  | **lxx** | : | ***76.7*** | image7.bmp |
|  | **lyy** | : | ***71.8*** | image7.bmp |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **KxLx**: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. |  | **KxLx** | : | *6.000* | m |
| **KyLy**: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. |  | **KyLy** | : | *2.000* | m |
| **rx**: Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X. |  | **rx** | : | *7.82* | cm |
| **ry**: Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y. |  | **ry** | : | *2.79* | cm |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image10.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.030*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações PP+1.25·CP+1.4·V90(Cpi+0,80). |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nt,Sd**: Asforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Nt,Sd** | : | *6.69* | kN |
|  | | | | | |
| A força normal de tração resistente de cálculo **Nt,Rd** deve ser tomada como: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image11.wmf | |  | | | | |
|  | **Nt,Rd** | : | *221.90* | kN |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **A**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **A** | : | *10.17* | cm² |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.1* |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image12.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.025*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.25·PP+1.25·CP+0.75·SC-COB+0.75·PFV+1.4·V0(Cpi-0,40). |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nc,Sd**: Força normal de compressão solicitante de cálculo. |  | **Nc,Sd** | : | *2.84* | kN |
|  | | | | | |
| A resistência de cálculo à compressão **Nc,Rd** é dada pelo menor dos valores obtidos segundo os seguintes itens: |  | **Nc,Rd** | : | *112.59* | kN |
|  | | | | | |
| **a) Inicio de ruptura da seção efetiva e flambagem global (9.7.2)** |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image13.wmf | |  | | | | |
|  | **Nc,Rd** | : | *112.59* | kN |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Aef**: Área efetiva da seção transversal da barra. |  | **Aef** | : | *8.99* | cm² |
| |  |  | | --- | --- | | **c**: Fator de redução associado à flambagem, | image14.wmf | |  | **cyy** | : | *0.77* |  |
|  | **cxz** | : | *0.63* |  |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **l0**: Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas. |  | **l0, yy** | : | *0.79* |  |
|  | **l0, xz** | : | *1.06* |  |
| |  | | --- | | image15.wmf | |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Ne**: Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **A**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **A** | : | *10.17* | cm² |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.2* |  |
|  | | | | | |
| A força normal de flambagem elástica **Ne** é o menor valor entre os obtidos por a) e b): |  | **Ne** | : | *218.42* | kN |
|  | | | | | |
| a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image16.wmf | |  | | | | |
|  | **Ney** | : | *389.44* | kN |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image17.wmf | |  | | | | |
|  | **Nexz** | : | *218.42* | kN |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image18.wmf | |  | | | | |
|  | **Nex** | : | *341.13* | kN |
|  | | | | |
| |  | | --- | | image19.wmf | |  | | | | |
|  | **Nez** | : | *341.84* | kN |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| **Ix**: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X. |  | **Ix** | : | *622.15* | cm4 |
| **Iy**: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y. |  | **Iy** | : | *78.92* | cm4 |
| **It**: Momento de inércia à torção uniforme. |  | **It** | : | *0.24* | cm4 |
| **Cw**: Constante de empenamento da seção. |  | **Cw** | : | *6621.72* | cm6 |
| **E**: Módulo de elasticidade. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **G**: Módulo de elasticidade transversal. |  | **G** | : | *76923* | MPa |
| **KxLx**: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. |  | **KxLx** | : | *6.000* | m |
| **KyLy**: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. |  | **KyLy** | : | *2.000* | m |
| **KzLz**: Comprimento efetivo de flambagem por torção. |  | **KzLz** | : | *2.000* | m |
| **r0**: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image20.wmf | |  | | | | |
|  | **r0** | : | *10.05* | cm |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **rx, ry**: Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente. |  | **rx** | : | *7.82* | cm |
|  | **ry** | : | *2.79* | cm |
| **x0, y0**: Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção. |  | **x0** | : | *-56.62* | mm |
|  | **y0** | : | *0.00* | mm |
| **b) Flambagem por distorção (9.7.3)** |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image21.wmf | |  | | | | |
|  | **Nc,Rd** | : | *117.55* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **A**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **A** | : | *10.17* | cm² |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.2* |  |
| **cdist**: Fator de redução associado à flambagem por distorção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image22.wmf | |  | | | | |
|  | **cdist** | : | *0.58* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **ldist**: Índice de esbeltez reduzida associado à flambagem por distorção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image23.wmf | |  | | | | |
|  | **ldist** | : | *1.35* |  |
|  | | | | |
| **Ndist**: Esforço axial de flambagem por distorção elástica (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007)). |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image24.wmf | |  | | | | |
|  | **Ndist** | : | *134.90* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **kd**: Coeficiente de flambagem por distorção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image25.wmf | |  | | | | |
|  | **kd** | : | *0.58* |  |
|  | | | | |
| **E**: Módulo de elasticidade. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **n**: Coeficiente de Poisson. |  | **n** | : | *0.3* |  |
| **bw**: Largura da alma. |  | **bw** | : | *200.00* | mm |
| **bf**: Largura da aba. |  | **bf** | : | *75.00* | mm |
| **D**: Comprimento do enrijecedor da mesa. |  | **D** | : | *25.00* | mm |
| **t**: A espessura. |  | **t** | : | *2.66* | mm |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image26.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.811*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável **MSd** produz-se num ponto situado a uma distância de 1.000 m do nó N1189, para a combinação de hipóteses PP+CP+1.4·V90(Cpi+0,80) [NL]. |  | **MSd** | : | *9.58* | kN·m |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O momento fletor resistente de cálculo **MRd** deve ser tomado como o menor valor calculado em a), b) y c): |  | **MRd** | : | *11.81* | kN·m |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| **a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)** |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image27.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *13.57* | kN·m |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Wef**: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com **s** calculada para o estado limite último de escoamento da seção. |  | **Wef** | : | *62.21* | cm³ |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.1* |  |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| **b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)** |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image28.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *13.36* | kN·m |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Wc,ef**: Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, adotando **s** = **cFLT**fy. |  | **Wc,ef** | : | *62.21* | cm³ |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.1* |  |
| **cFLT**: Fator de redução associado à flambagem lateral com torção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image29.wmf | |  | | | | |
|  | **(2)cFLT** | : | *0.98* |  |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image30.wmf | |  | | | | |
|  | **l0** | : | *0.64* |  |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| **Wc**: Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida. |  | **Wc** | : | *62.21* | cm³ |
|  | | | | | |
| O momento fletor de flambagem lateral com torção **Me**, em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seccão duplamente simétrica ou monossimétrica sujeitas à flexão em torno do eixo de simetria: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image31.wmf | |  | | | | |
|  | **Me** | : | *36.67* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Cb**: Coeficiente de equivalência de momento na flexão. |  | **Cb** | : | *1.00* |  |
| |  | | --- | | image16.wmf | |  | | | | |
|  | **Ney** | : | *389.44* | kN |
|  | | | | |
| |  | | --- | | image19.wmf | |  | | | | |
|  | **Nez** | : | *341.84* | kN |
|  | | | | |
| **Iy**: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y. |  | **Iy** | : | *78.92* | cm4 |
| **It**: Momento de inércia à torção uniforme. |  | **It** | : | *0.24* | cm4 |
| **Cw**: Constante de empenamento da seção. |  | **Cw** | : | *6621.72* | cm6 |
| **E**: Módulo de elasticidade. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **G**: Módulo de elasticidade transversal. |  | **G** | : | *76923* | MPa |
| **KyLy**: Comprimento efetivo de flambagem lateral. |  | **KyLy** | : | *2.000* | m |
| **KzLz**: Comprimento efetivo de flambagem por torção. |  | **KzLz** | : | *2.000* | m |
|  | | | | | |
| **r0**: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image20.wmf | |  | | | | |
|  | **r0** | : | *10.05* | cm |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **rx, ry**: Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente. |  | **rx** | : | *7.82* | cm |
|  | **ry** | : | *2.79* | cm |
| **x0, y0**: Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção. |  | **x0** | : | *-56.62* | mm |
|  | **y0** | : | *0.00* | mm |
|  | | | | | |
| **c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)** |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image32.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *11.81* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **W**: Módulo resistente elástico da seção bruta em relação à fibra extrema com maior tensão. |  | **W** | : | *62.21* | cm³ |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.1* |  |
| **cdist**: Fator de redução associado à flambagem por distorção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image33.wmf | |  | | | | |
|  | **cdist** | : | *0.87* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **ldist**: Índice de esbeltez reduzida associado à flambagem por distorção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image34.wmf | |  | | | | |
|  | **ldist** | : | *0.85* |  |
|  | | | | |
| **Mdist**: Momento fletor de flambagem por distorção elástica (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007)). |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image35.wmf | |  | | | | |
|  | **Mdist** | : | *20.50* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **kd**: Coeficiente de flambagem por distorção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image36.wmf | |  | | | | |
|  | **kd** | : | *1.45* |  |
|  | | | | |
| **E**: Módulo de elasticidade. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **n**: Coeficiente de Poisson. |  | **n** | : | *0.3* |  |
| **bw**: Largura da alma. |  | **bw** | : | *200.00* | mm |
| **bf**: Largura da aba. |  | **bf** | : | *75.00* | mm |
| **D**: Comprimento do enrijecedor da mesa. |  | **D** | : | *25.00* | mm |
| **t**: A espessura. |  | **t** | : | *2.66* | mm |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image26.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.125*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| O momento fletor desfavorável de cálculo **MSd** é obtido para o nó N1188, para a combinação de hipóteses PP+CP+1.4·V90(Cpi+0,80) [NL]. |  | **MSd** | : | *0.40* | kN·m |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O momento fletor resistente de cálculo **MRd** deve ser tomado como: |  | **MRd** | : | *3.17* | kN·m |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image27.wmf | |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Wef**: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com **s** calculada para o estado limite último de escoamento da seção. |  | **Wef** | : | *14.54* | cm³ |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.1* |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image37.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.011*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **VSd** produz-se no nó N1189, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SC-COB+1.5·PFV+0.84·V270(Cpi-0,70). |  | **VSd** | : | *0.47* | kN |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é **VSd = 0.5 VSd**. |  | **VSd** | : | *0.24* | kN |
|  | | | | | |
| A força cortante resistente de cálculo da alma **VRd** deve ser calculada por: |  | **(1)VRd** | : | *22.41* | kN |
| |  |  | | --- | --- | | para | image38.wmf | |  | | | | |
|  | **1.08(EKV/fy)0.5** | : | *34.15* |  |
|  | | | | |
| |  |  | | --- | --- | | para | image39.wmf | |  | | | | |
|  | **h/t** | : | *24.20* |  |
|  | | | | |
| |  |  | | --- | --- | | para | image40.wmf | |  | | | | |
|  | **1.4(EKV/fy)0.5** | : | *44.27* |  |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **t**: Espessura da alma. |  | **t** | : | *2.66* | mm |
| **h**: Largura da alma. |  | **h** | : | *64.36* | mm |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **E**: Módulo de elasticidade. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.1* |  |
| **KV**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por: |  | **KV** | : | *1.20* |  |
| |  | | --- | | image41.wmf | |  |  |  |  |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image42.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.033*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **VSd** produz-se no nó N1189, para a combinação de hipóteses PP+CP+1.4·V90(Cpi+0,80) [NL]. |  | **VSd** | : | *2.13* | kN |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| A força cortante resistente de cálculo da alma **VRd** deve ser calculada por: |  | **(2)VRd** | : | *64.77* | kN |
| |  |  | | --- | --- | | para | image38.wmf | |  | | | | |
|  | **1.08(EKV/fy)0.5** | : | *69.71* |  |
|  | | | | |
| |  |  | | --- | --- | | para | image39.wmf | |  | | | | |
|  | **h/t** | : | *71.19* |  |
|  | | | | |
| |  |  | | --- | --- | | para | image40.wmf | |  | | | | |
|  | **1.4(EKV/fy)0.5** | : | *90.37* |  |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **t**: Espessura da alma. |  | **t** | : | *2.66* | mm |
| **h**: Largura da alma. |  | **h** | : | *189.36* | mm |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **E**: Módulo de elasticidade. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.1* |  |
| **KV**: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por: |  | **KV** | : | *5.00* |  |
| |  | | --- | | image43.wmf | |  |  |  |  |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis **MSd** e **VSd** produzem-se num ponto situado a uma distância 0.800 m do nó N1189, para a combinação de hipóteses PP+CP+1.4·V90(Cpi+0,80) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| 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: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image44.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.493*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **MSd**: Momento fletor solicitante de cálculo. |  | **MSd** | : | *9.53* | kN·m |
| **M0,Rd**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1. |  | **M0,Rd** | : | *13.57* | kN·m |
| **VSd**: Força cortante solicitante de cálculo. |  | **VSd** | : | *0.43* | kN |
| **VRd**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3. |  | **VRd** | : | *64.77* | kN |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Os esforços de cálculo desfavoráveis **MSd** e **VSd** são obtidos no nó N1188, para a combinação de hipóteses PP+CP+1.4·V90(Cpi+0,80) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| 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: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image44.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.016*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **MSd**: Momento fletor solicitante de cálculo. |  | **MSd** | : | *0.40* | kN·m |
| **M0,Rd**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1. |  | **M0,Rd** | : | *3.17* | kN·m |
| **VSd**: Força cortante solicitante de cálculo. |  | **VSd** | : | *0.42* | kN |
| **VRd**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3. |  | **VRd** | : | *44.82* | kN |

|  |
| --- |
| **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 1.400 m do nó N1189, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+1.5·SC-COB+1.5·PFV+0.84·V270(Cpi-0,70). |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image45.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.700*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Nc,Sd**: Força normal de compressão solicitante de cálculo. |  | **Nc,Sd** | : | *0.74* | kN |
| **Mx,Sd, My,Sd**: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente. |  | **Mx,Sd** | : | *7.60* | kN·m |
|  | **My,Sd** | : | *0.16* | kN·m |
| **Nc,Rd**: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7. |  | **Nc,Rd** | : | *112.59* | kN |
| **Mx,Rd, My,Rd**: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2. |  | **Mx,Rd** | : | *11.81* | kN·m |
|  | **My,Rd** | : | *3.33* | kN·m |

|  |
| --- |
| **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 1.800 m do nó N1189, para a combinação de hipóteses PP+CP+1.4·V90(Cpi+0,80) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image46.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.875*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Nt,Sd**: Força normal de tração solicitante de cálculo. |  | **Nt,Sd** | : | *5.20* | kN |
| **Mx,Sd, My,Sd**: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente. |  | **Mx,Sd** | : | *8.89* | kN·m |
|  | **My,Sd** | : | *0.31* | kN·m |
| **NRd**: Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6. |  | **NRd** | : | *221.90* | kN |
| **Mx,Rd, My,Rd**: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2. |  | **Mx,Rd** | : | *11.81* | kN·m |
|  | **My,Rd** | : | *3.17* | kN·m |

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

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

**Terças do Fechamento Lateral**

Barra N249/N246

| **Perfil: C200X75X20X2.25**  **Material: Aço (SAE1020)** | |
| --- | --- |
| image5.bmp | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | | Nós | | Comprimento  (m) | Características mecânicas | | | | | | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | Inicial | Final | Área  (cm²) | Ix(1)  (cm4) | Iy(1)  (cm4) | It(2)  (cm4) | xg(3)  (mm) | yg(3)  (mm) | | N249 | N246 | 2.000 | 8.44 | 520.03 | 62.40 | 0.14 | -15.52 | 0.00 | | *Notas:*  *(1) Inércia em relação ao eixo indicado*  *(2) Momento de inércia à torção uniforme*  *(3) Coordenadas do centro de gravidade* | | | | | | | | | | | |  | Flambagem | | Flambagem lateral | | | --- | --- | --- | --- | --- | | Plano ZX | Plano ZY | Aba sup. | Aba inf. | | b | 1.00 | 3.00 | 1.00 | 1.00 | | LK | 2.000 | 6.000 | 2.000 | 2.000 | | Cm | - | - | 1.000 | 1.000 | | Cb | - | | 1.000 | | | *Notação:*  *b: Coeficiente de flambagem*  *LK: Comprimento de flambagem (m)*  *Cm: Coeficiente de momentos*  *Cb: Fator de modificação para o momento crítico* | | | | | | |

| Barra | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) | | | | | | | | | | | | | Estado |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| b/t | l | Nt | Nc | Mx | My | Vx | Vy | MxVy | MyVx | NcMxMy | NtMxMy | Mt |
| N249/N246 | (bw/t) £ 500  (bf/t) £ 60  Passa | lxx £ 200.0  lyy £ 200.0  Passa | h = 1.8 | h = 0.7 | x: 1 m  h = 88.7 | x: 2 m  h = 5.2 | x: 2 m  h = 0.7 | x: 0 m  h = 3.7 | x: 0.8 m  h = 45.6 | x: 2 m  h = 0.3 | x: 0.8 m  h = 23.7 | x: 1 m  h = 90.9 | Mt,Sd = 0.00  N.A.(1) | **PASSA**  **h = 90.9** |
| *Notação:*  *b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura*  *l: Limitação de esbeltez*  *Nt: Resistência à tração*  *Nc: Resistência à compressão*  *Mx: Resistência à flexão eixo X*  *My: Resistência à flexão eixo Y*  *Vx: Resistência ao esforço cortante X*  *Vy: Resistência ao esforço cortante Y*  *MxVy: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados*  *MyVx: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados*  *NcMxMy: Resistência à flexo-compressão*  *NtMxMy: Resistência à flexo-tração*  *Mt: Resistência à torção*  *x: Distância à origem da barra*  *h: Coeficiente de aproveitamento (%)*  *N.A.: Não aplicável* | | | | | | | | | | | | | | |
| *Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.):*  *(1) A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.* | | | | | | | | | | | | | | |

|  |
| --- |
| **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. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image6.wmf | |  | | | | |
|  | **(b/t)** | : | ***85*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **b**: Comprimento do elemento. |  | **b** | : | *191.00* | mm |
| **t**: A espessura. |  | **t** | : | *2.25* | 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. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image8.wmf | |  | | | | |
|  | **(b/t)** | : | ***29*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **b**: Comprimento do elemento. |  | **b** | : | *66.00* | mm |
| **t**: A espessura. |  | **t** | : | *2.25* | mm |
|  | | | | | |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| O índice de esbeltez **l** das barras comprimidas não deve exceder o valor 200. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image9.wmf | |  | **lxx** | : | ***76.4*** | image7.bmp |
|  | **lyy** | : | ***73.5*** | image7.bmp |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **KxLx**: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. |  | **KxLx** | : | *6.000* | m |
| **KyLy**: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. |  | **KyLy** | : | *2.000* | m |
| **rx**: Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X. |  | **rx** | : | *7.85* | cm |
| **ry**: Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y. |  | **ry** | : | *2.72* | cm |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image10.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.018*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP+0.75·SC-COB+0.75·PFV+1.4·V90(Cpi +0,80) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nt,Sd**: Asforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Nt,Sd** | : | *3.30* | kN |
|  | | | | | |
| A força normal de tração resistente de cálculo **Nt,Rd** deve ser tomada como: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image11.wmf | |  | | | | |
|  | **Nt,Rd** | : | *184.13* | kN |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **A**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **A** | : | *8.44* | cm² |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.1* |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image12.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.007*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações PP+CP+1.4·V0(Cpi-0,40) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nc,Sd**: Força normal de compressão solicitante de cálculo. |  | **Nc,Sd** | : | *0.54* | kN |
|  | | | | | |
| A resistência de cálculo à compressão **Nc,Rd** é dada pelo menor dos valores obtidos segundo os seguintes itens: |  | **Nc,Rd** | : | *79.68* | kN |
|  | | | | | |
| **a) Inicio de ruptura da seção efetiva e flambagem global (9.7.2)** |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image13.wmf | |  | | | | |
|  | **Nc,Rd** | : | *86.92* | kN |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Aef**: Área efetiva da seção transversal da barra. |  | **Aef** | : | *7.04* | cm² |
| |  |  | | --- | --- | | **c**: Fator de redução associado à flambagem, | image14.wmf | |  | **cyy** | : | *0.76* |  |
|  | **cxz** | : | *0.62* |  |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **l0**: Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas. |  | **l0, yy** | : | *0.81* |  |
|  | **l0, xz** | : | *1.07* |  |
| |  | | --- | | image15.wmf | |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Ne**: Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **A**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **A** | : | *8.44* | cm² |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.2* |  |
|  | | | | | |
| A força normal de flambagem elástica **Ne** é o menor valor entre os obtidos por a) e b): |  | **Ne** | : | *175.97* | kN |
|  | | | | | |
| a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image16.wmf | |  | | | | |
|  | **Ney** | : | *307.96* | kN |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image17.wmf | |  | | | | |
|  | **Nexz** | : | *175.97* | kN |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image18.wmf | |  | | | | |
|  | **Nex** | : | *285.14* | kN |
|  | | | | |
| |  | | --- | | image19.wmf | |  | | | | |
|  | **Nez** | : | *259.69* | kN |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| **Ix**: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X. |  | **Ix** | : | *520.03* | cm4 |
| **Iy**: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y. |  | **Iy** | : | *62.40* | cm4 |
| **It**: Momento de inércia à torção uniforme. |  | **It** | : | *0.14* | cm4 |
| **Cw**: Constante de empenamento da seção. |  | **Cw** | : | *4930.90* | cm6 |
| **E**: Módulo de elasticidade. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **G**: Módulo de elasticidade transversal. |  | **G** | : | *76923* | MPa |
| **KxLx**: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. |  | **KxLx** | : | *6.000* | m |
| **KyLy**: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. |  | **KyLy** | : | *2.000* | m |
| **KzLz**: Comprimento efetivo de flambagem por torção. |  | **KzLz** | : | *2.000* | m |
| **r0**: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image20.wmf | |  | | | | |
|  | **r0** | : | *9.90* | cm |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **rx, ry**: Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente. |  | **rx** | : | *7.85* | cm |
|  | **ry** | : | *2.72* | cm |
| **x0, y0**: Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção. |  | **x0** | : | *-53.76* | mm |
|  | **y0** | : | *0.00* | mm |
| **b) Flambagem por distorção (9.7.3)** |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image21.wmf | |  | | | | |
|  | **Nc,Rd** | : | *79.68* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **A**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **A** | : | *8.44* | cm² |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.2* |  |
| **cdist**: Fator de redução associado à flambagem por distorção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image22.wmf | |  | | | | |
|  | **cdist** | : | *0.47* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **ldist**: Índice de esbeltez reduzida associado à flambagem por distorção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image23.wmf | |  | | | | |
|  | **ldist** | : | *1.65* |  |
|  | | | | |
| **Ndist**: Esforço axial de flambagem por distorção elástica (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007)). |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image24.wmf | |  | | | | |
|  | **Ndist** | : | *74.08* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **kd**: Coeficiente de flambagem por distorção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image25.wmf | |  | | | | |
|  | **kd** | : | *0.54* |  |
|  | | | | |
| **E**: Módulo de elasticidade. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **n**: Coeficiente de Poisson. |  | **n** | : | *0.3* |  |
| **bw**: Largura da alma. |  | **bw** | : | *200.00* | mm |
| **bf**: Largura da aba. |  | **bf** | : | *75.00* | mm |
| **D**: Comprimento do enrijecedor da mesa. |  | **D** | : | *20.00* | mm |
| **t**: A espessura. |  | **t** | : | *2.25* | mm |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image26.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.887*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável **MSd** produz-se num ponto situado a uma distância de 1.000 m do nó N249, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+0.75·SC-COB+0.75·PFV+1.4·V0(Cpi+0,80). |  | **MSd** | : | *7.69* | kN·m |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O momento fletor resistente de cálculo **MRd** deve ser tomado como o menor valor calculado em a), b) y c): |  | **MRd** | : | *8.67* | kN·m |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| **a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)** |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image27.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *11.35* | kN·m |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Wef**: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com **s** calculada para o estado limite último de escoamento da seção. |  | **Wef** | : | *52.00* | cm³ |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.1* |  |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| **b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)** |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image28.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *11.03* | kN·m |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Wc,ef**: Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, adotando **s** = **cFLT**fy. |  | **Wc,ef** | : | *52.00* | cm³ |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.1* |  |
| **cFLT**: Fator de redução associado à flambagem lateral com torção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image29.wmf | |  | | | | |
|  | **(2)cFLT** | : | *0.97* |  |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image30.wmf | |  | | | | |
|  | **l0** | : | *0.67* |  |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| **Wc**: Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida. |  | **Wc** | : | *52.00* | cm³ |
|  | | | | | |
| O momento fletor de flambagem lateral com torção **Me**, em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seccão duplamente simétrica ou monossimétrica sujeitas à flexão em torno do eixo de simetria: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image31.wmf | |  | | | | |
|  | **Me** | : | *27.98* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Cb**: Coeficiente de equivalência de momento na flexão. |  | **Cb** | : | *1.00* |  |
| |  | | --- | | image16.wmf | |  | | | | |
|  | **Ney** | : | *307.96* | kN |
|  | | | | |
| |  | | --- | | image19.wmf | |  | | | | |
|  | **Nez** | : | *259.69* | kN |
|  | | | | |
| **Iy**: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y. |  | **Iy** | : | *62.40* | cm4 |
| **It**: Momento de inércia à torção uniforme. |  | **It** | : | *0.14* | cm4 |
| **Cw**: Constante de empenamento da seção. |  | **Cw** | : | *4930.90* | cm6 |
| **E**: Módulo de elasticidade. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **G**: Módulo de elasticidade transversal. |  | **G** | : | *76923* | MPa |
| **KyLy**: Comprimento efetivo de flambagem lateral. |  | **KyLy** | : | *2.000* | m |
| **KzLz**: Comprimento efetivo de flambagem por torção. |  | **KzLz** | : | *2.000* | m |
|  | | | | | |
| **r0**: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image20.wmf | |  | | | | |
|  | **r0** | : | *9.90* | cm |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **rx, ry**: Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente. |  | **rx** | : | *7.85* | cm |
|  | **ry** | : | *2.72* | cm |
| **x0, y0**: Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção. |  | **x0** | : | *-53.76* | mm |
|  | **y0** | : | *0.00* | mm |
|  | | | | | |
| **c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)** |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image32.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *8.67* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **W**: Módulo resistente elástico da seção bruta em relação à fibra extrema com maior tensão. |  | **W** | : | *52.00* | cm³ |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.1* |  |
| **cdist**: Fator de redução associado à flambagem por distorção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image33.wmf | |  | | | | |
|  | **cdist** | : | *0.76* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **ldist**: Índice de esbeltez reduzida associado à flambagem por distorção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image34.wmf | |  | | | | |
|  | **ldist** | : | *1.03* |  |
|  | | | | |
| **Mdist**: Momento fletor de flambagem por distorção elástica (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007)). |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image35.wmf | |  | | | | |
|  | **Mdist** | : | *11.79* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **kd**: Coeficiente de flambagem por distorção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image36.wmf | |  | | | | |
|  | **kd** | : | *1.39* |  |
|  | | | | |
| **E**: Módulo de elasticidade. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **n**: Coeficiente de Poisson. |  | **n** | : | *0.3* |  |
| **bw**: Largura da alma. |  | **bw** | : | *200.00* | mm |
| **bf**: Largura da aba. |  | **bf** | : | *75.00* | mm |
| **D**: Comprimento do enrijecedor da mesa. |  | **D** | : | *20.00* | mm |
| **t**: A espessura. |  | **t** | : | *2.25* | mm |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image26.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.052*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| O momento fletor desfavorável de cálculo **MSd** é obtido para o nó N246, para a combinação de hipóteses 1.5·PP+1.5·CP+1.4·V0(Cpi +0,80) [NL]. |  | **MSd** | : | *0.13* | kN·m |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O momento fletor resistente de cálculo **MRd** deve ser tomado como: |  | **MRd** | : | *2.57* | kN·m |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image27.wmf | |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Wef**: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com **s** calculada para o estado limite último de escoamento da seção. |  | **Wef** | : | *11.77* | cm³ |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.1* |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image37.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.007*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **VSd** produz-se no nó N246, para a combinação de hipóteses 1.5·PP+1.5·CP+1.4·V0(Cpi +0,80) [NL]. |  | **VSd** | : | *0.29* | kN |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é **VSd = 0.5 VSd**. |  | **VSd** | : | *0.14* | kN |
|  | | | | | |
| A força cortante resistente de cálculo da alma **VRd** deve ser calculada por: |  | **(1)VRd** | : | *19.44* | kN |
| |  |  | | --- | --- | | para | image38.wmf | |  | | | | |
|  | **1.08(EKV/fy)0.5** | : | *34.15* |  |
|  | | | | |
| |  |  | | --- | --- | | para | image39.wmf | |  | | | | |
|  | **h/t** | : | *29.33* |  |
|  | | | | |
| |  |  | | --- | --- | | para | image40.wmf | |  | | | | |
|  | **1.4(EKV/fy)0.5** | : | *44.27* |  |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **t**: Espessura da alma. |  | **t** | : | *2.25* | mm |
| **h**: Largura da alma. |  | **h** | : | *66.00* | mm |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **E**: Módulo de elasticidade. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.1* |  |
| **KV**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por: |  | **KV** | : | *1.20* |  |
| |  | | --- | | image41.wmf | |  |  |  |  |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image42.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.037*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **VSd** produz-se no nó N249, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+0.75·SC-COB+0.75·PFV+1.4·V0(Cpi+0,80). |  | **VSd** | : | *1.71* | kN |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| A força cortante resistente de cálculo da alma **VRd** deve ser calculada por: |  | **(2)VRd** | : | *46.34* | kN |
| |  |  | | --- | --- | | para | image38.wmf | |  | | | | |
|  | **1.08(EKV/fy)0.5** | : | *69.71* |  |
|  | | | | |
| |  |  | | --- | --- | | para | image39.wmf | |  | | | | |
|  | **h/t** | : | *84.89* |  |
|  | | | | |
| |  |  | | --- | --- | | para | image40.wmf | |  | | | | |
|  | **1.4(EKV/fy)0.5** | : | *90.37* |  |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **t**: Espessura da alma. |  | **t** | : | *2.25* | mm |
| **h**: Largura da alma. |  | **h** | : | *191.00* | mm |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **E**: Módulo de elasticidade. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.1* |  |
| **KV**: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por: |  | **KV** | : | *5.00* |  |
| |  | | --- | | image43.wmf | |  |  |  |  |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis **MSd** e **VSd** produzem-se num ponto situado a uma distância 0.800 m do nó N249, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+0.75·SC-COB+0.75·PFV+1.4·V0(Cpi+0,80). |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| 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: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image44.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.456*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **MSd**: Momento fletor solicitante de cálculo. |  | **MSd** | : | *7.66* | kN·m |
| **M0,Rd**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1. |  | **M0,Rd** | : | *11.35* | kN·m |
| **VSd**: Força cortante solicitante de cálculo. |  | **VSd** | : | *0.34* | kN |
| **VRd**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3. |  | **VRd** | : | *46.34* | kN |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Os esforços de cálculo desfavoráveis **MSd** e **VSd** são obtidos no nó N246, para a combinação de hipóteses 1.5·PP+1.5·CP+1.4·V0(Cpi +0,80) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| 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: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image44.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.003*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **MSd**: Momento fletor solicitante de cálculo. |  | **MSd** | : | *0.13* | kN·m |
| **M0,Rd**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1. |  | **M0,Rd** | : | *2.57* | kN·m |
| **VSd**: Força cortante solicitante de cálculo. |  | **VSd** | : | *0.29* | kN |
| **VRd**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3. |  | **VRd** | : | *38.88* | kN |

|  |
| --- |
| **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 0.800 m do nó N249, para a combinação de hipóteses PP+CP+1.4·V0(Cpi-0,40) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image45.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.237*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Nc,Sd**: Força normal de compressão solicitante de cálculo. |  | **Nc,Sd** | : | *0.54* | kN |
| **Mx,Sd, My,Sd**: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente. |  | **Mx,Sd** | : | *1.88* | kN·m |
|  | **My,Sd** | : | *0.03* | kN·m |
| **Nc,Rd**: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7. |  | **Nc,Rd** | : | *79.68* | kN |
| **Mx,Rd, My,Rd**: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2. |  | **Mx,Rd** | : | *8.67* | kN·m |
|  | **My,Rd** | : | *2.40* | kN·m |

|  |
| --- |
| **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 1.000 m do nó N249, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+0.75·SC-COB+0.75·PFV+1.4·V0(Cpi+0,80). |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image46.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.909*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Nt,Sd**: Força normal de tração solicitante de cálculo. |  | **Nt,Sd** | : | *1.25* | kN |
| **Mx,Sd, My,Sd**: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente. |  | **Mx,Sd** | : | *7.69* | kN·m |
|  | **My,Sd** | : | *0.04* | kN·m |
| **NRd**: Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6. |  | **NRd** | : | *184.13* | kN |
| **Mx,Rd, My,Rd**: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2. |  | **Mx,Rd** | : | *8.67* | kN·m |
|  | **My,Rd** | : | *2.40* | kN·m |

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

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

**Terças do Fechamento Frontal**

Barra N426/N427

| **Perfil: C200X75X20X2.25**  **Material: Aço (SAE1020)** | |
| --- | --- |
| image5.bmp | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | | Nós | | Comprimento  (m) | Características mecânicas | | | | | | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | Inicial | Final | Área  (cm²) | Ix(1)  (cm4) | Iy(1)  (cm4) | It(2)  (cm4) | xg(3)  (mm) | yg(3)  (mm) | | N426 | N427 | 1.667 | 8.44 | 520.03 | 62.40 | 0.14 | -15.52 | 0.00 | | *Notas:*  *(1) Inércia em relação ao eixo indicado*  *(2) Momento de inércia à torção uniforme*  *(3) Coordenadas do centro de gravidade* | | | | | | | | | | | |  | Flambagem | | Flambagem lateral | | | --- | --- | --- | --- | --- | | Plano ZX | Plano ZY | Aba sup. | Aba inf. | | b | 1.00 | 3.00 | 1.00 | 1.00 | | LK | 1.667 | 5.000 | 1.667 | 1.667 | | Cm | - | - | 1.000 | 1.000 | | Cb | - | | 1.000 | | | *Notação:*  *b: Coeficiente de flambagem*  *LK: Comprimento de flambagem (m)*  *Cm: Coeficiente de momentos*  *Cb: Fator de modificação para o momento crítico* | | | | | | |

| Barra | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 14762:2010) | | | | | | | | | | | | | Estado |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| b/t | l | Nt | Nc | Mx | My | Vx | Vy | MxVy | MyVx | NcMxMy | NtMxMy | Mt |
| N426/N427 | (bw/t) £ 500  (bf/t) £ 60  Passa | lxx £ 200.0  lyy £ 200.0  Passa | h = 1.7 | h = 0.8 | x: 1.042 m  h = 57.6 | MSd = 0.00  N.A.(1) | x: 1.667 m  h = 0.6 | x: 0 m  h = 3.1 | x: 1.042 m  h = 19.3 | N.A.(2) | x: 1.667 m  h = 4.5 | x: 0.625 m  h = 59.6 | Mt,Sd = 0.00  N.A.(3) | **PASSA**  **h = 59.6** |
| *Notação:*  *b/t: Valores máximos da relação comprimento-espessura*  *l: Limitação de esbeltez*  *Nt: Resistência à tração*  *Nc: Resistência à compressão*  *Mx: Resistência à flexão eixo X*  *My: Resistência à flexão eixo Y*  *Vx: Resistência ao esforço cortante X*  *Vy: Resistência ao esforço cortante Y*  *MxVy: Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados*  *MyVx: Resistência ao momento fletor Y e esforço cortante X combinados*  *NcMxMy: Resistência à flexo-compressão*  *NtMxMy: Resistência à flexo-tração*  *Mt: Resistência à torção*  *x: Distância à origem da barra*  *h: Coeficiente de aproveitamento (%)*  *N.A.: Não aplicável* | | | | | | | | | | | | | | |
| *Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.):*  *(1) A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.*  *(2) Não há interação entre o momento fletor e o esforço cortante para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.*  *(3) 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. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image6.wmf | |  | | | | |
|  | **(b/t)** | : | ***85*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **b**: Comprimento do elemento. |  | **b** | : | *191.00* | mm |
| **t**: A espessura. |  | **t** | : | *2.25* | 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. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image8.wmf | |  | | | | |
|  | **(b/t)** | : | ***29*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **b**: Comprimento do elemento. |  | **b** | : | *66.00* | mm |
| **t**: A espessura. |  | **t** | : | *2.25* | mm |
|  | | | | | |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| O índice de esbeltez **l** das barras comprimidas não deve exceder o valor 200. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image9.wmf | |  | **lxx** | : | ***63.7*** | image7.bmp |
|  | **lyy** | : | ***61.3*** | image7.bmp |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **KxLx**: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. |  | **KxLx** | : | *5.000* | m |
| **KyLy**: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. |  | **KyLy** | : | *1.667* | m |
| **rx**: Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X. |  | **rx** | : | *7.85* | cm |
| **ry**: Raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y. |  | **ry** | : | *2.72* | cm |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image10.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.017*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.35·PP+1.35·CP+1.2·SC-COB+1.2·PFV+1.4·V0(Cpi +0,80) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nt,Sd**: Asforço axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Nt,Sd** | : | *3.16* | kN |
|  | | | | | |
| A força normal de tração resistente de cálculo **Nt,Rd** deve ser tomada como: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image11.wmf | |  | | | | |
|  | **Nt,Rd** | : | *184.13* | kN |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **A**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **A** | : | *8.44* | cm² |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.1* |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image12.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.008*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações PP+CP+1.4·V270(Cpi-0,70) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nc,Sd**: Força normal de compressão solicitante de cálculo. |  | **Nc,Sd** | : | *0.61* | kN |
|  | | | | | |
| A resistência de cálculo à compressão **Nc,Rd** é dada pelo menor dos valores obtidos segundo os seguintes itens: |  | **Nc,Rd** | : | *79.68* | kN |
|  | | | | | |
| **a) Inicio de ruptura da seção efetiva e flambagem global (9.7.2)** |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image13.wmf | |  | | | | |
|  | **Nc,Rd** | : | *98.16* | kN |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Aef**: Área efetiva da seção transversal da barra. |  | **Aef** | : | *6.87* | cm² |
| |  |  | | --- | --- | | **c**: Fator de redução associado à flambagem, | image14.wmf | |  | **cyy** | : | *0.83* |  |
|  | **cxz** | : | *0.71* |  |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **l0**: Índice de esbeltez reduzido para barras comprimidas. |  | **l0, yy** | : | *0.68* |  |
|  | **l0, xz** | : | *0.90* |  |
| |  | | --- | | image15.wmf | |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Ne**: Força normal de flambagem elástica da barra, conforme 9.7.2. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **A**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **A** | : | *8.44* | cm² |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.2* |  |
|  | | | | | |
| A força normal de flambagem elástica **Ne** é o menor valor entre os obtidos por a) e b): |  | **Ne** | : | *251.57* | kN |
|  | | | | | |
| a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image16.wmf | |  | | | | |
|  | **Ney** | : | *443.46* | kN |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| b) Força normal de flambagem elástica por flexo-torção. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image17.wmf | |  | | | | |
|  | **Nexz** | : | *251.57* | kN |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image18.wmf | |  | | | | |
|  | **Nex** | : | *410.60* | kN |
|  | | | | |
| |  | | --- | | image19.wmf | |  | | | | |
|  | **Nez** | : | *369.03* | kN |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| **Ix**: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X. |  | **Ix** | : | *520.03* | cm4 |
| **Iy**: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y. |  | **Iy** | : | *62.40* | cm4 |
| **It**: Momento de inércia à torção uniforme. |  | **It** | : | *0.14* | cm4 |
| **Cw**: Constante de empenamento da seção. |  | **Cw** | : | *4930.90* | cm6 |
| **E**: Módulo de elasticidade. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **G**: Módulo de elasticidade transversal. |  | **G** | : | *76923* | MPa |
| **KxLx**: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X. |  | **KxLx** | : | *5.000* | m |
| **KyLy**: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. |  | **KyLy** | : | *1.667* | m |
| **KzLz**: Comprimento efetivo de flambagem por torção. |  | **KzLz** | : | *1.667* | m |
| **r0**: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image20.wmf | |  | | | | |
|  | **r0** | : | *9.90* | cm |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **rx, ry**: Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente. |  | **rx** | : | *7.85* | cm |
|  | **ry** | : | *2.72* | cm |
| **x0, y0**: Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção. |  | **x0** | : | *-53.76* | mm |
|  | **y0** | : | *0.00* | mm |
| **b) Flambagem por distorção (9.7.3)** |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image21.wmf | |  | | | | |
|  | **Nc,Rd** | : | *79.68* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **A**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **A** | : | *8.44* | cm² |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.2* |  |
| **cdist**: Fator de redução associado à flambagem por distorção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image22.wmf | |  | | | | |
|  | **cdist** | : | *0.47* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **ldist**: Índice de esbeltez reduzida associado à flambagem por distorção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image23.wmf | |  | | | | |
|  | **ldist** | : | *1.65* |  |
|  | | | | |
| **Ndist**: Esforço axial de flambagem por distorção elástica (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007)). |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image24.wmf | |  | | | | |
|  | **Ndist** | : | *74.08* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **kd**: Coeficiente de flambagem por distorção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image25.wmf | |  | | | | |
|  | **kd** | : | *0.54* |  |
|  | | | | |
| **E**: Módulo de elasticidade. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **n**: Coeficiente de Poisson. |  | **n** | : | *0.3* |  |
| **bw**: Largura da alma. |  | **bw** | : | *200.00* | mm |
| **bf**: Largura da aba. |  | **bf** | : | *75.00* | mm |
| **D**: Comprimento do enrijecedor da mesa. |  | **D** | : | *20.00* | mm |
| **t**: A espessura. |  | **t** | : | *2.25* | mm |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image26.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.576*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| O momento fletor solicitante de cálculo desfavorável **MSd** produz-se num ponto situado a uma distância de 1.042 m do nó N426, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+0.75·SC-COB+0.75·PFV+1.4·V270(Cpi+0,80). |  | **MSd** | : | *4.99* | kN·m |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O momento fletor resistente de cálculo **MRd** deve ser tomado como o menor valor calculado em a), b) y c): |  | **MRd** | : | *8.67* | kN·m |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| **a) Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)** |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image27.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *11.35* | kN·m |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Wef**: Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com **s** calculada para o estado limite último de escoamento da seção. |  | **Wef** | : | *52.00* | cm³ |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.1* |  |
|  | | | | | |
|  | | | | | |
| **b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)** |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image28.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *11.35* | kN·m |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Wc,ef**: Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra comprimida, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, adotando **s** = **cFLT**fy. |  | **Wc,ef** | : | *52.00* | cm³ |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.1* |  |
| **cFLT**: Fator de redução associado à flambagem lateral com torção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image29.wmf | |  | | | | |
|  | **(1)cFLT** | : | *1.00* |  |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image30.wmf | |  | | | | |
|  | **l0** | : | *0.56* |  |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| **Wc**: Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra comprimida. |  | **Wc** | : | *52.00* | cm³ |
|  | | | | | |
| O momento fletor de flambagem lateral com torção **Me**, em regime elástico, pode ser calculado pela seguinte expressão para barras com seccão duplamente simétrica ou monossimétrica sujeitas à flexão em torno do eixo de simetria: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image31.wmf | |  | | | | |
|  | **Me** | : | *40.03* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Cb**: Coeficiente de equivalência de momento na flexão. |  | **Cb** | : | *1.00* |  |
| |  | | --- | | image16.wmf | |  | | | | |
|  | **Ney** | : | *443.46* | kN |
|  | | | | |
| |  | | --- | | image19.wmf | |  | | | | |
|  | **Nez** | : | *369.03* | kN |
|  | | | | |
| **Iy**: Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y. |  | **Iy** | : | *62.40* | cm4 |
| **It**: Momento de inércia à torção uniforme. |  | **It** | : | *0.14* | cm4 |
| **Cw**: Constante de empenamento da seção. |  | **Cw** | : | *4930.90* | cm6 |
| **E**: Módulo de elasticidade. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **G**: Módulo de elasticidade transversal. |  | **G** | : | *76923* | MPa |
| **KyLy**: Comprimento efetivo de flambagem lateral. |  | **KyLy** | : | *1.667* | m |
| **KzLz**: Comprimento efetivo de flambagem por torção. |  | **KzLz** | : | *1.667* | m |
|  | | | | | |
| **r0**: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image20.wmf | |  | | | | |
|  | **r0** | : | *9.90* | cm |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **rx, ry**: Raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais de inércia X e Y, respectivamente. |  | **rx** | : | *7.85* | cm |
|  | **ry** | : | *2.72* | cm |
| **x0, y0**: Coordenadas do centro de torção na direção dos eixos principais X e Y, respectivamente, em relação ao centróide da seção. |  | **x0** | : | *-53.76* | mm |
|  | **y0** | : | *0.00* | mm |
|  | | | | | |
| **c) Flambagem por distorção (9.8.2.3)** |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image32.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *8.67* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **W**: Módulo resistente elástico da seção bruta em relação à fibra extrema com maior tensão. |  | **W** | : | *52.00* | cm³ |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.1* |  |
| **cdist**: Fator de redução associado à flambagem por distorção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image33.wmf | |  | | | | |
|  | **cdist** | : | *0.76* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **ldist**: Índice de esbeltez reduzida associado à flambagem por distorção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image34.wmf | |  | | | | |
|  | **ldist** | : | *1.03* |  |
|  | | | | |
| **Mdist**: Momento fletor de flambagem por distorção elástica (A norma não contempla a formulação necessária para esta verificação, portanto, aplica-se o critério da norma AISI S100-07 (2007)). |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image35.wmf | |  | | | | |
|  | **Mdist** | : | *11.79* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **kd**: Coeficiente de flambagem por distorção. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image36.wmf | |  | | | | |
|  | **kd** | : | *1.39* |  |
|  | | | | |
| **E**: Módulo de elasticidade. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **n**: Coeficiente de Poisson. |  | **n** | : | *0.3* |  |
| **bw**: Largura da alma. |  | **bw** | : | *200.00* | mm |
| **bf**: Largura da aba. |  | **bf** | : | *75.00* | mm |
| **D**: Comprimento do enrijecedor da mesa. |  | **D** | : | *20.00* | mm |
| **t**: A espessura. |  | **t** | : | *2.25* | 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) |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image37.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.006*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **VSd** produz-se no nó N427, para a combinação de hipóteses 1.5·PP+1.5·CP+0.75·SC-COB+0.75·PFV+1.4·V90(Cpi -0,70) [NL]. |  | **VSd** | : | *0.22* | kN |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| A seção é composta por duas almas iguais. Sobre cada uma delas, o esforço de cálculo é **VSd = 0.5 VSd**. |  | **VSd** | : | *0.11* | kN |
|  | | | | | |
| A força cortante resistente de cálculo da alma **VRd** deve ser calculada por: |  | **(1)VRd** | : | *19.44* | kN |
| |  |  | | --- | --- | | para | image38.wmf | |  | | | | |
|  | **1.08(EKV/fy)0.5** | : | *34.15* |  |
|  | | | | |
| |  |  | | --- | --- | | para | image39.wmf | |  | | | | |
|  | **h/t** | : | *29.33* |  |
|  | | | | |
| |  |  | | --- | --- | | para | image40.wmf | |  | | | | |
|  | **1.4(EKV/fy)0.5** | : | *44.27* |  |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **t**: Espessura da alma. |  | **t** | : | *2.25* | mm |
| **h**: Largura da alma. |  | **h** | : | *66.00* | mm |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **E**: Módulo de elasticidade. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.1* |  |
| **KV**: Coeficiente de flambagem local por esforço cortante que, para uma mesa, é dado por: |  | **KV** | : | *1.20* |  |
| |  | | --- | | image41.wmf | |  |  |  |  |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image42.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.031*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço cortante solicitante de cálculo desfavorável **VSd** produz-se no nó N426, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+0.75·SC-COB+0.75·PFV+1.4·V270(Cpi+0,80). |  | **VSd** | : | *1.41* | kN |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| A força cortante resistente de cálculo da alma **VRd** deve ser calculada por: |  | **(2)VRd** | : | *46.34* | kN |
| |  |  | | --- | --- | | para | image38.wmf | |  | | | | |
|  | **1.08(EKV/fy)0.5** | : | *69.71* |  |
|  | | | | |
| |  |  | | --- | --- | | para | image39.wmf | |  | | | | |
|  | **h/t** | : | *84.89* |  |
|  | | | | |
| |  |  | | --- | --- | | para | image40.wmf | |  | | | | |
|  | **1.4(EKV/fy)0.5** | : | *90.37* |  |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **t**: Espessura da alma. |  | **t** | : | *2.25* | mm |
| **h**: Largura da alma. |  | **h** | : | *191.00* | mm |
| **fy**: Tensão de escoamento. |  | **fy** | : | *240.00* | MPa |
| **E**: Módulo de elasticidade. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **g**: Coeficiente de ponderação das resistências. |  | **g** | : | *1.1* |  |
| **KV**: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por: |  | **KV** | : | *5.00* |  |
| |  | | --- | | image43.wmf | |  |  |  |  |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Os esforços solicitantes de cálculo desfavoráveis **MSd** e **VSd** produzem-se num ponto situado a uma distância 1.042 m do nó N426, para a combinação de hipóteses 1.25·PP+1.25·CP+0.75·SC-COB+0.75·PFV+1.4·V270(Cpi+0,80). |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| 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: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image44.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.193*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **MSd**: Momento fletor solicitante de cálculo. |  | **MSd** | : | *4.99* | kN·m |
| **M0,Rd**: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1. |  | **M0,Rd** | : | *11.35* | kN·m |
| **VSd**: Força cortante solicitante de cálculo. |  | **VSd** | : | *0.11* | kN |
| **VRd**: Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3. |  | **VRd** | : | *46.34* | kN |

|  |
| --- |
| **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 N427, para a combinação de hipóteses PP+1.5·CP+1.4·V90(Cpi -0,70) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image45.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.045*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Nc,Sd**: Força normal de compressão solicitante de cálculo. |  | **Nc,Sd** | : | *0.36* | kN |
| **Mx,Sd, My,Sd**: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente. |  | **Mx,Sd** | : | *0.15* | kN·m |
|  | **My,Sd** | : | *0.06* | kN·m |
| **Nc,Rd**: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7. |  | **Nc,Rd** | : | *79.68* | kN |
| **Mx,Rd, My,Rd**: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2. |  | **Mx,Rd** | : | *8.67* | kN·m |
|  | **My,Rd** | : | *2.57* | kN·m |

|  |
| --- |
| **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 0.625 m do nó N426, para a combinação de hipóteses 1.5·PP+1.5·CP+0.75·SC-COB+0.75·PFV+1.4·V90(Cpi +0,80) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| Os esforços devem satisfazer as seguintes expressões de interação: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image46.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.596*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Nt,Sd**: Força normal de tração solicitante de cálculo. |  | **Nt,Sd** | : | *1.61* | kN |
| **Mx,Sd, My,Sd**: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente. |  | **Mx,Sd** | : | *4.97* | kN·m |
|  | **My,Sd** | : | *0.03* | kN·m |
| **NRd**: Força normal de tração resistente de cálculo conforme 9.6. |  | **NRd** | : | *184.13* | kN |
| **Mx,Rd, My,Rd**: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2. |  | **Mx,Rd** | : | *8.67* | kN·m |
|  | **My,Rd** | : | *2.40* | kN·m |

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

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

**Viga do Pórtico Principal**

Barra N1249/N1179

| **Perfil: W 410 x 38.8, Simples com mísulas (Mísula inicial inferior: 0.68 m.)**  **Material: Aço (A-572 345MPa)** | |
| --- | --- |
| image5.bmp | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | | Nós | | Comprimento  (m) | Características mecânicas(1) | | | | | | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | Inicial | Final | Área  (cm²) | Ix(2)  (cm4) | Iy(2)  (cm4) | It(3)  (cm4) | xg(4)  (mm) | yg(4)  (mm) | | N1249 | N1179 | 1.934 | 87.03 | 62925.34 | 606.06 | 18.20 | 0.00 | 195.10 | | *Notas:*  *(1) As características mecânicas e o desenho mostrados correspondem à seção inicial do perfil (N1249)*  *(2) Inércia em relação ao eixo indicado*  *(3) Momento de inércia à torção uniforme*  *(4) Coordenadas do centro de gravidade* | | | | | | | | | | | |  | Flambagem | | Flambagem lateral | | | --- | --- | --- | --- | --- | | Plano ZX | Plano ZY | Aba sup. | Aba inf. | | b | 1.94 | 10.34 | 1.94 | 1.94 | | LK | 3.760 | 20.000 | 3.760 | 3.760 | | Cb | - | | 1.730 | | | *Notação:*  *b: Coeficiente de flambagem*  *LK: Comprimento de flambagem (m)*  *Cb: Fator de modificação para o momento crítico* | | | | | | |

| Barra | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2024) | | | | | | | | | | | Estado |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| l | Nt | Nc | Mx | My | Vx | Vy | NMxMy | T | NMVT | s t f |
| N1249/N1179 | l £ 200.0  Passa | x: 0.564 m  h = 4.4 | x: 0 m  h = 16.6 | x: 0.566 m  h = 75.6 | x: 1.934 m  h = 0.3 | x: 0.564 m  h < 0.1 | x: 0 m  h = 10.1 | x: 0.566 m  h = 81.5 | x: 0.564 m  h = 0.4 | N.A.(1) | N.A.(2) | **PASSA**  **h = 81.5** |
| *Notação:*  *l: Limitação do índice de esbeltez*  *Nt: Resistência à tração*  *Nc: Resistência à compressão*  *Mx: Resistência à flexão eixo X*  *My: Resistência à flexão eixo Y*  *Vx: Resistência ao esforço cortante X*  *Vy: Resistência ao esforço cortante Y*  *NMxMy: Resistência ao esforço axial e flexão combinados*  *T: Resistência à torção*  *NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante*  *s t f: Resistência a interações de esforços e momento de torção*  *x: Distância à origem da barra*  *h: Coeficiente de aproveitamento (%)*  *N.A.: Não aplicável* | | | | | | | | | | | | |
| *Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.):*  *(1) Este caso não está contemplado pela norma e, portanto, não é possível realizar a verificação.*  *(2) Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.* | | | | | | | | | | | | |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| O índice de esbeltez das barras comprimidas, tomado como o maior relação entre o comprimento de flambagem e o raio de giração, não deve ser superior a 200. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image6.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | ***132.7*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **l**: Índice de esbeltez. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image8.wmf | |  | **lx** | : | *125.5* |  |
|  | **ly** | : | *132.7* |  |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Lx**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X. |  | **Lx** | : | *20.000* | m |
| **Ly**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. |  | **Ly** | : | *3.760* | m |
| **rx,ry**: Raios de giração em relação aos eixos principales X, Y, respectivamente. |  | **rx** | : | *15.94* | cm |
|  | **ry** | : | *2.83* | cm |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image9.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.044*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.564 m do nó N1249, para a combinação de ações PP+CP+1.4·V0(Cpi+0,80) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nt,Sd**: Força axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Nt,Sd** | : | *68.96* | kN |
|  | | | | | |
| A força axial de tração resistente de cálculo, Nt,Rd, deve ser determinada pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image10.wmf | |  | | | | |
|  | **Nt,Rd** | : | *1577.59* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Ag**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **Ag** | : | *50.30* | cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image11.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.166*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1249, para a combinação de ações 1.35·PP+1.35·CP+1.5·SC-COB+1.5·PFV+0.84·V270(Cpi-0,70) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nc,Sd**: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Nc,Sd** | : | *61.18* | kN |
|  | | | | | |
| A força axial de compressão resistente de cálculo, Nc,Rd, deve ser determinada pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image12.wmf | |  | | | | |
|  | **Nc,Rd** | : | *369.65* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **c**: Fator de redução total associado à resistência à compressão. |  | **c** | : | *0.172* |  |
| **Aef**: Área efetiva da seção transversal da barra. |  | **Aef** | : | *68.59* | cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
|  | | | | | |
| **Fator de redução c:** (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.3.3) | | | | | |
| |  | | --- | | image13.wmf | |  | | | | |
|  | **c** | : | *0.172* |  |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **l0**: Índice de esbeltez reduzido. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image14.wmf | |  | | | | |
|  | **l0** | : | *2.259* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Ag**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **Ag** | : | *83.45* | cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **Ne**: Força axial de flambagem elástica. |  | **Ne** | : | *564.07* | kN |
|  | | | | | |
| **Área efetiva da seção transversal. (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.3.4)** |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image15.wmf | |  | | | | |
|  | **Aef** | : | *68.59* | cm² |
|  | | | | |
| Alma: Elemento do Grupo 2 da Tabela 4. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image16.wmf | |  | **111.83** | > | **67.19** |  |
|  |  |  |  |  |
| **bef**: Largura efetiva do elemento. |  | **bef** | : | *483.52* | mm |
| |  | | --- | | image17.wmf | |  |  |  |  |  |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **(b/t)**: Relação entre largura e espessura. |  | **(b/t)** | : | *111.83* |  |
| **b**: Largura. |  | **b** | : | *715.69* | mm |
| **t**: Espessura. |  | **t** | : | *6.40* | mm |
| **(b/t)lim**: Relação limite entre largura e espessura. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image18.wmf | |  | | | | |
|  | **(b/t)lim** | : | *67.19* |  |
|  | | | | |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **sel**: Tensão de flambagem local. |  | **sel** | : | *60.93* | MPa |
| |  | | --- | | image19.wmf | |  |  |  |  |  |
| **C1**: Factor para cálculo de flambagem local (Tabela 5). |  | **C1** | : | *0.18* |  |
| **C2**: Factor para cálculo de flambagem local (Tabela 5). |  | **C2** | : | *1.31* |  |
| Mesa: Elemento do Grupo 4 da Tabela 4. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image20.wmf | |  | **7.95** | £ | **25.25** |  |
|  |  |  |  |  |
| **bef**: Largura efetiva do elemento. |  | **bef** | : | *70.00* | mm |
| |  | | --- | | image21.wmf | |  |  |  |  |  |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **(b/t)**: Relação entre largura e espessura. |  | **(b/t)** | : | *7.95* |  |
| **b**: Largura. |  | **b** | : | *70.00* | mm |
| **t**: Espessura. |  | **t** | : | *8.80* | mm |
| **(b/t)lim**: Relação limite entre largura e espessura. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image22.wmf | |  | | | | |
|  | **(b/t)lim** | : | *25.25* |  |
|  | | | | |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
|  | | | | | |
| **Força axial de flambagem elástica:** (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.3.5) | | | | | |
| A força axial de flambagem elástica, Ne, de uma barra com seção transversal duplamente simétrica ou simétrica em relação a um ponto, é dada pelo menor valor entre os obtidos por (a), (b) e (c): |  | **Ne** | : | *564.07* | kN |
| |  |  | | --- | --- | | (a) | Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia X da seção transversal: | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image23.wmf | |  | | | | |
|  | **Nex** | : | *630.52* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Lx**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X. |  | **Lx** | : | *20.000* | m |
| **Ix**: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo X. |  | **Ix** | : | *12777.00* | cm4 |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| |  |  | | --- | --- | | (b) | Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia Y da seção transversal: | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image24.wmf | |  | | | | |
|  | **Ney** | : | *564.07* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Ly**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. |  | **Ly** | : | *3.760* | m |
| **Iy**: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y. |  | **Iy** | : | *404.00* | cm4 |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| |  |  | | --- | --- | | (c) | Para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal Z: | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image25.wmf | |  | | | | |
|  | **Nez** | : | *1159.71* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Lz**: Comprimento de flambagem por torção. |  | **Lz** | : | *3.760* | m |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **Cw**: Constante de empenamento da seção transversal. |  | **Cw** | : | *153190.00* | cm6 |
| **G**: Módulo de elasticidade transversal do aço. |  | **G** | : | *77000* | MPa |
| **J**: Constante de torção da seção transversal. |  | **J** | : | *11.69* | cm4 |
| **r0**: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image26.wmf | |  | | | | |
|  | **r0** | : | *16.19* | cm |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **rx,ry**: Raios de giração em relação aos eixos principales X, Y, respectivamente. |  | **rx** | : | *15.94* | cm |
|  | **ry** | : | *2.83* | cm |
| **X0,Y0**: Coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos principales X, Y, respectivamente. |  | **X0** | : | *0.00* | mm |
|  | **Y0** | : | *0.00* | mm |
|  | | | | | |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image27.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.756*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.566 m do nó N1249, para a combinação de ações 1.35·PP+1.35·CP+1.5·SC-COB+1.5·PFV+0.84·V270(Cpi-0,70) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **MSd-**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **MSd-** | : | *125.20* | kN·m |
|  | | | | | |
| Já que 'l £ lr', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2024, Anexo D). |  | **59.59** | £ | **137.24** |  |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image28.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *59.59* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **h**: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas. |  | **h** | : | *381.40* | mm |
|  | | | | |
| **tw**: Espessura da alma. |  | **tw** | : | *6.40* | mm |
| |  | | --- | | image29.wmf | |  | | | | |
|  | **lr** | : | *137.24* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
|  | | | | | |
| O momento fletor resistente de cálculo MRd de vigas de alma não-esbelta deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções: |  | **MRd** | : | *165.70* | kN·m |
| |  |  | | --- | --- | | (a) | Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.4.2.2): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image30.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *301.30* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Wx**: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. |  | **Wx** | : | *640.45* | cm³ |
|  | | | | |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (b) | Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT (ABNT NBR 8800:2024, Anexo D): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image31.wmf | |  | **132.67** | > | **42.38** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image32.wmf | |  | **132.67** | £ | **167.33** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image33.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *165.70* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image34.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *132.67* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Lb,inf**: Distância entre pontos travados à flambagem lateral. |  | **Lb,inf** | : | *3.760* | m |
| **ry**: Raio de giração da seção em relação ao eixo principal de inércia perpendicular ao eixo de flexão. |  | **ry** | : | *2.83* | cm |
| |  | | --- | | image35.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *42.38* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| |  | | --- | | image36.wmf | |  | | | | |
|  | **lr** | : | *167.33* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Iy**: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y. |  | **Iy** | : | *404.00* | cm4 |
| **J**: Constante de torção da seção transversal. |  | **J** | : | *11.69* | cm4 |
| **Cw**: Constante de empenamento da seção transversal. |  | **Cw** | : | *153190.00* | cm6 |
| |  | | --- | | image37.wmf | |  | | | | |
|  | **b1** | : | *0.066* | cm-1 |
|  | | | | |
| |  | | --- | | image38.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *254.20* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zx**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zx** | : | *736.80* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| |  | | --- | | image39.wmf | |  | | | | |
|  | **Mr** | : | *154.67* | kN·m |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Wx**: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. |  | **Wx** | : | *640.45* | cm³ |
|  | | | | |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| |  | | --- | | image40.wmf | |  | | | | |
|  | **sr** | : | *103.50* | MPa |
|  | | | | |
| **Cb**: Fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme. |  | **Cb** | : | *1.73* |  |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (c) | Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2024, Anexo D): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image41.wmf | |  | **7.95** | £ | **9.15** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image42.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *231.09* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image43.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *7.95* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **bf**: Largura da mesa comprimida. |  | **bf** | : | *140.00* | mm |
| **tf**: Espessura da mesa comprimida. |  | **tf** | : | *8.80* | mm |
| |  | | --- | | image44.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *9.15* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| |  | | --- | | image38.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *254.20* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zx**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zx** | : | *736.80* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (d) | Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA (ABNT NBR 8800:2024, Anexo D): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image41.wmf | |  | **59.59** | £ | **90.53** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image42.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *231.09* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image28.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *59.59* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **h**: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas. |  | **h** | : | *381.40* | mm |
|  | | | | |
| **tw**: Espessura da alma. |  | **tw** | : | *6.40* | mm |
| |  | | --- | | image45.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *90.53* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| |  | | --- | | image38.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *254.20* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zx**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zx** | : | *736.80* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

|  |
| --- |
| **Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.4.2) |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image27.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.003*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1179, para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP+0.75·PFV+1.4·V180(Cpi +0,80) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **MSd+**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **MSd+** | : | *0.08* | kN·m |
|  | | | | | |
| O momento fletor resistente de cálculo MRd deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções: |  | **MRd** | : | *27.15* | kN·m |
| |  |  | | --- | --- | | (a) | Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.4.2.2): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image30.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *27.15* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Wy**: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. |  | **Wy** | : | *57.71* | cm³ |
|  | | | | |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (b) | Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2024, Anexo D): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image41.wmf | |  | **7.95** | £ | **9.15** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image42.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *28.51* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image43.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *7.95* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **bf**: Largura da mesa comprimida. |  | **bf** | : | *140.00* | mm |
| **tf**: Espessura da mesa comprimida. |  | **tf** | : | *8.80* | mm |
| |  | | --- | | image44.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *9.15* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| |  | | --- | | image38.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *31.36* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zy**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zy** | : | *90.90* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image46.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | < | ***0.001*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.564 m do nó N1249, para a combinação de ações 1.35·PP+1.35·CP+1.2·SC-COB+1.2·PFV+1.4·V180(Cpi+0,80) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **VSd**: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **VSd** | : | *0.03* | kN |
| A força cortante resistente de cálculo, VRd, é determinada pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image47.wmf | |  | **7.95** | £ | **29.01** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image48.wmf | |  | | | | |
|  | **VRd** | : | *463.68* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image49.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *7.95* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **bf**: Largura das mesas. |  | **bf** | : | *140.00* | mm |
| **tf**: Espessura das mesas. |  | **tf** | : | *8.80* | mm |
| |  | | --- | | image50.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *29.01* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **kv**: Coeficiente de flambagem. |  | **kv** | : | *1.20* |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| |  | | --- | | image51.wmf | |  | | | | |
|  | **Vpl** | : | *510.05* | kN |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Aw**: Área efetiva ao cisalhamento. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image52.wmf | |  | | | | |
|  | **Aw** | : | *24.64* | cm² |
|  | | | | |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image46.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.101*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1249, para a combinação de ações 1.35·PP+1.35·CP+1.5·SC-COB+1.5·PFV+0.84·V270(Cpi-0,70) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **VSd**: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **VSd** | : | *33.12* | kN |
| A força cortante resistente de cálculo, VRd, é determinada pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image53.wmf | |  | **111.83** | > | **76.22** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image54.wmf | |  | | | | |
|  | **VRd** | : | *328.02* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image55.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *111.83* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **h**: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas. |  | **h** | : | *715.69* | mm |
|  | | | | |
| **tw**: Espessura da alma. |  | **tw** | : | *6.40* | mm |
| |  | | --- | | image50.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *61.20* |  |
|  | | | | |
| |  | | --- | | image56.wmf | |  | | | | |
|  | **lr** | : | *76.22* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **kv**: Coeficiente de flambagem. |  | **kv** | : | *5.34* |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| |  | | --- | | image51.wmf | |  | | | | |
|  | **Vpl** | : | *971.46* | kN |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Aw**: Área efetiva ao cisalhamento. |  | **Aw** | : | *46.93* | cm² |
| **d**: Altura total da seção transversal. |  | **d** | : | *733.29* | mm |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

|  |
| --- |
| **Resistência ao esforço axial e flexão combinados** (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.5.1.2) |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image57.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.815*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.566 m do nó N1249, para a combinação de ações 1.35·PP+1.35·CP+1.5·SC-COB+1.5·PFV+0.84·V270(Cpi-0,70) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nc,Sd**: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Nc,Sd** | : | *51.75* | kN |
| **Mx,Sd**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Mx,Sd-** | : | *125.20* | kN·m |
| **My,Sd**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **My,Sd-** | : | *0.04* | kN·m |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image58.wmf | |  | **0.115** | < | **0.200** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image59.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | *0.815* |  |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Nc,Rd**: Força axial resistente de cálculo de compressão (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.3). |  | **Nc,Rd** | : | *449.72* | kN |
| **Mx,Rd,My,Rd**: Momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos X e Y da seção transversal (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.4.2). |  | **Mx,Rd** | : | *165.70* | kN·m |
|  | **My,Rd** | : | *27.15* | kN·m |

|  |
| --- |
| **Resistência à torção** (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.5.2.1) |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Já que a norma não proporciona uma verificação geral para seções não tubulares submetidas exclusivamente à torção, considera-se que este elemento também deve cumprir o seguinte critério: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image60.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.004*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.564 m do nó N1249, para a combinação de ações PP+CP+1.4·V180(Cpi+0,80) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **TSd**: Momento de torção solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **TSd** | : | *0.01* | kN·m |
| O momento de torção resistente de cálculo, TRd, é determinado pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image61.wmf | |  | | | | |
|  | **TRd** | : | *2.50* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **WT**: Módulo de resistência à torção. |  | **WT** | : | *13.28* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

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

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

|  |
| --- |
| **Resistência a interações de esforços e momento de torção** (ABNT NBR 8800:2024, 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.

**Colunas Laterais**

Barra N268/N269

| **Perfil: W 410 x 46.1**  **Material: Aço (A-572 345MPa)** | |
| --- | --- |
| image5.bmp | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | | Nós | | Comprimento  (m) | Características mecânicas | | | | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | Inicial | Final | Área  (cm²) | Ix(1)  (cm4) | Iy(1)  (cm4) | It(2)  (cm4) | | N268 | N269 | 1.425 | 59.20 | 15690.00 | 514.00 | 20.06 | | *Notas:*  *(1) Inércia em relação ao eixo indicado*  *(2) Momento de inércia à torção uniforme* | | | | | | | | | |  | Flambagem | | Flambagem lateral | | | --- | --- | --- | --- | --- | | Plano ZX | Plano ZY | Aba sup. | Aba inf. | | b | 2.11 | 4.21 | 2.11 | 2.11 | | LK | 3.000 | 6.000 | 3.000 | 3.000 | | Cb | - | | 1.000 | | | *Notação:*  *b: Coeficiente de flambagem*  *LK: Comprimento de flambagem (m)*  *Cb: Fator de modificação para o momento crítico* | | | | | | |

| Barra | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2024) | | | | | | | | | | | Estado |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| l | Nt | Nc | Mx | My | Vx | Vy | NMxMy | T | NMVT | s t f |
| N268/N269 | l £ 200.0  Passa | x: 0.886 m  h = 3.0 | x: 0 m  h = 7.2 | x: 0.887 m  h = 68.6 | x: 0 m  h = 1.8 | h = 0.1 | h = 8.6 | x: 0.887 m  h = 72.2 | h < 0.1 | N.A.(1) | N.A.(2) | **PASSA**  **h = 72.2** |
| *Notação:*  *l: Limitação do índice de esbeltez*  *Nt: Resistência à tração*  *Nc: Resistência à compressão*  *Mx: Resistência à flexão eixo X*  *My: Resistência à flexão eixo Y*  *Vx: Resistência ao esforço cortante X*  *Vy: Resistência ao esforço cortante Y*  *NMxMy: Resistência ao esforço axial e flexão combinados*  *T: Resistência à torção*  *NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante*  *s t f: Resistência a interações de esforços e momento de torção*  *x: Distância à origem da barra*  *h: Coeficiente de aproveitamento (%)*  *N.A.: Não aplicável* | | | | | | | | | | | | |
| *Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.):*  *(1) Este caso não está contemplado pela norma e, portanto, não é possível realizar a verificação.*  *(2) Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.* | | | | | | | | | | | | |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| O índice de esbeltez das barras comprimidas, tomado como o maior relação entre o comprimento de flambagem e o raio de giração, não deve ser superior a 200. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image6.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | ***101.8*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **l**: Índice de esbeltez. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image8.wmf | |  | **lx** | : | *36.9* |  |
|  | **ly** | : | *101.8* |  |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Lx**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X. |  | **Lx** | : | *6.000* | m |
| **Ly**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. |  | **Ly** | : | *3.000* | m |
| **rx,ry**: Raios de giração em relação aos eixos principales X, Y, respectivamente. |  | **rx** | : | *16.28* | cm |
|  | **ry** | : | *2.95* | cm |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image9.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.030*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.886 m do nó N268, para a combinação de ações PP+CP+1.4·V90(Cpi+0,80) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nt,Sd**: Força axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Nt,Sd** | : | *55.59* | kN |
|  | | | | | |
| A força axial de tração resistente de cálculo, Nt,Rd, deve ser determinada pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image10.wmf | |  | | | | |
|  | **Nt,Rd** | : | *1856.73* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Ag**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **Ag** | : | *59.20* | cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image11.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.072*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N268, para a combinação de ações 1.35·PP+1.35·CP+1.5·SC-COB+1.5·PFV+0.84·V270(Cpi-0,70) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nc,Sd**: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Nc,Sd** | : | *61.75* | kN |
|  | | | | | |
| A força axial de compressão resistente de cálculo, Nc,Rd, deve ser determinada pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image12.wmf | |  | | | | |
|  | **Nc,Rd** | : | *860.33* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **c**: Fator de redução total associado à resistência à compressão. |  | **c** | : | *0.468* |  |
| **Aef**: Área efetiva da seção transversal da barra. |  | **Aef** | : | *58.56* | cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
|  | | | | | |
| **Fator de redução c:** (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.3.3) | | | | | |
| |  | | --- | | image13.wmf | |  | | | | |
|  | **c** | : | *0.468* |  |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **l0**: Índice de esbeltez reduzido. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image14.wmf | |  | | | | |
|  | **l0** | : | *1.346* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Ag**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **Ag** | : | *59.20* | cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **Ne**: Força axial de flambagem elástica. |  | **Ne** | : | *1127.33* | kN |
|  | | | | | |
| **Área efetiva da seção transversal. (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.3.4)** |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image15.wmf | |  | | | | |
|  | **Aef** | : | *58.56* | cm² |
|  | | | | |
| Alma: Elemento do Grupo 2 da Tabela 4. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image16.wmf | |  | **54.37** | > | **52.41** |  |
|  |  |  |  |  |
| **bef**: Largura efetiva do elemento. |  | **bef** | : | *371.39* | mm |
| |  | | --- | | image17.wmf | |  |  |  |  |  |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **(b/t)**: Relação entre largura e espessura. |  | **(b/t)** | : | *54.37* |  |
| **b**: Largura. |  | **b** | : | *380.60* | mm |
| **t**: Espessura. |  | **t** | : | *7.00* | mm |
| **(b/t)lim**: Relação limite entre largura e espessura. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image18.wmf | |  | | | | |
|  | **(b/t)lim** | : | *52.41* |  |
|  | | | | |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **sel**: Tensão de flambagem local. |  | **sel** | : | *257.75* | MPa |
| |  | | --- | | image19.wmf | |  |  |  |  |  |
| **C1**: Factor para cálculo de flambagem local (Tabela 5). |  | **C1** | : | *0.18* |  |
| **C2**: Factor para cálculo de flambagem local (Tabela 5). |  | **C2** | : | *1.31* |  |
| Mesa: Elemento do Grupo 4 da Tabela 4. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image20.wmf | |  | **6.25** | £ | **19.70** |  |
|  |  |  |  |  |
| **bef**: Largura efetiva do elemento. |  | **bef** | : | *70.00* | mm |
| |  | | --- | | image21.wmf | |  |  |  |  |  |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **(b/t)**: Relação entre largura e espessura. |  | **(b/t)** | : | *6.25* |  |
| **b**: Largura. |  | **b** | : | *70.00* | mm |
| **t**: Espessura. |  | **t** | : | *11.20* | mm |
| **(b/t)lim**: Relação limite entre largura e espessura. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image22.wmf | |  | | | | |
|  | **(b/t)lim** | : | *19.70* |  |
|  | | | | |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
|  | | | | | |
| **Força axial de flambagem elástica:** (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.3.5) | | | | | |
| A força axial de flambagem elástica, Ne, de uma barra com seção transversal duplamente simétrica ou simétrica em relação a um ponto, é dada pelo menor valor entre os obtidos por (a), (b) e (c): |  | **Ne** | : | *1127.33* | kN |
| |  |  | | --- | --- | | (a) | Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia X da seção transversal: | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image23.wmf | |  | | | | |
|  | **Nex** | : | *8603.01* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Lx**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X. |  | **Lx** | : | *6.000* | m |
| **Ix**: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo X. |  | **Ix** | : | *15690.00* | cm4 |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| |  |  | | --- | --- | | (b) | Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia Y da seção transversal: | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image24.wmf | |  | | | | |
|  | **Ney** | : | *1127.33* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Ly**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. |  | **Ly** | : | *3.000* | m |
| **Iy**: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y. |  | **Iy** | : | *514.00* | cm4 |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| |  |  | | --- | --- | | (c) | Para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal Z: | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image25.wmf | |  | | | | |
|  | **Nez** | : | *2139.41* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Lz**: Comprimento de flambagem por torção. |  | **Lz** | : | *3.000* | m |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **Cw**: Constante de empenamento da seção transversal. |  | **Cw** | : | *196571.00* | cm6 |
| **G**: Módulo de elasticidade transversal do aço. |  | **G** | : | *77000* | MPa |
| **J**: Constante de torção da seção transversal. |  | **J** | : | *20.06* | cm4 |
| **r0**: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image26.wmf | |  | | | | |
|  | **r0** | : | *16.54* | cm |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **rx,ry**: Raios de giração em relação aos eixos principales X, Y, respectivamente. |  | **rx** | : | *16.28* | cm |
|  | **ry** | : | *2.95* | cm |
| **X0,Y0**: Coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos principales X, Y, respectivamente. |  | **X0** | : | *0.00* | mm |
|  | **Y0** | : | *0.00* | mm |
|  | | | | | |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image27.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.686*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.887 m do nó N268, para a combinação de ações 1.35·PP+1.35·CP+1.5·SC-COB+1.5·PFV+0.84·V270(Cpi-0,70) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **MSd-**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **MSd-** | : | *136.44* | kN·m |
|  | | | | | |
| Já que 'l £ lr', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2024, Anexo D). |  | **54.37** | £ | **137.24** |  |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image28.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *54.37* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **h**: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas. |  | **h** | : | *380.60* | mm |
|  | | | | |
| **tw**: Espessura da alma. |  | **tw** | : | *7.00* | mm |
| |  | | --- | | image29.wmf | |  | | | | |
|  | **lr** | : | *137.24* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
|  | | | | | |
| O momento fletor resistente de cálculo MRd de vigas de alma não-esbelta deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções: |  | **MRd** | : | *198.98* | kN·m |
| |  |  | | --- | --- | | (a) | Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.4.2.2): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image30.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *366.32* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Wx**: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. |  | **Wx** | : | *778.66* | cm³ |
|  | | | | |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (b) | Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT (ABNT NBR 8800:2024, Anexo D): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image31.wmf | |  | **101.81** | > | **42.38** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image32.wmf | |  | **101.81** | £ | **122.51** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image33.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *198.98* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image34.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *101.81* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Lb,inf**: Distância entre pontos travados à flambagem lateral. |  | **Lb,inf** | : | *3.000* | m |
| **ry**: Raio de giração da seção em relação ao eixo principal de inércia perpendicular ao eixo de flexão. |  | **ry** | : | *2.95* | cm |
| |  | | --- | | image35.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *42.38* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| |  | | --- | | image36.wmf | |  | | | | |
|  | **lr** | : | *122.51* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Iy**: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y. |  | **Iy** | : | *514.00* | cm4 |
| **J**: Constante de torção da seção transversal. |  | **J** | : | *20.06* | cm4 |
| **Cw**: Constante de empenamento da seção transversal. |  | **Cw** | : | *196571.00* | cm6 |
| |  | | --- | | image37.wmf | |  | | | | |
|  | **b1** | : | *0.047* | cm-1 |
|  | | | | |
| |  | | --- | | image38.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *307.43* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zx**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zx** | : | *891.10* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| |  | | --- | | image39.wmf | |  | | | | |
|  | **Mr** | : | *188.05* | kN·m |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Wx**: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. |  | **Wx** | : | *778.66* | cm³ |
|  | | | | |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| |  | | --- | | image40.wmf | |  | | | | |
|  | **sr** | : | *103.50* | MPa |
|  | | | | |
| **Cb**: Fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme. |  | **Cb** | : | *1.00* |  |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (c) | Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2024, Anexo D): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image41.wmf | |  | **6.25** | £ | **9.15** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image42.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *279.48* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image43.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *6.25* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **bf**: Largura da mesa comprimida. |  | **bf** | : | *140.00* | mm |
| **tf**: Espessura da mesa comprimida. |  | **tf** | : | *11.20* | mm |
| |  | | --- | | image44.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *9.15* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| |  | | --- | | image38.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *307.43* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zx**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zx** | : | *891.10* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (d) | Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA (ABNT NBR 8800:2024, Anexo D): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image41.wmf | |  | **54.37** | £ | **90.53** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image42.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *279.48* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image28.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *54.37* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **h**: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas. |  | **h** | : | *380.60* | mm |
|  | | | | |
| **tw**: Espessura da alma. |  | **tw** | : | *7.00* | mm |
| |  | | --- | | image45.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *90.53* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| |  | | --- | | image38.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *307.43* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zx**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zx** | : | *891.10* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

|  |
| --- |
| **Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.4.2) |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image27.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.018*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N268, para a combinação de ações 1.35·PP+1.35·CP+1.2·SC-COB+1.2·PFV+1.4·V180(Cpi+0,80) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **MSd+**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **MSd+** | : | *0.64* | kN·m |
|  | | | | | |
| O momento fletor resistente de cálculo MRd deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções: |  | **MRd** | : | *34.54* | kN·m |
| |  |  | | --- | --- | | (a) | Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.4.2.2): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image30.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *34.54* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Wy**: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. |  | **Wy** | : | *73.43* | cm³ |
|  | | | | |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (b) | Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2024, Anexo D): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image41.wmf | |  | **6.25** | £ | **9.15** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image42.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *36.13* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image43.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *6.25* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **bf**: Largura da mesa comprimida. |  | **bf** | : | *140.00* | mm |
| **tf**: Espessura da mesa comprimida. |  | **tf** | : | *11.20* | mm |
| |  | | --- | | image44.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *9.15* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| |  | | --- | | image38.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *39.74* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zy**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zy** | : | *115.20* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image46.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.001*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.5·PP+1.5·CP+0.75·SC-COB+0.75·PFV+1.4·V180(Cpi +0,80) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **VSd**: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **VSd** | : | *0.36* | kN |
| A força cortante resistente de cálculo, VRd, é determinada pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image47.wmf | |  | **6.25** | £ | **29.01** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image48.wmf | |  | | | | |
|  | **VRd** | : | *590.14* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image49.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *6.25* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **bf**: Largura das mesas. |  | **bf** | : | *140.00* | mm |
| **tf**: Espessura das mesas. |  | **tf** | : | *11.20* | mm |
| |  | | --- | | image50.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *29.01* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **kv**: Coeficiente de flambagem. |  | **kv** | : | *1.20* |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| |  | | --- | | image51.wmf | |  | | | | |
|  | **Vpl** | : | *649.15* | kN |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Aw**: Área efetiva ao cisalhamento. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image52.wmf | |  | | | | |
|  | **Aw** | : | *31.36* | cm² |
|  | | | | |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image46.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.086*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.35·PP+1.35·CP+1.5·SC-COB+1.5·PFV+0.84·V270(Cpi-0,70) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **VSd**: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **VSd** | : | *45.84* | kN |
| A força cortante resistente de cálculo, VRd, é determinada pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image47.wmf | |  | **54.37** | £ | **61.20** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image48.wmf | |  | | | | |
|  | **VRd** | : | *530.86* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image53.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *54.37* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **h**: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas. |  | **h** | : | *380.60* | mm |
|  | | | | |
| **tw**: Espessura da alma. |  | **tw** | : | *7.00* | mm |
| |  | | --- | | image50.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *61.20* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **kv**: Coeficiente de flambagem. |  | **kv** | : | *5.34* |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| |  | | --- | | image51.wmf | |  | | | | |
|  | **Vpl** | : | *583.95* | kN |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Aw**: Área efetiva ao cisalhamento. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image54.wmf | |  | | | | |
|  | **Aw** | : | *28.21* | cm² |
|  | | | | |
| **d**: Altura total da seção transversal. |  | **d** | : | *403.00* | mm |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

|  |
| --- |
| **Resistência ao esforço axial e flexão combinados** (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.5.1.2) |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image55.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.722*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se num ponto situado a uma distância de 0.887 m do nó N268, para a combinação de ações 1.35·PP+1.35·CP+1.5·SC-COB+1.5·PFV+0.84·V270(Cpi-0,70) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nc,Sd**: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Nc,Sd** | : | *61.20* | kN |
| **Mx,Sd**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Mx,Sd-** | : | *136.44* | kN·m |
| **My,Sd**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **My,Sd-** | : | *0.02* | kN·m |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image56.wmf | |  | **0.071** | < | **0.200** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image57.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | *0.722* |  |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Nc,Rd**: Força axial resistente de cálculo de compressão (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.3). |  | **Nc,Rd** | : | *860.33* | kN |
| **Mx,Rd,My,Rd**: Momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos X e Y da seção transversal (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.4.2). |  | **Mx,Rd** | : | *198.98* | kN·m |
|  | **My,Rd** | : | *34.54* | kN·m |

|  |
| --- |
| **Resistência à torção** (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.5.2.1) |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Já que a norma não proporciona uma verificação geral para seções não tubulares submetidas exclusivamente à torção, considera-se que este elemento também deve cumprir o seguinte critério: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image58.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | < | ***0.001*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações PP+CP+1.4·V180(Cpi+0,80) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **TSd**: Momento de torção solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **TSd** | : | *0.00* | kN·m |
| O momento de torção resistente de cálculo, TRd, é determinado pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image59.wmf | |  | | | | |
|  | **TRd** | : | *3.37* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **WT**: Módulo de resistência à torção. |  | **WT** | : | *17.91* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

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

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

|  |
| --- |
| **Resistência a interações de esforços e momento de torção** (ABNT NBR 8800:2024, 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.

## **Colunas de Oitão**

Barra N24/N412

| **Perfil: W 310 x 23.8**  **Material: Aço (A-572 345MPa)** | |
| --- | --- |
| image5.bmp | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | | Nós | | Comprimento  (m) | Características mecânicas | | | | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | Inicial | Final | Área  (cm²) | Ix(1)  (cm4) | Iy(1)  (cm4) | It(2)  (cm4) | | N24 | N412 | 3.000 | 30.70 | 4346.00 | 116.00 | 4.65 | | *Notas:*  *(1) Inércia em relação ao eixo indicado*  *(2) Momento de inércia à torção uniforme* | | | | | | | | | |  | Flambagem | | Flambagem lateral | | | --- | --- | --- | --- | --- | | Plano ZX | Plano ZY | Aba sup. | Aba inf. | | b | 1.00 | 2.25 | 1.00 | 1.00 | | LK | 3.000 | 6.750 | 3.000 | 3.000 | | Cb | - | | 1.000 | | | *Notação:*  *b: Coeficiente de flambagem*  *LK: Comprimento de flambagem (m)*  *Cb: Fator de modificação para o momento crítico* | | | | | | |

| Barra | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2024) | | | | | | | | | | | Estado |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| l | Nt | Nc | Mx | My | Vx | Vy | NMxMy | T | NMVT | s t f |
| N24/N412 | l £ 200.0  Passa | x: 3 m  h = 1.0 | x: 0 m  h = 10.3 | x: 0 m  h = 70.8 | x: 0 m  h = 0.6 | h < 0.1 | x: 0 m  h = 7.2 | x: 0 m  h = 71.7 | h < 0.1 | N.A.(1) | N.A.(2) | **PASSA**  **h = 71.7** |
| *Notação:*  *l: Limitação do índice de esbeltez*  *Nt: Resistência à tração*  *Nc: Resistência à compressão*  *Mx: Resistência à flexão eixo X*  *My: Resistência à flexão eixo Y*  *Vx: Resistência ao esforço cortante X*  *Vy: Resistência ao esforço cortante Y*  *NMxMy: Resistência ao esforço axial e flexão combinados*  *T: Resistência à torção*  *NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante*  *s t f: Resistência a interações de esforços e momento de torção*  *x: Distância à origem da barra*  *h: Coeficiente de aproveitamento (%)*  *N.A.: Não aplicável* | | | | | | | | | | | | |
| *Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.):*  *(1) Este caso não está contemplado pela norma e, portanto, não é possível realizar a verificação.*  *(2) Não há interação entre os dois esforços cortantes nem entre o momento torsor, esforço axial, momentos fletores e esforços cortantes. Portanto, a verificação não é necessária.* | | | | | | | | | | | | |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| O índice de esbeltez das barras comprimidas, tomado como o maior relação entre o comprimento de flambagem e o raio de giração, não deve ser superior a 200. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image6.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | ***154.3*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **l**: Índice de esbeltez. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image8.wmf | |  | **lx** | : | *56.7* |  |
|  | **ly** | : | *154.3* |  |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Lx**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X. |  | **Lx** | : | *6.750* | m |
| **Ly**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. |  | **Ly** | : | *3.000* | m |
| **rx,ry**: Raios de giração em relação aos eixos principales X, Y, respectivamente. |  | **rx** | : | *11.90* | cm |
|  | **ry** | : | *1.94* | cm |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image9.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.010*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N412, para a combinação de ações PP+CP+1.4·V270(Cpi+0,80) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nt,Sd**: Força axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Nt,Sd** | : | *9.85* | kN |
|  | | | | | |
| A força axial de tração resistente de cálculo, Nt,Rd, deve ser determinada pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image10.wmf | |  | | | | |
|  | **Nt,Rd** | : | *962.86* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Ag**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **Ag** | : | *30.70* | cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image11.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.103*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N24, para a combinação de ações 1.35·PP+1.35·CP+1.5·SC-COB+1.5·PFV+0.84·V90(Cpi-0,70) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nc,Sd**: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Nc,Sd** | : | *20.87* | kN |
|  | | | | | |
| A força axial de compressão resistente de cálculo, Nc,Rd, deve ser determinada pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image12.wmf | |  | | | | |
|  | **Nc,Rd** | : | *202.84* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **c**: Fator de redução total associado à resistência à compressão. |  | **c** | : | *0.211* |  |
| **Aef**: Área efetiva da seção transversal da barra. |  | **Aef** | : | *30.70* | cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
|  | | | | | |
| **Fator de redução c:** (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.3.3) | | | | | |
| |  | | --- | | image13.wmf | |  | | | | |
|  | **c** | : | *0.211* |  |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **l0**: Índice de esbeltez reduzido. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image14.wmf | |  | | | | |
|  | **l0** | : | *2.040* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Ag**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **Ag** | : | *30.70* | cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **Ne**: Força axial de flambagem elástica. |  | **Ne** | : | *254.42* | kN |
|  | | | | | |
| **Área efetiva da seção transversal. (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.3.4)** |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image15.wmf | |  | | | | |
|  | **Aef** | : | *30.70* | cm² |
|  | | | | |
| Alma: Elemento do Grupo 2 da Tabela 4. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image16.wmf | |  | **52.07** | £ | **78.16** |  |
|  |  |  |  |  |
| **bef**: Largura efetiva do elemento. |  | **bef** | : | *291.60* | mm |
| |  | | --- | | image17.wmf | |  |  |  |  |  |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **(b/t)**: Relação entre largura e espessura. |  | **(b/t)** | : | *52.07* |  |
| **b**: Largura. |  | **b** | : | *291.60* | mm |
| **t**: Espessura. |  | **t** | : | *5.60* | mm |
| **(b/t)lim**: Relação limite entre largura e espessura. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image18.wmf | |  | | | | |
|  | **(b/t)lim** | : | *78.16* |  |
|  | | | | |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| Mesa: Elemento do Grupo 4 da Tabela 4. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image16.wmf | |  | **7.54** | £ | **29.38** |  |
|  |  |  |  |  |
| **bef**: Largura efetiva do elemento. |  | **bef** | : | *50.50* | mm |
| |  | | --- | | image17.wmf | |  |  |  |  |  |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **(b/t)**: Relação entre largura e espessura. |  | **(b/t)** | : | *7.54* |  |
| **b**: Largura. |  | **b** | : | *50.50* | mm |
| **t**: Espessura. |  | **t** | : | *6.70* | mm |
| **(b/t)lim**: Relação limite entre largura e espessura. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image19.wmf | |  | | | | |
|  | **(b/t)lim** | : | *29.38* |  |
|  | | | | |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
|  | | | | | |
| **Força axial de flambagem elástica:** (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.3.5) | | | | | |
| A força axial de flambagem elástica, Ne, de uma barra com seção transversal duplamente simétrica ou simétrica em relação a um ponto, é dada pelo menor valor entre os obtidos por (a), (b) e (c): |  | **Ne** | : | *254.42* | kN |
| |  |  | | --- | --- | | (a) | Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia X da seção transversal: | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image20.wmf | |  | | | | |
|  | **Nex** | : | *1882.83* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Lx**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X. |  | **Lx** | : | *6.750* | m |
| **Ix**: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo X. |  | **Ix** | : | *4346.00* | cm4 |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| |  |  | | --- | --- | | (b) | Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia Y da seção transversal: | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image21.wmf | |  | | | | |
|  | **Ney** | : | *254.42* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Ly**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. |  | **Ly** | : | *3.000* | m |
| **Iy**: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y. |  | **Iy** | : | *116.00* | cm4 |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| |  |  | | --- | --- | | (c) | Para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal Z: | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image22.wmf | |  | | | | |
|  | **Nez** | : | *632.57* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Lz**: Comprimento de flambagem por torção. |  | **Lz** | : | *3.000* | m |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **Cw**: Constante de empenamento da seção transversal. |  | **Cw** | : | *25594.00* | cm6 |
| **G**: Módulo de elasticidade transversal do aço. |  | **G** | : | *77000* | MPa |
| **J**: Constante de torção da seção transversal. |  | **J** | : | *4.65* | cm4 |
| **r0**: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image23.wmf | |  | | | | |
|  | **r0** | : | *12.06* | cm |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **rx,ry**: Raios de giração em relação aos eixos principales X, Y, respectivamente. |  | **rx** | : | *11.90* | cm |
|  | **ry** | : | *1.94* | cm |
| **X0,Y0**: Coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos principales X, Y, respectivamente. |  | **X0** | : | *0.00* | mm |
|  | **Y0** | : | *0.00* | mm |
|  | | | | | |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image24.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.708*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N24, para a combinação de ações PP+CP+1.4·V270(Cpi+0,80) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **MSd-**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **MSd-** | : | *31.12* | kN·m |
|  | | | | | |
| Já que 'l £ lr', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2024, Anexo D). |  | **52.07** | £ | **137.24** |  |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image25.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *52.07* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **h**: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas. |  | **h** | : | *291.60* | mm |
|  | | | | |
| **tw**: Espessura da alma. |  | **tw** | : | *5.60* | mm |
| |  | | --- | | image26.wmf | |  | | | | |
|  | **lr** | : | *137.24* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
|  | | | | | |
| O momento fletor resistente de cálculo MRd de vigas de alma não-esbelta deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções: |  | **MRd** | : | *43.97* | kN·m |
| |  |  | | --- | --- | | (a) | Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.4.2.2): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image27.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *134.07* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Wx**: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. |  | **Wx** | : | *284.98* | cm³ |
|  | | | | |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (b) | Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT (ABNT NBR 8800:2024, Anexo D): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image28.wmf | |  | **154.33** | > | **124.93** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image29.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *43.97* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image30.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *154.33* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Lb,inf**: Distância entre pontos travados à flambagem lateral. |  | **Lb,inf** | : | *3.000* | m |
| **ry**: Raio de giração da seção em relação ao eixo principal de inércia perpendicular ao eixo de flexão. |  | **ry** | : | *1.94* | cm |
| |  | | --- | | image31.wmf | |  | | | | |
|  | **lr** | : | *124.93* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Iy**: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y. |  | **Iy** | : | *116.00* | cm4 |
| **J**: Constante de torção da seção transversal. |  | **J** | : | *4.65* | cm4 |
| **Cw**: Constante de empenamento da seção transversal. |  | **Cw** | : | *25594.00* | cm6 |
| |  | | --- | | image32.wmf | |  | | | | |
|  | **b1** | : | *0.074* | cm-1 |
|  | | | | |
| |  | | --- | | image33.wmf | |  | | | | |
|  | **Mr** | : | *68.82* | kN·m |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Wx**: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. |  | **Wx** | : | *284.98* | cm³ |
|  | | | | |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| |  | | --- | | image34.wmf | |  | | | | |
|  | **sr** | : | *103.50* | MPa |
|  | | | | |
| |  | | --- | | image35.wmf | |  | | | | |
|  | **Mcr** | : | *48.36* | kN·m |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Iy**: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y. |  | **Iy** | : | *116.00* | cm4 |
| **J**: Constante de torção da seção transversal. |  | **J** | : | *4.65* | cm4 |
| **Cw**: Constante de empenamento da seção transversal. |  | **Cw** | : | *25594.00* | cm6 |
| **Lb,inf**: Distância entre pontos travados à flambagem lateral. |  | **Lb,inf** | : | *3.000* | m |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **Cb**: Fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme. |  | **Cb** | : | *1.00* |  |
| |  | | --- | | image36.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *114.95* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zx**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zx** | : | *333.20* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (c) | Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2024, Anexo D): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image37.wmf | |  | **7.54** | £ | **9.15** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image38.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *104.50* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image39.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *7.54* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **bf**: Largura da mesa comprimida. |  | **bf** | : | *101.00* | mm |
| **tf**: Espessura da mesa comprimida. |  | **tf** | : | *6.70* | mm |
| |  | | --- | | image40.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *9.15* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| |  | | --- | | image36.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *114.95* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zx**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zx** | : | *333.20* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (d) | Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA (ABNT NBR 8800:2024, Anexo D): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image37.wmf | |  | **52.07** | £ | **90.53** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image38.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *104.50* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image25.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *52.07* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **h**: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas. |  | **h** | : | *291.60* | mm |
|  | | | | |
| **tw**: Espessura da alma. |  | **tw** | : | *5.60* | mm |
| |  | | --- | | image41.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *90.53* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| |  | | --- | | image36.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *114.95* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zx**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zx** | : | *333.20* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

|  |
| --- |
| **Resistência à flexão eixo Y** (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.4.2) |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image24.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.006*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N24, para a combinação de ações 1.35·PP+1.35·CP+1.2·SC-COB+1.2·PFV+1.4·V270(Cpi-0,70) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **MSd-**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **MSd-** | : | *0.07* | kN·m |
|  | | | | | |
| O momento fletor resistente de cálculo MRd deve ser tomado como o menor valor entre os obtidos nas seguintes seções: |  | **MRd** | : | *10.81* | kN·m |
| |  |  | | --- | --- | | (a) | Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.4.2.2): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image27.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *10.81* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Wy**: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. |  | **Wy** | : | *22.97* | cm³ |
|  | | | | |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (b) | Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2024, Anexo D): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image37.wmf | |  | **7.54** | £ | **9.15** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image38.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *11.57* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image39.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *7.54* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **bf**: Largura da mesa comprimida. |  | **bf** | : | *101.00* | mm |
| **tf**: Espessura da mesa comprimida. |  | **tf** | : | *6.70* | mm |
| |  | | --- | | image40.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *9.15* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| |  | | --- | | image36.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *12.73* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zy**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zy** | : | *36.90* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image42.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | < | ***0.001*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.35·PP+1.35·CP+1.2·SC-COB+1.2·PFV+1.4·V90(Cpi+0,80) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **VSd**: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **VSd** | : | *0.03* | kN |
| A força cortante resistente de cálculo, VRd, é determinada pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image43.wmf | |  | **7.54** | £ | **29.01** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image44.wmf | |  | | | | |
|  | **VRd** | : | *254.69* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image45.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *7.54* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **bf**: Largura das mesas. |  | **bf** | : | *101.00* | mm |
| **tf**: Espessura das mesas. |  | **tf** | : | *6.70* | mm |
| |  | | --- | | image46.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *29.01* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **kv**: Coeficiente de flambagem. |  | **kv** | : | *1.20* |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| |  | | --- | | image47.wmf | |  | | | | |
|  | **Vpl** | : | *280.15* | kN |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Aw**: Área efetiva ao cisalhamento. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image48.wmf | |  | | | | |
|  | **Aw** | : | *13.53* | cm² |
|  | | | | |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image42.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.072*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N24, para a combinação de ações PP+CP+1.4·V270(Cpi+0,80) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **VSd**: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **VSd** | : | *23.03* | kN |
| A força cortante resistente de cálculo, VRd, é determinada pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image43.wmf | |  | **52.07** | £ | **61.20** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image44.wmf | |  | | | | |
|  | **VRd** | : | *321.41* | kN |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image49.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *52.07* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **h**: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas. |  | **h** | : | *291.60* | mm |
|  | | | | |
| **tw**: Espessura da alma. |  | **tw** | : | *5.60* | mm |
| |  | | --- | | image46.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *61.20* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **kv**: Coeficiente de flambagem. |  | **kv** | : | *5.34* |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *200000* | MPa |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| |  | | --- | | image47.wmf | |  | | | | |
|  | **Vpl** | : | *353.56* | kN |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Aw**: Área efetiva ao cisalhamento. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image50.wmf | |  | | | | |
|  | **Aw** | : | *17.08* | cm² |
|  | | | | |
| **d**: Altura total da seção transversal. |  | **d** | : | *305.00* | mm |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

|  |
| --- |
| **Resistência ao esforço axial e flexão combinados** (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.5.1.2) |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image51.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.717*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N24, para a combinação de ações PP+CP+1.4·V270(Cpi+0,80) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nt,Sd**: Força axial de tração solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Nt,Sd** | : | *8.35* | kN |
| **Mx,Sd**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Mx,Sd-** | : | *31.12* | kN·m |
| **My,Sd**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **My,Sd-** | : | *0.05* | kN·m |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image52.wmf | |  | **0.009** | < | **0.200** |  |
|  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image53.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | *0.717* |  |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Nt,Rd**: Força axial resistente de cálculo de tração (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.2). |  | **Nt,Rd** | : | *962.86* | kN |
|  | | | | |
| **Mx,Rd,My,Rd**: Momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos X e Y da seção transversal (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.4.2). |  | **Mx,Rd** | : | *43.97* | kN·m |
|  | **My,Rd** | : | *10.81* | kN·m |

|  |
| --- |
| **Resistência à torção** (ABNT NBR 8800:2024, Artigo 5.5.2.1) |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Já que a norma não proporciona uma verificação geral para seções não tubulares submetidas exclusivamente à torção, considera-se que este elemento também deve cumprir o seguinte critério: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image54.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | < | ***0.001*** | image7.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.35·PP+1.35·CP+1.5·SC-COB+1.5·PFV+0.84·V180(Cpi-0,40) [NL]. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **TSd**: Momento de torção solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **TSd** | : | *0.00* | kN·m |
| O momento de torção resistente de cálculo, TRd, é determinado pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image55.wmf | |  | | | | |
|  | **TRd** | : | *1.31* | kN·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **WT**: Módulo de resistência à torção. |  | **WT** | : | *6.94* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | MPa |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

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

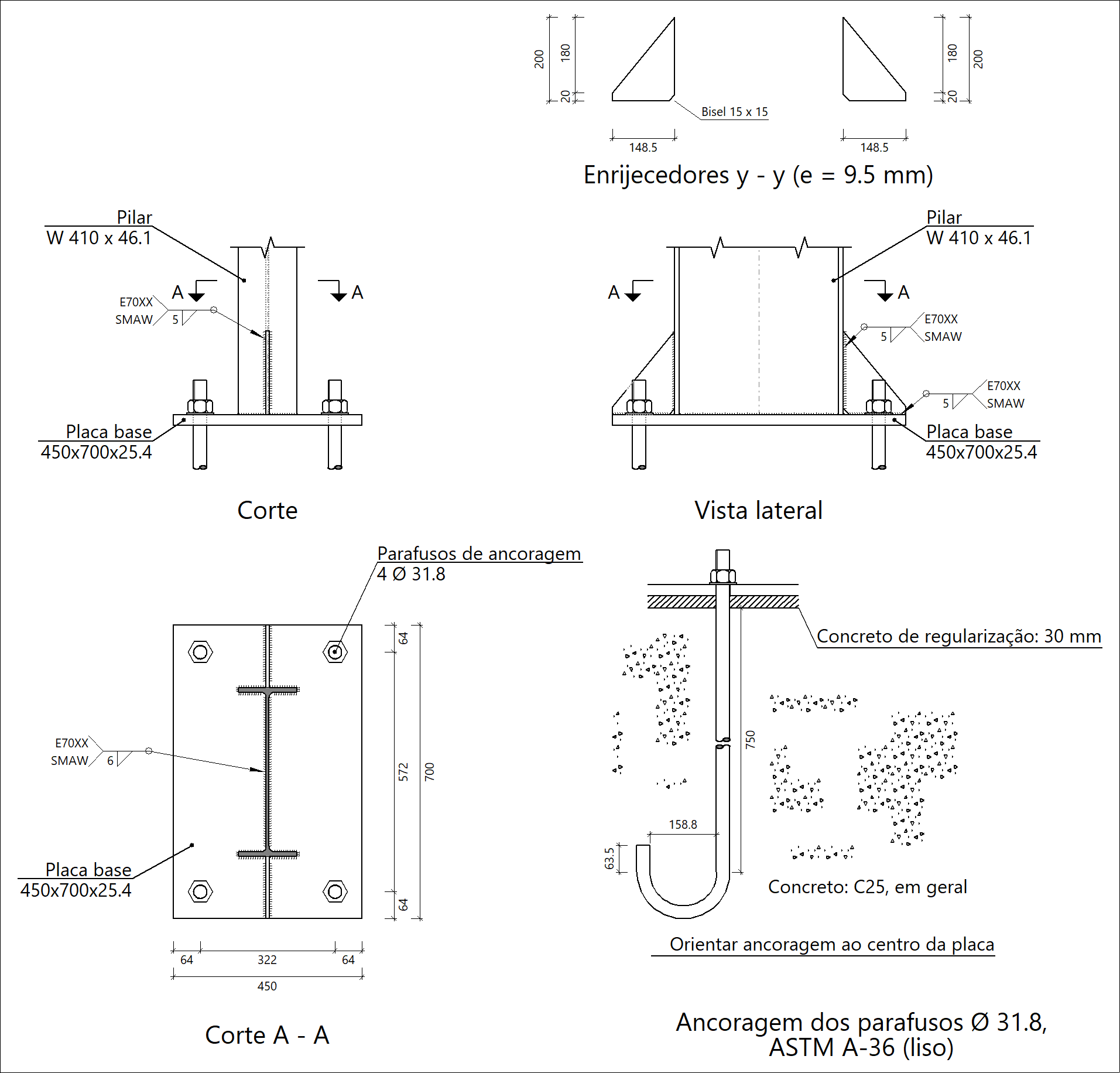
Este caso não está contemplado pela norma e, portanto, não é possível realizar a verificação.

|  |
| --- |
| **Resistência a interações de esforços e momento de torção** (ABNT NBR 8800:2024, 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.

## **Base das Colunas Laterais**

a) Detalhe



b) Descrição dos componentes da ligação

| **Elementos complementares** | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Peça | Geometria | | | | Furos | | Aço | | |
| Esquema | Largura  (mm) | Altura  (mm) | Espessura  (mm) | Quantidade | Diâmetro  (mm) | Tipo | fy  (MPa) | fu  (MPa) |
| Placa base | image6.bmp | 450 | 700 | 25.4 | 4 | 31.8 | A-36 250Mpa | 250.0 | 400.0 |
| Enrijecedor | image7.bmp | 148.5 | 200 | 9.5 | - | - | A-36 250Mpa | 250.0 | 400.0 |

c) Verificação

1) Pilar W 410 x 46.1

|  |
| --- |
| Soldas (ABNT NBR 8800:2008) |

| **Limitações (ABNT NBR 8800, 6.2.6)** | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Tipo | P.S. | t  (mm) | Comprimento | | Perna | | |
| lw,min  (mm) | lw  (mm) | dw,min  (mm) | dw,max  (mm) | dw  (mm) |
| Soldadura perimetral à placa | De ângulo | SMAW | 7 | 40 | 1213 | 5 | 7 | 6 |
| *P.S.: Procedimento de soldagen.*  *t: Menor espessura do metal-base.*  *lw: Comprimento total da solda.*  *dw: Perna da solda.* | | | | | | | | |

| **Verificação de cordões de soldadura** | | | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Perna  (mm) | t  (mm) | lw  (mm) | Eléctrode | Metal - base | Cisalhamento (Metal da solda) | | | Tensões (Metal-base) | | | Coeficientes de ponderação | | |
| fw  (N/mm²) | fy  (N/mm²) | Sd  (N/mm²) | Rd  (N/mm²) | Aprov.  (%) | Sd  (N/mm²) | Rd  (N/mm²) | Aprov.  (%) | ga1 | gw1 | gw2 |
| Soldadura perimetral à placa | 6 | 7 | 1213 | E70XX  (485.0) | 250.0 | Não precisa ser considerado. | | | | | | | | |
| *Sd: Solicitação de cálculo*  *Rd: Resistente de cálculo*  *- Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, não precisa ser considerado.* | | | | | | | | | | | | | | |

2) Placa de ancoragem

| Referência: | | |
| --- | --- | --- |
| Verificação | Valores | Estado |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Distância mínima entre chumbadores: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *3 diâmetros* | | | | |  | | --- | | Mínimo: 95 mm | | Calculado: 322 mm | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Distância mínima chumbador-perfil: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *1.5 diâmetros* | | | | |  | | --- | | Mínimo: 47 mm | | Calculado: 125 mm | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Distância mínima chumbador-borda: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *2 diâmetros* | | | | |  | | --- | | Mínimo: 63 mm | | Calculado: 64 mm | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Esbeltez dos enrijecedores: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Paralelos a Y: | | | | |  | | --- | | Máximo: 50 | | Calculado: 45.4 | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Comprimento mínimo do parafuso: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *Calcula-se o comprimento de ancoragem necessário por aderência.* | | | | |  | | --- | | Mínimo: 37 cm | | Calculado: 75 cm | | Passa |
| |  | | --- | | Ancoragem chumbador no concreto: | |  |  |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Tração: | | | |  | | --- | | Máximo: 117.27 kN | | Calculado: 97.37 kN | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Cortante: | | | |  | | --- | | Máximo: 82.09 kN | | Calculado: 10.89 kN | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Tração + Cortante: | | | |  | | --- | | Máximo: 117.27 kN | | Calculado: 112.94 kN | | Passa |
| |  | | --- | | Tração chumbadores: | | |  | | --- | | Máximo: 178.2 kN | | Calculado: 97.35 kN | | Passa |
| |  | | --- | | Tensão de Von Mises nos chumbadores: | | |  | | --- | | Máximo: 225 MPa | | Calculado: 125.494 MPa | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Esmagamento chumbador na placa: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *Limite de esforço de corte em um chumbador atuando contra a placa* | | | | |  | | --- | | Máximo: 453.63 kN | | Calculado: 11.22 kN | | Passa |
| |  | | --- | | Tensão de Von Mises em seções globais: | | |  | | --- | | Máximo: 250 MPa | |  |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Direita: | | | |  | | --- | | Calculado: 76.9986 MPa | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Esquerda: | | | |  | | --- | | Calculado: 76.7084 MPa | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Acima: | | | |  | | --- | | Calculado: 120.338 MPa | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Abaixo: | | | |  | | --- | | Calculado: 121.062 MPa | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Flecha global equivalente: | | | |  | | --- | | *Limite da deformabilidade dos balanços* | | | |  | | --- | | Mínimo: 250 | |  |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Direita: | | | |  | | --- | | Calculado: 4086.85 | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Esquerda: | | | |  | | --- | | Calculado: 4103.49 | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Acima: | | | |  | | --- | | Calculado: 9528.16 | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Abaixo: | | | |  | | --- | | Calculado: 9472.63 | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Tensão de Von Mises local: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *Tensão por tração de chumbadores sobre placas em balanço* | | | | |  | | --- | | Máximo: 250 MPa | | Calculado: 0 MPa | | Passa |
| Todas as verificações foram cumpridas | | |
| Informação adicional: | | |
| - Relação ruptura desfavorável seção de concreto: 0.0787 | | |

|  |
| --- |
| Soldas (ABNT NBR 8800:2008) |

| **Limitações (ABNT NBR 8800, 6.2.6)** | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Tipo | P.S. | t  (mm) | Comprimento | | Perna | | |
| lw,min  (mm) | lw  (mm) | dw,min  (mm) | dw,max  (mm) | dw  (mm) |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à placa base | De ângulo | SMAW | 10 | 40 | 149 | 5 | 10 | 5 |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à peça | De ângulo | SMAW | 10 | 40 | 185 | 5 | 10 | 5 |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à placa base | De ângulo | SMAW | 10 | 40 | 149 | 5 | 10 | 5 |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à peça | De ângulo | SMAW | 10 | 40 | 185 | 5 | 10 | 5 |
| *P.S.: Procedimento de soldagen.*  *t: Menor espessura do metal-base.*  *lw: Comprimento total da solda.*  *dw: Perna da solda.* | | | | | | | | |

| **Verificação de cordões de soldadura** | | | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Perna  (mm) | t  (mm) | lw  (mm) | Eléctrode | Metal - base | Cisalhamento (Metal da solda) | | | Tensões (Metal-base) | | | Coeficientes de ponderação | | |
| fw  (N/mm²) | fy  (N/mm²) | Sd  (N/mm²) | Rd  (N/mm²) | Aprov.  (%) | Sd  (N/mm²) | Rd  (N/mm²) | Aprov.  (%) | ga1 | gw1 | gw2 |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à placa base | 5 | 10 | 149 | E70XX  (485.0) | 250.0 | Não precisa ser considerado. | | | | | | | | |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à peça | 5 | 10 | 185 | E70XX  (485.0) | 250.0 | Não precisa ser considerado. | | | | | | | | |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à placa base | 5 | 10 | 149 | E70XX  (485.0) | 250.0 | Não precisa ser considerado. | | | | | | | | |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à peça | 5 | 10 | 185 | E70XX  (485.0) | 250.0 | Não precisa ser considerado. | | | | | | | | |
| *Sd: Solicitação de cálculo*  *Rd: Resistente de cálculo*  *- Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, não precisa ser considerado.* | | | | | | | | | | | | | | |

d) Quantit.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | **Soldas** | | | | | | --- | --- | --- | --- | --- | | Classe de resistência | Execução | Tipo | Lado  (mm) | Comprimento de cordões  (mm) | | E70XX | Em fábrica | De filete | 5 | 904 | | 6 | 1213 | |
| | **Elementos para aparafusar** | | | | | --- | --- | --- | --- | | Tipo | Material | Quantidade | Descrição | | Porcas | Classe 8S | 4 | 1 1/4", ASTM A563 | | Anilhas | Tipo 1 | 4 | 1 1/4", ASTM F436 | |
| | **Placas de base** | | | | | | --- | --- | --- | --- | --- | | Material | Elementos | Quantidade | Dimensões  (mm) | Peso  (kg) | | A-36 250Mpa | Placa base | 1 | 450x700x25.4 | 62.81 | | Enrijecedores não passantes | 2 | 148/0x200/20x9.5 | 2.44 | | Total | | | 65.24 | | ASTM A-36 (liso) | Parafusos de ancoragem | 4 | Ø 31.8 - L = 837 + 363 | 29.83 | | Total | | | 29.83 | |

**Verificações**

1) Pilar W 410 x 46.1

|  |
| --- |
| Soldas (ABNT NBR 8800:2008) |

**Limitações (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.6)**

**6.2.6.2** *Soldas de filete*

6.2.6.2.1 O tamanho mínimo da perna de uma solda de filete é dado na Tabela 10, em função da parte menos espessa soldada.

6.2.6.2.2 O tamanho máximo da perna de uma solda de filete que pode ser usado ao longo de bordas de partes soldadas é o seguinte:

|  |
| --- |
| a) ao longo de bordas de material com espessura inferior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material; |

|  |
| --- |
| b) ao longo de bordas de material com espessura igual ou superior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material subtraída de 1,5 mm, a não ser que nos desenhos essa solda seja indicada como reforçada durante a execução, de modo a obter a espessura total desejada da garganta. |

6.2.6.2.3 O comprimento efetivo de uma solda de filete, dimensionada para uma solicitação de cálculo qualquer, não pode ser inferior a 4 vezes seu tamanho da perna e a 40 mm.

**AWS D1.1/D1.1M, Especificações complementares.**

**2.3.3.7** *Garganta efetiva de ligações em T.*

A garganta efetiva de ligações em T em ângulos entre 60° e 30° deve ser igual à altura do maior triângulo que se possa inscrever na secção do metal de colaboração, menos o coeficiente de redução Z. A garganta efetiva de ligações em T em ângulos entre 80° e 60° e em ângulos maiores a 100° deve ser considerada igual à altura do maior triângulo que se possa inscrever na secção do metal de colaboração.

**Força resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.5)**

6.2.5.1 A força resistente de cálculo, Fw,Rd, dos diversos tipos de solda está indicada na Tabela 8, na qual Aw é a área efetiva da solda, AMB é a área do metal-base (produto do comprimento da solda pela espessura do metalbase menos espesso), fy é a menor resistência ao escoamento entre os metais-base da junta e fw a resistência mínima à tração do metal da solda.

| **Força resistente de cálculo das soldas, Tabela 8** | | |
| --- | --- | --- |
| Tipo de solda | Tipo de solicitação e orientação | Força resistente de cálculo, Fw,Rd |
| Filete | Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda. | Não precisa ser considerado. |
| Cisalhamento na seção efetiva (a solicitação de cálculo é igual à resultante vetorial de todas as forças de cálculo na junta que produzam tensões normais ou de cisalhamento na superfície de contato das partes ligadas). | |  | | --- | | Metal-base deve atender a 6.5 | | |  |  | | --- | --- | | onde: | image5.wmf | | | |  |  | | --- | --- | | Metal da solda: | image6.wmf | | |
| |  | | --- | | 2) O valor de gw2 é igual a 1,35 para combinações normais, especiais ou de construção e igual a 1,15 para combinações excepcionais. | | | |

**6.2.4 Exigências relativas ao metal da solda e aos procedimentos de soldagem**

6.2.4.1 Na Tabela 7, extraída da AWS D1.1, são apresentados alguns metais-base e eletrodos de solda que podem ser usados em procedimentos de soldagem pré-qualificados. Mais informações podem ser obtidas na AWS D1.1.

| **Limitações (ABNT NBR 8800, 6.2.6)** | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Tipo | P.S. | t  (mm) | Comprimento | | Perna | | |
| lw,min  (mm) | lw  (mm) | dw,min  (mm) | dw,max  (mm) | dw  (mm) |
| Soldadura perimetral à placa | De ângulo | SMAW | 7 | 40 | 1213 | 5 | 7 | 6 |
| *P.S.: Procedimento de soldagen.*  *t: Menor espessura do metal-base.*  *lw: Comprimento total da solda.*  *dw: Perna da solda.* | | | | | | | | |

| **Verificação de cordões de soldadura** | | | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Perna  (mm) | t  (mm) | lw  (mm) | Eléctrode | Metal - base | Cisalhamento (Metal da solda) | | | Tensões (Metal-base) | | | Coeficientes de ponderação | | |
| fw  (N/mm²) | fy  (N/mm²) | Sd  (N/mm²) | Rd  (N/mm²) | Aprov.  (%) | Sd  (N/mm²) | Rd  (N/mm²) | Aprov.  (%) | ga1 | gw1 | gw2 |
| Soldadura perimetral à placa | 6 | 7 | 1213 | E70XX  (485.0) | 250.0 | Não precisa ser considerado. | | | | | | | | |
| *Sd: Solicitação de cálculo*  *Rd: Resistente de cálculo*  *- Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, não precisa ser considerado.* | | | | | | | | | | | | | | |

2) Placa de ancoragem

| Referência: | | |
| --- | --- | --- |
| -Placa base: Largura X: 450 mm Largura Y: 700 mm Espessura: 25 mm | | |
| -Parafusos: 4Ø31.75 mm L=75 cm Dobra a 180 graus | | |
| -Disposição: Posição X: Centrada Posição Y: Centrada | | |
| -Enrijecedores: Paralelos X: - Paralelos Y: 1(200x20x9.5) | | |
| Verificação | Valores | Estado |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Distância mínima entre chumbadores: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *3 diâmetros* | | | | |  | | --- | | Mínimo: 95 mm | | Calculado: 322 mm | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Distância mínima chumbador-perfil: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *1.5 diâmetros* | | | | |  | | --- | | Mínimo: 47 mm | | Calculado: 125 mm | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Distância mínima chumbador-borda: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *2 diâmetros* | | | | |  | | --- | | Mínimo: 63 mm | | Calculado: 64 mm | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Esbeltez dos enrijecedores: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Paralelos a Y: | | | | |  | | --- | | Máximo: 50 | | Calculado: 45.4 | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Comprimento mínimo do parafuso: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *Calcula-se o comprimento de ancoragem necessário por aderência.* | | | | |  | | --- | | Mínimo: 37 cm | | Calculado: 75 cm | | Passa |
| |  | | --- | | Ancoragem chumbador no concreto: | |  |  |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Tração: | | | |  | | --- | | Máximo: 117.27 kN | | Calculado: 97.37 kN | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Cortante: | | | |  | | --- | | Máximo: 82.09 kN | | Calculado: 10.89 kN | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Tração + Cortante: | | | |  | | --- | | Máximo: 117.27 kN | | Calculado: 112.94 kN | | Passa |
| |  | | --- | | Tração chumbadores: | | |  | | --- | | Máximo: 178.2 kN | | Calculado: 97.35 kN | | Passa |
| |  | | --- | | Tensão de Von Mises nos chumbadores: | | |  | | --- | | Máximo: 225 MPa | | Calculado: 125.494 MPa | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Esmagamento chumbador na placa: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *Limite de esforço de corte em um chumbador atuando contra a placa* | | | | |  | | --- | | Máximo: 453.63 kN | | Calculado: 11.22 kN | | Passa |
| |  | | --- | | Tensão de Von Mises em seções globais: | | |  | | --- | | Máximo: 250 MPa | |  |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Direita: | | | |  | | --- | | Calculado: 76.9986 MPa | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Esquerda: | | | |  | | --- | | Calculado: 76.7084 MPa | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Acima: | | | |  | | --- | | Calculado: 120.338 MPa | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Abaixo: | | | |  | | --- | | Calculado: 121.062 MPa | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Flecha global equivalente: | | | |  | | --- | | *Limite da deformabilidade dos balanços* | | | |  | | --- | | Mínimo: 250 | |  |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Direita: | | | |  | | --- | | Calculado: 4086.85 | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Esquerda: | | | |  | | --- | | Calculado: 4103.49 | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Acima: | | | |  | | --- | | Calculado: 9528.16 | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Abaixo: | | | |  | | --- | | Calculado: 9472.63 | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Tensão de Von Mises local: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *Tensão por tração de chumbadores sobre placas em balanço* | | | | |  | | --- | | Máximo: 250 MPa | | Calculado: 0 MPa | | Passa |
| Todas as verificações foram cumpridas | | |
| Informação adicional: | | |
| - Relação ruptura desfavorável seção de concreto: 0.0787 | | |

|  |
| --- |
| Soldas (ABNT NBR 8800:2008) |

**Limitações (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.6)**

**6.2.6.2** *Soldas de filete*

6.2.6.2.1 O tamanho mínimo da perna de uma solda de filete é dado na Tabela 10, em função da parte menos espessa soldada.

6.2.6.2.2 O tamanho máximo da perna de uma solda de filete que pode ser usado ao longo de bordas de partes soldadas é o seguinte:

|  |
| --- |
| a) ao longo de bordas de material com espessura inferior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material; |

|  |
| --- |
| b) ao longo de bordas de material com espessura igual ou superior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material subtraída de 1,5 mm, a não ser que nos desenhos essa solda seja indicada como reforçada durante a execução, de modo a obter a espessura total desejada da garganta. |

6.2.6.2.3 O comprimento efetivo de uma solda de filete, dimensionada para uma solicitação de cálculo qualquer, não pode ser inferior a 4 vezes seu tamanho da perna e a 40 mm.

**AWS D1.1/D1.1M, Especificações complementares.**

**2.3.3.7** *Garganta efetiva de ligações em T.*

A garganta efetiva de ligações em T em ângulos entre 60° e 30° deve ser igual à altura do maior triângulo que se possa inscrever na secção do metal de colaboração, menos o coeficiente de redução Z. A garganta efetiva de ligações em T em ângulos entre 80° e 60° e em ângulos maiores a 100° deve ser considerada igual à altura do maior triângulo que se possa inscrever na secção do metal de colaboração.

**Força resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.5)**

6.2.5.1 A força resistente de cálculo, Fw,Rd, dos diversos tipos de solda está indicada na Tabela 8, na qual Aw é a área efetiva da solda, AMB é a área do metal-base (produto do comprimento da solda pela espessura do metalbase menos espesso), fy é a menor resistência ao escoamento entre os metais-base da junta e fw a resistência mínima à tração do metal da solda.

| **Força resistente de cálculo das soldas, Tabela 8** | | |
| --- | --- | --- |
| Tipo de solda | Tipo de solicitação e orientação | Força resistente de cálculo, Fw,Rd |
| Filete | Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda. | Não precisa ser considerado. |
| Cisalhamento na seção efetiva (a solicitação de cálculo é igual à resultante vetorial de todas as forças de cálculo na junta que produzam tensões normais ou de cisalhamento na superfície de contato das partes ligadas). | |  | | --- | | Metal-base deve atender a 6.5 | | |  |  | | --- | --- | | onde: | image5.wmf | | | |  |  | | --- | --- | | Metal da solda: | image6.wmf | | |
| |  | | --- | | 2) O valor de gw2 é igual a 1,35 para combinações normais, especiais ou de construção e igual a 1,15 para combinações excepcionais. | | | |

**6.2.4 Exigências relativas ao metal da solda e aos procedimentos de soldagem**

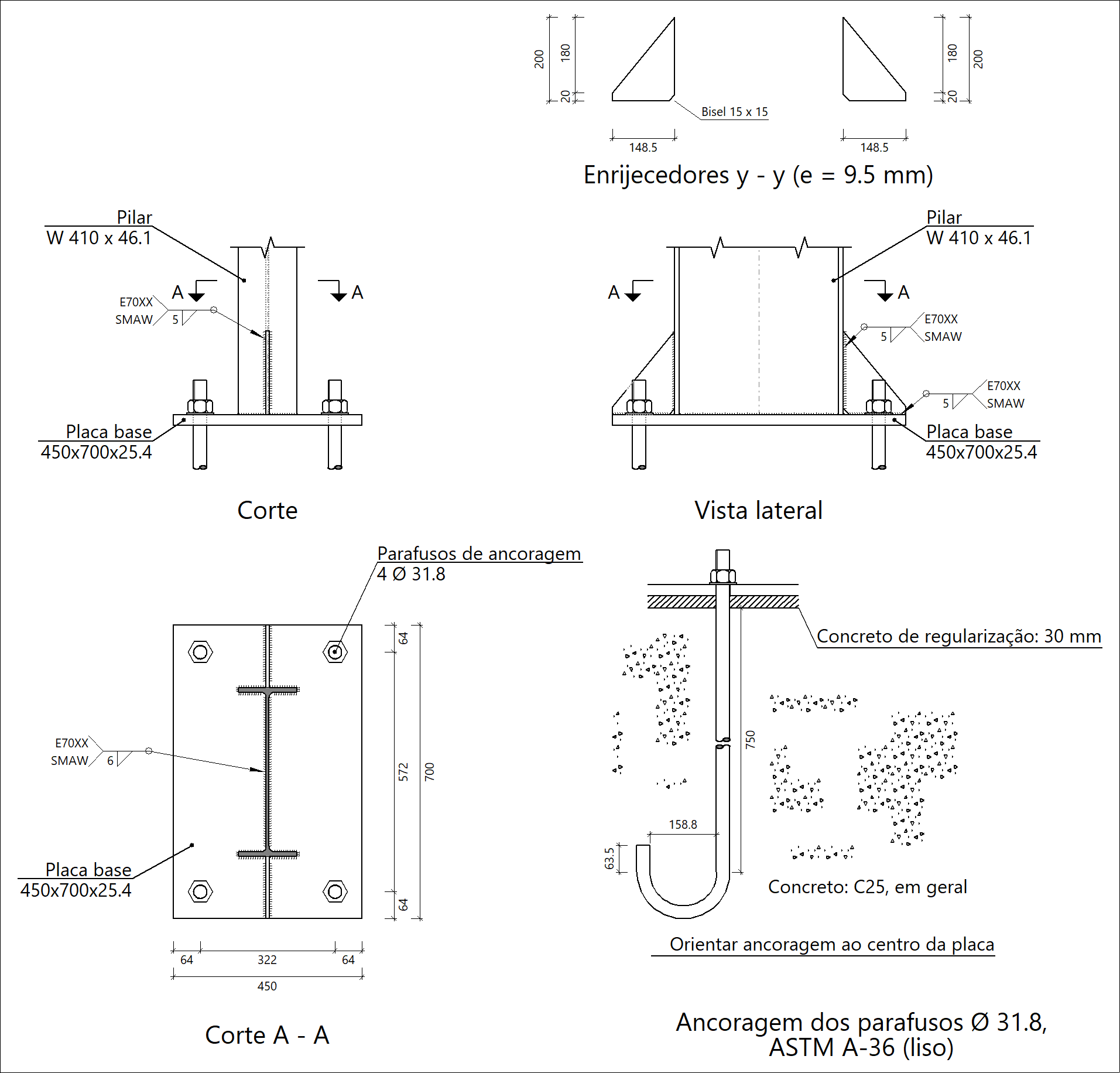
6.2.4.1 Na Tabela 7, extraída da AWS D1.1, são apresentados alguns metais-base e eletrodos de solda que podem ser usados em procedimentos de soldagem pré-qualificados. Mais informações podem ser obtidas na AWS D1.1.

| **Limitações (ABNT NBR 8800, 6.2.6)** | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Tipo | P.S. | t  (mm) | Comprimento | | Perna | | |
| lw,min  (mm) | lw  (mm) | dw,min  (mm) | dw,max  (mm) | dw  (mm) |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à placa base | De ângulo | SMAW | 10 | 40 | 149 | 5 | 10 | 5 |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à peça | De ângulo | SMAW | 10 | 40 | 185 | 5 | 10 | 5 |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à placa base | De ângulo | SMAW | 10 | 40 | 149 | 5 | 10 | 5 |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à peça | De ângulo | SMAW | 10 | 40 | 185 | 5 | 10 | 5 |
| *P.S.: Procedimento de soldagen.*  *t: Menor espessura do metal-base.*  *lw: Comprimento total da solda.*  *dw: Perna da solda.* | | | | | | | | |

| **Verificação de cordões de soldadura** | | | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Perna  (mm) | t  (mm) | lw  (mm) | Eléctrode | Metal - base | Cisalhamento (Metal da solda) | | | Tensões (Metal-base) | | | Coeficientes de ponderação | | |
| fw  (N/mm²) | fy  (N/mm²) | Sd  (N/mm²) | Rd  (N/mm²) | Aprov.  (%) | Sd  (N/mm²) | Rd  (N/mm²) | Aprov.  (%) | ga1 | gw1 | gw2 |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à placa base | 5 | 10 | 149 | E70XX  (485.0) | 250.0 | Não precisa ser considerado. | | | | | | | | |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à peça | 5 | 10 | 185 | E70XX  (485.0) | 250.0 | Não precisa ser considerado. | | | | | | | | |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à placa base | 5 | 10 | 149 | E70XX  (485.0) | 250.0 | Não precisa ser considerado. | | | | | | | | |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à peça | 5 | 10 | 185 | E70XX  (485.0) | 250.0 | Não precisa ser considerado. | | | | | | | | |
| *Sd: Solicitação de cálculo*  *Rd: Resistente de cálculo*  *- Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, não precisa ser considerado.* | | | | | | | | | | | | | | |

## **Base das Colunas do oitão**

a) Detalhe



b) Descrição dos componentes da ligação

| **Elementos complementares** | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Peça | Geometria | | | | Furos | | Aço | | |
| Esquema | Largura  (mm) | Altura  (mm) | Espessura  (mm) | Quantidade | Diâmetro  (mm) | Tipo | fy  (MPa) | fu  (MPa) |
| Placa base | image6.bmp | 450 | 700 | 25.4 | 4 | 31.8 | A-36 250Mpa | 250.0 | 400.0 |
| Enrijecedor | image7.bmp | 148.5 | 200 | 9.5 | - | - | A-36 250Mpa | 250.0 | 400.0 |

c) Verificação

1) Pilar W 410 x 46.1

|  |
| --- |
| Soldas (ABNT NBR 8800:2008) |

| **Limitações (ABNT NBR 8800, 6.2.6)** | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Tipo | P.S. | t  (mm) | Comprimento | | Perna | | |
| lw,min  (mm) | lw  (mm) | dw,min  (mm) | dw,max  (mm) | dw  (mm) |
| Soldadura perimetral à placa | De ângulo | SMAW | 7 | 40 | 1213 | 5 | 7 | 6 |
| *P.S.: Procedimento de soldagen.*  *t: Menor espessura do metal-base.*  *lw: Comprimento total da solda.*  *dw: Perna da solda.* | | | | | | | | |

| **Verificação de cordões de soldadura** | | | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Perna  (mm) | t  (mm) | lw  (mm) | Eléctrode | Metal - base | Cisalhamento (Metal da solda) | | | Tensões (Metal-base) | | | Coeficientes de ponderação | | |
| fw  (N/mm²) | fy  (N/mm²) | Sd  (N/mm²) | Rd  (N/mm²) | Aprov.  (%) | Sd  (N/mm²) | Rd  (N/mm²) | Aprov.  (%) | ga1 | gw1 | gw2 |
| Soldadura perimetral à placa | 6 | 7 | 1213 | E70XX  (485.0) | 250.0 | Não precisa ser considerado. | | | | | | | | |
| *Sd: Solicitação de cálculo*  *Rd: Resistente de cálculo*  *- Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, não precisa ser considerado.* | | | | | | | | | | | | | | |

2) Placa de ancoragem

| Referência: | | |
| --- | --- | --- |
| Verificação | Valores | Estado |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Distância mínima entre chumbadores: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *3 diâmetros* | | | | |  | | --- | | Mínimo: 95 mm | | Calculado: 322 mm | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Distância mínima chumbador-perfil: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *1.5 diâmetros* | | | | |  | | --- | | Mínimo: 47 mm | | Calculado: 125 mm | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Distância mínima chumbador-borda: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *2 diâmetros* | | | | |  | | --- | | Mínimo: 63 mm | | Calculado: 64 mm | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Esbeltez dos enrijecedores: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Paralelos a Y: | | | | |  | | --- | | Máximo: 50 | | Calculado: 45.4 | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Comprimento mínimo do parafuso: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *Calcula-se o comprimento de ancoragem necessário por aderência.* | | | | |  | | --- | | Mínimo: 37 cm | | Calculado: 75 cm | | Passa |
| |  | | --- | | Ancoragem chumbador no concreto: | |  |  |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Tração: | | | |  | | --- | | Máximo: 117.27 kN | | Calculado: 97.37 kN | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Cortante: | | | |  | | --- | | Máximo: 82.09 kN | | Calculado: 10.89 kN | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Tração + Cortante: | | | |  | | --- | | Máximo: 117.27 kN | | Calculado: 112.94 kN | | Passa |
| |  | | --- | | Tração chumbadores: | | |  | | --- | | Máximo: 178.2 kN | | Calculado: 97.35 kN | | Passa |
| |  | | --- | | Tensão de Von Mises nos chumbadores: | | |  | | --- | | Máximo: 225 MPa | | Calculado: 125.494 MPa | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Esmagamento chumbador na placa: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *Limite de esforço de corte em um chumbador atuando contra a placa* | | | | |  | | --- | | Máximo: 453.63 kN | | Calculado: 11.22 kN | | Passa |
| |  | | --- | | Tensão de Von Mises em seções globais: | | |  | | --- | | Máximo: 250 MPa | |  |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Direita: | | | |  | | --- | | Calculado: 76.9986 MPa | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Esquerda: | | | |  | | --- | | Calculado: 76.7084 MPa | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Acima: | | | |  | | --- | | Calculado: 120.338 MPa | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Abaixo: | | | |  | | --- | | Calculado: 121.062 MPa | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Flecha global equivalente: | | | |  | | --- | | *Limite da deformabilidade dos balanços* | | | |  | | --- | | Mínimo: 250 | |  |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Direita: | | | |  | | --- | | Calculado: 4086.85 | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Esquerda: | | | |  | | --- | | Calculado: 4103.49 | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Acima: | | | |  | | --- | | Calculado: 9528.16 | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Abaixo: | | | |  | | --- | | Calculado: 9472.63 | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Tensão de Von Mises local: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *Tensão por tração de chumbadores sobre placas em balanço* | | | | |  | | --- | | Máximo: 250 MPa | | Calculado: 0 MPa | | Passa |
| Todas as verificações foram cumpridas | | |
| Informação adicional: | | |
| - Relação ruptura desfavorável seção de concreto: 0.0787 | | |

|  |
| --- |
| Soldas (ABNT NBR 8800:2008) |

| **Limitações (ABNT NBR 8800, 6.2.6)** | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Tipo | P.S. | t  (mm) | Comprimento | | Perna | | |
| lw,min  (mm) | lw  (mm) | dw,min  (mm) | dw,max  (mm) | dw  (mm) |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à placa base | De ângulo | SMAW | 10 | 40 | 149 | 5 | 10 | 5 |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à peça | De ângulo | SMAW | 10 | 40 | 185 | 5 | 10 | 5 |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à placa base | De ângulo | SMAW | 10 | 40 | 149 | 5 | 10 | 5 |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à peça | De ângulo | SMAW | 10 | 40 | 185 | 5 | 10 | 5 |
| *P.S.: Procedimento de soldagen.*  *t: Menor espessura do metal-base.*  *lw: Comprimento total da solda.*  *dw: Perna da solda.* | | | | | | | | |

| **Verificação de cordões de soldadura** | | | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Perna  (mm) | t  (mm) | lw  (mm) | Eléctrode | Metal - base | Cisalhamento (Metal da solda) | | | Tensões (Metal-base) | | | Coeficientes de ponderação | | |
| fw  (N/mm²) | fy  (N/mm²) | Sd  (N/mm²) | Rd  (N/mm²) | Aprov.  (%) | Sd  (N/mm²) | Rd  (N/mm²) | Aprov.  (%) | ga1 | gw1 | gw2 |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à placa base | 5 | 10 | 149 | E70XX  (485.0) | 250.0 | Não precisa ser considerado. | | | | | | | | |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à peça | 5 | 10 | 185 | E70XX  (485.0) | 250.0 | Não precisa ser considerado. | | | | | | | | |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à placa base | 5 | 10 | 149 | E70XX  (485.0) | 250.0 | Não precisa ser considerado. | | | | | | | | |
| Enrijecedor y-y (x = 0): Soldadura à peça | 5 | 10 | 185 | E70XX  (485.0) | 250.0 | Não precisa ser considerado. | | | | | | | | |
| *Sd: Solicitação de cálculo*  *Rd: Resistente de cálculo*  *- Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, não precisa ser considerado.* | | | | | | | | | | | | | | |

d) Quantit.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | **Soldas** | | | | | | --- | --- | --- | --- | --- | | Classe de resistência | Execução | Tipo | Lado  (mm) | Comprimento de cordões  (mm) | | E70XX | Em fábrica | De filete | 5 | 904 | | 6 | 1213 | |
| | **Elementos para aparafusar** | | | | | --- | --- | --- | --- | | Tipo | Material | Quantidade | Descrição | | Porcas | Classe 8S | 4 | 1 1/4", ASTM A563 | | Anilhas | Tipo 1 | 4 | 1 1/4", ASTM F436 | |
| | **Placas de base** | | | | | | --- | --- | --- | --- | --- | | Material | Elementos | Quantidade | Dimensões  (mm) | Peso  (kg) | | A-36 250Mpa | Placa base | 1 | 450x700x25.4 | 62.81 | | Enrijecedores não passantes | 2 | 148/0x200/20x9.5 | 2.44 | | Total | | | 65.24 | | ASTM A-36 (liso) | Parafusos de ancoragem | 4 | Ø 31.8 - L = 837 + 363 | 29.83 | | Total | | | 29.83 | |

**Verificações**

1) Pilar W 310 x 23.8

|  |
| --- |
| Soldas (ABNT NBR 8800:2008) |

**Força resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.5)**

6.2.5.1 A força resistente de cálculo, Fw,Rd, dos diversos tipos de solda está indicada na Tabela 8, na qual Aw é a área efetiva da solda, AMB é a área do metal-base (produto do comprimento da solda pela espessura do metalbase menos espesso), fy é a menor resistência ao escoamento entre os metais-base da junta e fw a resistência mínima à tração do metal da solda.

| **Força resistente de cálculo das soldas, Tabela 8** | | |
| --- | --- | --- |
| Tipo de solda | Tipo de solicitação e orientação | Força resistente de cálculo, Fw,Rd |
| Penetração total | Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda. | Não precisa ser considerado. |
| Tração ou compressão normal à seção efetiva da solda. | |  |  | | --- | --- | | Metal - base: | image5.wmf | |
| Cisalhamento (soma vetorial) na seção efetiva. | |  |  | | --- | --- | | Metal - base: | image6.wmf | |

**6.2.4 Exigências relativas ao metal da solda e aos procedimentos de soldagem**

6.2.4.1 Na Tabela 7, extraída da AWS D1.1, são apresentados alguns metais-base e eletrodos de solda que podem ser usados em procedimentos de soldagem pré-qualificados. Mais informações podem ser obtidas na AWS D1.1.

| **Limitações (ABNT NBR 8800, 6.2.6)** | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Tipo | P.S. | t  (mm) | Comprimento | | Chanfro  (mm) |
| lw,min  (mm) | lw  (mm) |
| Solda da aba superior | Em bisel simples | SMAW | 7 | 40 | 101 | 7 |
| Solda da alma | Em bisel simples | SMAW | 6 | 40 | 272 | 6 |
| Solda da aba inferior | Em bisel simples | SMAW | 7 | 40 | 101 | 7 |
| *P.S.: Procedimento de soldagen.*  *t: Menor espessura do metal-base.*  *lw: Comprimento total da solda.* | | | | | | |

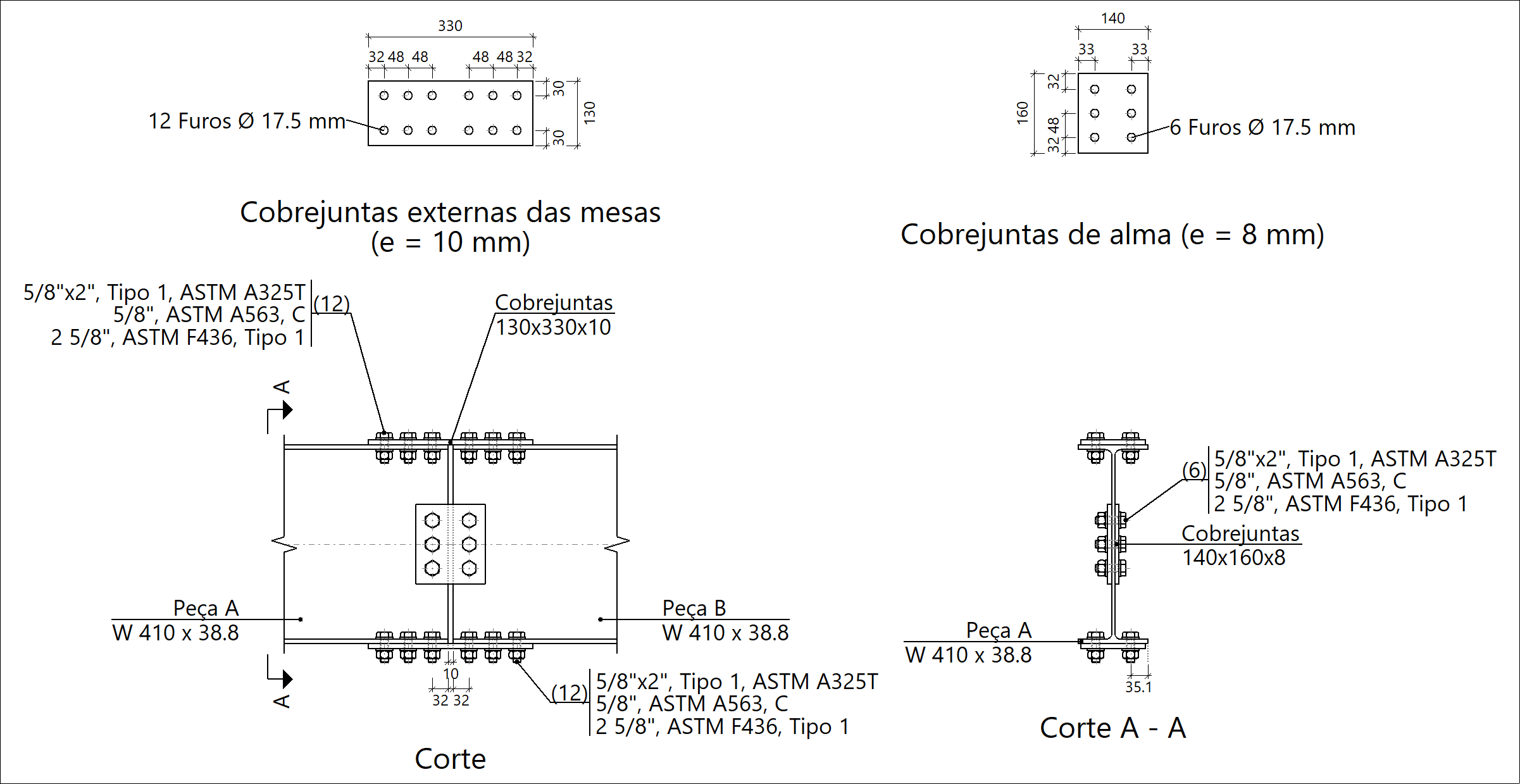
| **Verificação de cordões de soldadura** | | | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Perna  (mm) | t  (mm) | lw  (mm) | Eléctrode | Metal - base | Cisalhamento (Metal da solda) | | | Tensões (Metal-base) | | | Coeficientes de ponderação | | |
| fw  (N/mm²) | fy  (N/mm²) | Sd  (N/mm²) | Rd  (N/mm²) | Aprov.  (%) | Sd  (N/mm²) | Rd  (N/mm²) | Aprov.  (%) | ga1 | gw1 | gw2 |
| Solda da aba superior | 7 | 7 | 101 | E70XX  (485.0) | 250.0 | A solda em bisel gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir. | | | | | | | | |
| Solda da alma | 6 | 6 | 272 | E70XX  (485.0) | 250.0 | A solda em bisel gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir. | | | | | | | | |
| Solda da aba inferior | 7 | 7 | 101 | E70XX  (485.0) | 250.0 | A solda em bisel gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir. | | | | | | | | |
| *Sd: Solicitação de cálculo*  *Rd: Resistente de cálculo*  *- Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, não precisa ser considerado.* | | | | | | | | | | | | | | |

2) Placa de ancoragem

| Referência: | | |
| --- | --- | --- |
| -Placa base: Largura X: 300 mm Largura Y: 500 mm Espessura: 22 mm | | |
| -Parafusos: 4Ø19.05 mm L=55 cm Dobra a 180 graus | | |
| -Disposição: Posição X: Centrada Posição Y: Centrada | | |
| Verificação | Valores | Estado |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Distância mínima entre chumbadores: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *3 diâmetros* | | | | |  | | --- | | Mínimo: 57 mm | | Calculado: 221 mm | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Distância mínima chumbador-perfil: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *1.5 diâmetros* | | | | |  | | --- | | Mínimo: 28 mm | | Calculado: 83 mm | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Distância mínima chumbador-borda: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *2 diâmetros* | | | | |  | | --- | | Mínimo: 38 mm | | Calculado: 40 mm | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Comprimento mínimo do parafuso: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *Calcula-se o comprimento de ancoragem necessário por aderência.* | | | | |  | | --- | | Mínimo: 22 cm | | Calculado: 55 cm | | Passa |
| |  | | --- | | Ancoragem chumbador no concreto: | |  |  |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Tração: | | | |  | | --- | | Máximo: 51.6 kN | | Calculado: 39.85 kN | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Cortante: | | | |  | | --- | | Máximo: 36.12 kN | | Calculado: 5.78 kN | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Tração + Cortante: | | | |  | | --- | | Máximo: 51.6 kN | | Calculado: 48.11 kN | | Passa |
| |  | | --- | | Tração chumbadores: | | |  | | --- | | Máximo: 64.13 kN | | Calculado: 39.43 kN | | Passa |
| |  | | --- | | Tensão de Von Mises nos chumbadores: | | |  | | --- | | Máximo: 225 MPa | | Calculado: 143.696 MPa | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Esmagamento chumbador na placa: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *Limite de esforço de corte em um chumbador atuando contra a placa* | | | | |  | | --- | | Máximo: 235.74 kN | | Calculado: 5.76 kN | | Passa |
| |  | | --- | | Tensão de Von Mises em seções globais: | | |  | | --- | | Máximo: 250 MPa | |  |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Direita: | | | |  | | --- | | Calculado: 37.8542 MPa | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Esquerda: | | | |  | | --- | | Calculado: 37.8486 MPa | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Acima: | | | |  | | --- | | Calculado: 190.217 MPa | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Abaixo: | | | |  | | --- | | Calculado: 190.213 MPa | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Flecha global equivalente: | | | |  | | --- | | *Limite da deformabilidade dos balanços* | | | |  | | --- | | Mínimo: 250 | |  |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Direita: | | | |  | | --- | | Calculado: 12155.9 | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Esquerda: | | | |  | | --- | | Calculado: 12155.9 | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Acima: | | | |  | | --- | | Calculado: 509.98 | | Passa |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  | - | |  | | --- | | Abaixo: | | | |  | | --- | | Calculado: 509.991 | | Passa |
| |  |  | | --- | --- | | |  | | --- | | Tensão de Von Mises local: | | | |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | |  |  | |  | | --- | | *Tensão por tração de chumbadores sobre placas em balanço* | | | | |  | | --- | | Máximo: 250 MPa | | Calculado: 0 MPa | | Passa |
| Todas as verificações foram cumpridas | | |
| Informação adicional: | | |
| - Relação ruptura desfavorável seção de concreto: 0.0746 | | |

## Emenda das Vigas Principais

a) Detalhe



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 | fy  (MPa) | fu  (MPa) |
| Peça | W 410 x 38.8 | image6.bmp | 399 | 140 | 8.8 | 6.4 | A-572 345MPa | 345.0 | 450.0 |

| **Elementos complementares** | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Peça | Geometria | | | | Furos | | Aço | | |
| Esquema | Largura  (mm) | Altura  (mm) | Espessura  (mm) | Quantidade | Diâmetro  (mm) | Tipo | fy  (MPa) | fu  (MPa) |
| Cobrejuntas | image7.bmp | 130 | 330 | 10 | 12 | 17.5 | A-36 250Mpa | 250.0 | 400.0 |
| Cobrejuntas | image8.bmp | 140 | 160 | 8 | 6 | 17.5 | A-36 250Mpa | 250.0 | 400.0 |
| Cobrejuntas | image7.bmp | 130 | 330 | 10 | 12 | 17.5 | A-572 345MPa | 345.0 | 450.0 |

| **Parafusos** | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Geometria | | | Aço | | |
| Esquema | Diâmetro | Comprimento  (mm) | Classe | fy  (MPa) | fu  (MPa) |
| 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T  5/8", ASTM A563, C  2 5/8", ASTM F436, Tipo 1 | image9.bmp | 5/8" | 50.8 | ASTM A325 | 635.0 | 825.0 |

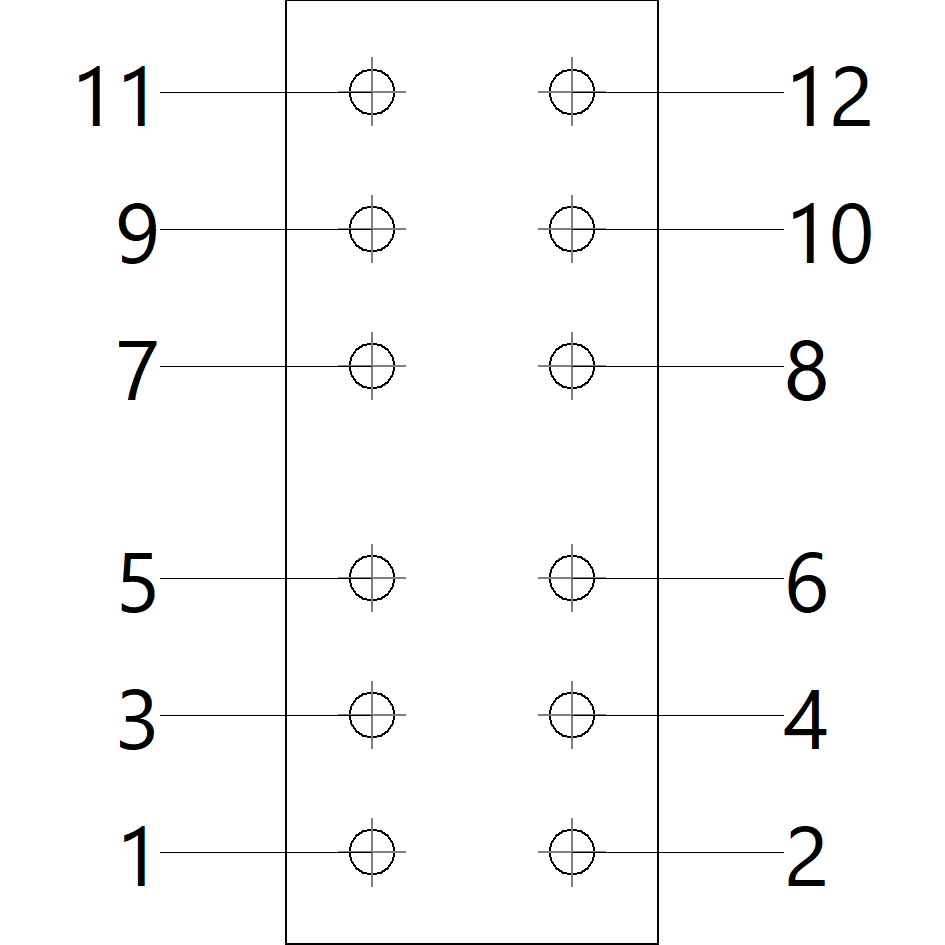
c) Verificação

1) Cobrejuntas

| Componente | Verificação | Unidades | Desfavorável | Resistente | Aprov. (%) |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Cobrejuntas externas da mesa superior | Tração | kN | 175.83 | 281.70 | 62.42 |
| Esmagamento | kN | 28.01 | 82.76 | 33.85 |
| Rasgamento | kN | 165.78 | 290.14 | 57.14 |
| Compressão | kN | 181.63 | 295.45 | 61.47 |
| Fletor | -- | -- | -- | 0.00 |
| Cobrejuntas de alma | Esmagamento | kN | 11.47 | 67.77 | 16.92 |
| Rasgamento | kN | 22.50 | 115.06 | 19.55 |
| Cobrejuntas externas da mesa inferior | Compressão | kN | 124.66 | 407.73 | 30.57 |
| Esmagamento | kN | 21.47 | 93.08 | 23.07 |
| Rasgamento | kN | 128.63 | 368.53 | 34.90 |
| Tração | kN | 129.07 | 316.92 | 40.73 |
| Fletor | -- | -- | -- | 0.18 |

* Aba superior

|  |
| --- |
| Parafusos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3) |

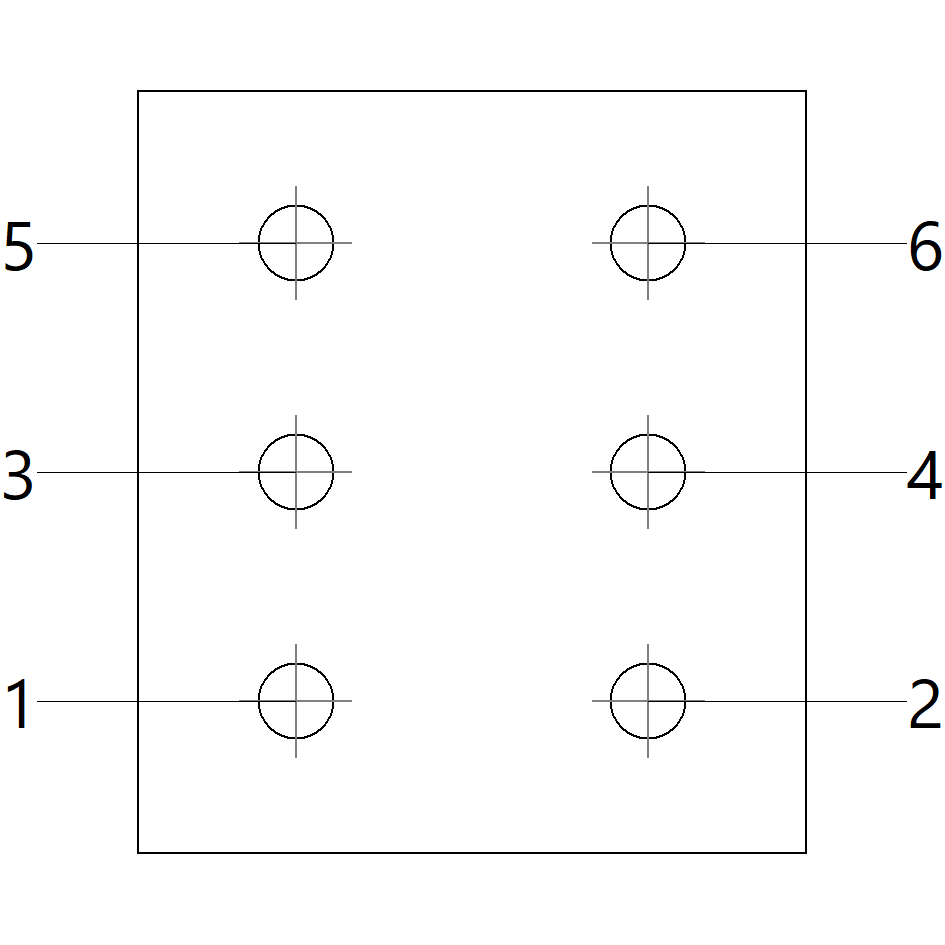


| **Disposições constructivas** | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parafuso | Descrição | Diâmetro do furo  (mm) | Distâncias de um furo às bordas | | Distâncias entre furos | |
| x  (mm) | y  (mm) | x  (mm) | y  (mm) |
| 1 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | 32 | 70 | 48 |
| 2 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | 32 | 70 | 48 |
| 3 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 4 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 5 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 6 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 7 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 8 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 9 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 10 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 11 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | 32 | 70 | 48 |
| 12 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | 32 | 70 | 48 |
| *--: Não precisa ser considerado.* | | | | | | |

| **Resistência** | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parafuso | Cisalhamento | | | | Aprov. Máx. (%) |
| Verificação | Desfavorável  (kN) | Resistente  (kN) | Aprov.  (%) |
| 1 | Seção transversal | 30.209 | 48.384 | 62.44 | 62.44 |
| Esmagamento | 28.392 | 83.883 | 33.85 |
| 2 | Seção transversal | 30.156 | 48.384 | 62.33 | 62.33 |
| Esmagamento | 28.391 | 83.884 | 33.85 |
| 3 | Seção transversal | 30.209 | 48.384 | 62.44 | 62.44 |
| Esmagamento | 30.217 | 107.519 | 28.10 |
| 4 | Seção transversal | 30.156 | 48.384 | 62.33 | 62.33 |
| Esmagamento | 30.156 | 107.492 | 28.05 |
| 5 | Seção transversal | 30.209 | 48.384 | 62.44 | 62.44 |
| Esmagamento | 28.408 | 81.960 | 34.66 |
| 6 | Seção transversal | 30.156 | 48.384 | 62.33 | 62.33 |
| Esmagamento | 28.407 | 81.960 | 34.66 |
| 7 | Seção transversal | 30.156 | 48.384 | 62.33 | 62.33 |
| Esmagamento | 28.391 | 81.938 | 34.65 |
| 8 | Seção transversal | 30.209 | 48.384 | 62.44 | 62.44 |
| Esmagamento | 28.392 | 81.938 | 34.65 |
| 9 | Seção transversal | 30.156 | 48.384 | 62.33 | 62.33 |
| Esmagamento | 30.156 | 107.492 | 28.05 |
| 10 | Seção transversal | 30.209 | 48.384 | 62.44 | 62.44 |
| Esmagamento | 30.217 | 107.519 | 28.10 |
| 11 | Seção transversal | 30.156 | 48.384 | 62.33 | 62.33 |
| Esmagamento | 28.407 | 83.932 | 33.85 |
| 12 | Seção transversal | 30.209 | 48.384 | 62.44 | 62.44 |
| Esmagamento | 28.408 | 83.932 | 33.85 |

* Alma

|  |
| --- |
| Parafusos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3) |

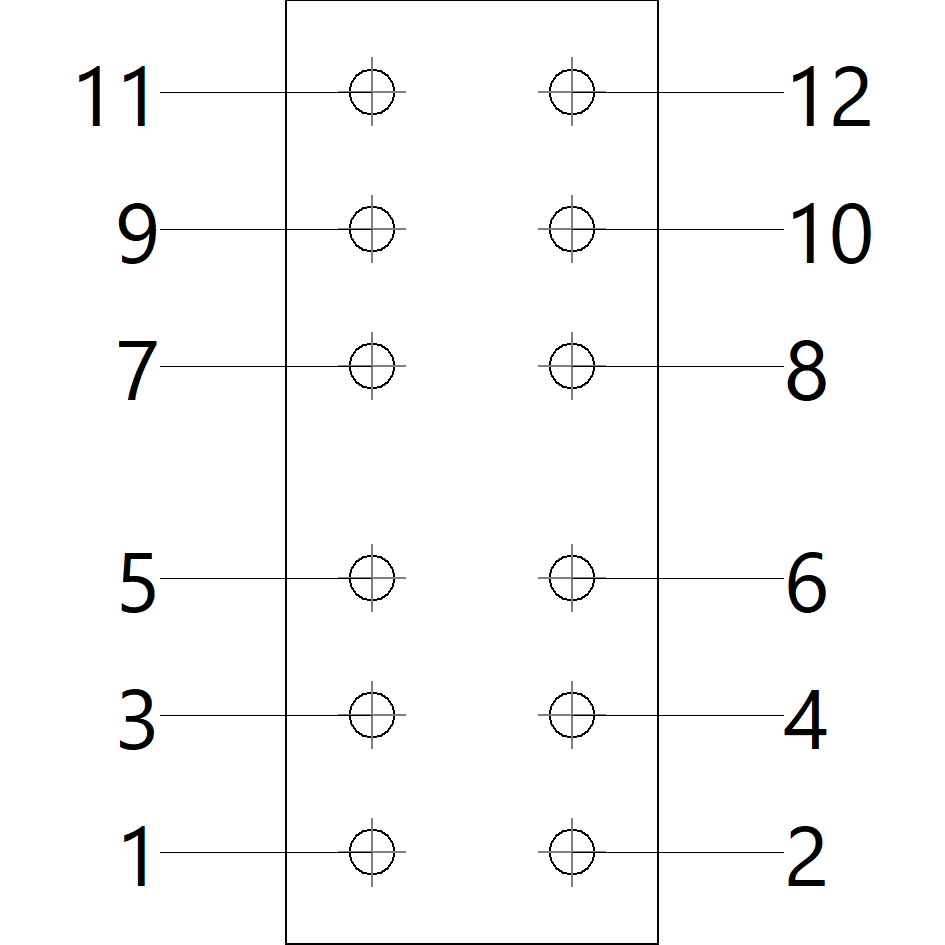


| **Disposições constructivas** | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parafuso | Descrição | Diâmetro do furo  (mm) | Distâncias de um furo às bordas | | Distâncias entre furos | |
| x  (mm) | y  (mm) | x  (mm) | y  (mm) |
| 1 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 33 | 32 | 74 | 48 |
| 2 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 33 | 32 | 74 | 48 |
| 3 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 33 | -- | 74 | 48 |
| 4 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 33 | -- | 74 | 48 |
| 5 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 33 | 32 | 74 | 48 |
| 6 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 33 | 32 | 74 | 48 |
| *--: Não precisa ser considerado.* | | | | | | |

| **Resistência** | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parafuso | Cisalhamento | | | | Aprov. Máx. (%) |
| Verificação | Desfavorável  (kN) | Resistente  (kN) | Aprov.  (%) |
| 1 | Seção transversal | 22.930 | 96.767 | 23.70 | 34.47 |
| Esmagamento | 22.930 | 66.519 | 34.47 |
| 2 | Seção transversal | 22.930 | 96.767 | 23.70 | 34.87 |
| Esmagamento | 22.930 | 65.760 | 34.87 |
| 3 | Seção transversal | 15.000 | 96.767 | 15.50 | 19.19 |
| Esmagamento | 15.000 | 78.176 | 19.19 |
| 4 | Seção transversal | 15.000 | 96.767 | 15.50 | 19.19 |
| Esmagamento | 15.000 | 78.176 | 19.19 |
| 5 | Seção transversal | 22.930 | 96.767 | 23.70 | 34.47 |
| Esmagamento | 22.930 | 66.519 | 34.47 |
| 6 | Seção transversal | 22.930 | 96.767 | 23.70 | 34.87 |
| Esmagamento | 22.930 | 65.760 | 34.87 |

* Aba inferior

|  |
| --- |
| Parafusos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3) |



| **Disposições constructivas** | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parafuso | Descrição | Diâmetro do furo  (mm) | Distâncias de um furo às bordas | | Distâncias entre furos | |
| x  (mm) | y  (mm) | x  (mm) | y  (mm) |
| 1 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | 32 | 70 | 48 |
| 2 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | 32 | 70 | 48 |
| 3 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 4 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 5 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 6 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 7 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 8 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 9 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 10 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 11 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | 32 | 70 | 48 |
| 12 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | 32 | 70 | 48 |
| *--: Não precisa ser considerado.* | | | | | | |

| **Resistência** | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parafuso | Cisalhamento | | | | Aprov. Máx. (%) |
| Verificação | Desfavorável  (kN) | Resistente  (kN) | Aprov.  (%) |
| 1 | Seção transversal | 21.411 | 48.384 | 44.25 | 44.25 |
| Esmagamento | 21.411 | 93.103 | 23.00 |
| 2 | Seção transversal | 21.465 | 48.384 | 44.36 | 44.36 |
| Esmagamento | 21.472 | 93.075 | 23.07 |
| 3 | Seção transversal | 21.411 | 48.384 | 44.25 | 44.25 |
| Esmagamento | 21.411 | 107.492 | 19.92 |
| 4 | Seção transversal | 21.465 | 48.384 | 44.36 | 44.36 |
| Esmagamento | 21.472 | 107.524 | 19.97 |
| 5 | Seção transversal | 21.411 | 48.384 | 44.25 | 44.25 |
| Esmagamento | 21.411 | 81.906 | 26.14 |
| 6 | Seção transversal | 21.465 | 48.384 | 44.36 | 44.36 |
| Esmagamento | 21.472 | 81.931 | 26.21 |
| 7 | Seção transversal | 30.217 | 48.384 | 62.45 | 62.45 |
| Esmagamento | 28.408 | 83.092 | 34.19 |
| 8 | Seção transversal | 30.149 | 48.384 | 62.31 | 62.31 |
| Esmagamento | 28.407 | 83.093 | 34.19 |
| 9 | Seção transversal | 30.217 | 48.384 | 62.45 | 62.45 |
| Esmagamento | 30.217 | 107.492 | 28.11 |
| 10 | Seção transversal | 30.149 | 48.384 | 62.31 | 62.31 |
| Esmagamento | 30.156 | 107.519 | 28.05 |
| 11 | Seção transversal | 30.217 | 48.384 | 62.45 | 62.45 |
| Esmagamento | 28.392 | 93.111 | 30.49 |
| 12 | Seção transversal | 30.149 | 48.384 | 62.31 | 62.31 |
| Esmagamento | 28.391 | 93.111 | 30.49 |

2) Peça A W 410 x 38.8

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Verificações de resistência** | | | | | |
| Componente | Verificação | Unidades | Desfavorável | Resistente | Aprov. (%) |
| Aba | Esmagamento | kN | 28.41 | 81.96 | 34.66 |
| Rasgamento | kN | 165.78 | 324.31 | 51.12 |
| Tração | kN | 165.78 | 308.22 | 53.79 |
| Alma | Esmagamento | kN | 22.93 | 66.52 | 34.47 |
| Rasgamento | kN | 45.00 | 114.79 | 39.20 |

3) Peça B W 410 x 38.8

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Verificações de resistência** | | | | | |
| Componente | Verificação | Unidades | Desfavorável | Resistente | Aprov. (%) |
| Aba | Esmagamento | kN | 28.39 | 81.94 | 34.65 |
| Rasgamento | kN | 165.78 | 324.31 | 51.12 |
| Tração | kN | 165.78 | 308.22 | 53.79 |
| Alma | Esmagamento | kN | 22.93 | 65.76 | 34.87 |
| Rasgamento | kN | 45.00 | 114.79 | 39.20 |

d) Quantit.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | **Chapas** | | | | | | --- | --- | --- | --- | --- | | Material | Tipo | Quantidade | Dimensões  (mm) | Peso  (kg) | | A-36 250Mpa | Chapas | 2 | 140x160x8 | 2.81 | | 1 | 130x330x10 | 3.37 | | Total | | | 6.18 | | A-572 345MPa | Chapas | 1 | 130x330x10 | 3.37 | | Total | | | 3.37 | |
| | **Elementos para aparafusar** | | | | | --- | --- | --- | --- | | Tipo | Material | Quantidade | Descrição | | Parafusos | ASTM A325 | 30 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | | Porcas | Grau C | 30 | 5/8", ASTM A563 | | Anilhas | Tipo 1 | 60 | 5/8", ASTM F436 | |

**Verificações**

1) Cobrejuntas

| Componente | Verificação | Unidades | Desfavorável | Resistente | Aprov. (%) |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Cobrejuntas externas da mesa superior | Tração | kN | 175.83 | 281.70 | 62.42 |
| Esmagamento | kN | 28.01 | 82.76 | 33.85 |
| Rasgamento | kN | 165.78 | 290.14 | 57.14 |
| Compressão | kN | 181.63 | 295.45 | 61.47 |
| Fletor | -- | -- | -- | 0.00 |
| Cobrejuntas de alma | Esmagamento | kN | 11.47 | 67.77 | 16.92 |
| Rasgamento | kN | 22.50 | 115.06 | 19.55 |
| Cobrejuntas externas da mesa inferior | Compressão | kN | 124.66 | 407.73 | 30.57 |
| Esmagamento | kN | 21.47 | 93.08 | 23.07 |
| Rasgamento | kN | 128.63 | 368.53 | 34.90 |
| Tração | kN | 129.07 | 316.92 | 40.73 |
| Fletor | -- | -- | -- | 0.18 |

* Aba superior

|  |
| --- |
| Parafusos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3) |

**6.3.3.2** *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: |
| |  | | --- | | image5.wmf | |
| onde Ab é a área bruta, baseada no diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada, db, dada em 6.3.2.2. |

**6.3.3.3** *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 |
| |  | | --- | | image6.wmf | |
| onde: |
| **Lf**: Distância, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda livre. |
| **db**: Diâmetro do parafuso. |
| **t**: Espessura da parte ligada. |
| **fu**: Resistência à ruptura do aço da parede do furo. |

**6.3.3.4** *Tração e cisalhamento combinados*

Quando ocorrer a ação simultânea de tração e cisalhamento, deve ser atendida a seguinte equação de interação:

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | image7.wmf | |
| onde: |
| **Ft,Sd**: Força de tração solicitante de cálculo por parafuso ou barra redonda rosqueada. |
| **Fv,Sd**: Força de cisalhamento solicitante de cálculo no plano considerado do parafuso ou barra redonda rosqueada. |
| Ft,Rd e Fv,Rd são dados respectivamente em Fv,Rd |
| Alternativamente ao uso da equação da interação, a força de tração solicitante de cálculo (Ft,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 | |  |  | | --- | --- | | image8.wmf | (1) | |
| |  |  | | --- | --- | | image9.wmf | (2) | |
| *(1) Plano de corte passa pela rosca.*  *(2) Plano de corte não passa pela rosca.* | |

**6.3.7** *Pega longa*

Exceto nos casos dos parafusos de alta resistência montados com protensão inicial, quando o comprimento de pega excede 5 db, 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 (db é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada).

**6.3.9** *Espaçamento mínimo entre furos*

A distância entre centros de furos-padrão, alargados ou alongados, não pode ser inferior a 2,7 db, sendo db o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

**6.3.10** *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.

**6.3.11** *Distância mínima de um furo às bordas*

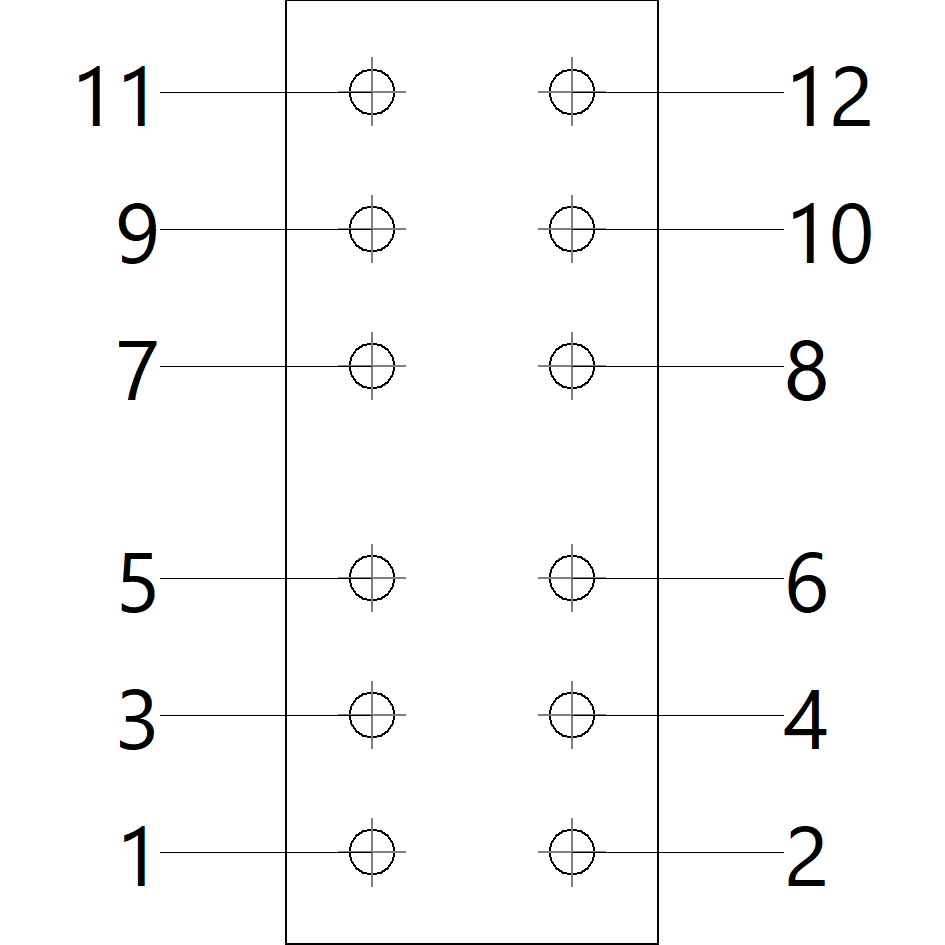
**6.3.11.1** *Furos-padrão*

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 db é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

| **Tabela 14 - Distância mínima do centro de um furo-padrão à borda** | | |
| --- | --- | --- |
| Diâmetro db | Borda cortada com serra ou tesoura  (mm) | Borda laminada ou cortada a maçarico  (mm) |
| pol |
| 5/8" | 29 | 22 |

**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 constructivas** | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parafuso | Descrição | Diâmetro do furo  (mm) | Distâncias de um furo às bordas | | Distâncias entre furos | |
| x  (mm) | y  (mm) | x  (mm) | y  (mm) |
| 1 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | 32 | 70 | 48 |
| 2 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | 32 | 70 | 48 |
| 3 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 4 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 5 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 6 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 7 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 8 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 9 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 10 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 11 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | 32 | 70 | 48 |
| 12 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | 32 | 70 | 48 |
| *--: Não precisa ser considerado.* | | | | | | |

| **Resistência** | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parafuso | Cisalhamento | | | | Aprov. Máx. (%) |
| Verificação | Desfavorável  (kN) | Resistente  (kN) | Aprov.  (%) |
| 1 | Seção transversal | 30.209 | 48.384 | 62.44 | 62.44 |
| Esmagamento | 28.392 | 83.883 | 33.85 |
| 2 | Seção transversal | 30.156 | 48.384 | 62.33 | 62.33 |
| Esmagamento | 28.391 | 83.884 | 33.85 |
| 3 | Seção transversal | 30.209 | 48.384 | 62.44 | 62.44 |
| Esmagamento | 30.217 | 107.519 | 28.10 |
| 4 | Seção transversal | 30.156 | 48.384 | 62.33 | 62.33 |
| Esmagamento | 30.156 | 107.492 | 28.05 |
| 5 | Seção transversal | 30.209 | 48.384 | 62.44 | 62.44 |
| Esmagamento | 28.408 | 81.960 | 34.66 |
| 6 | Seção transversal | 30.156 | 48.384 | 62.33 | 62.33 |
| Esmagamento | 28.407 | 81.960 | 34.66 |
| 7 | Seção transversal | 30.156 | 48.384 | 62.33 | 62.33 |
| Esmagamento | 28.391 | 81.938 | 34.65 |
| 8 | Seção transversal | 30.209 | 48.384 | 62.44 | 62.44 |
| Esmagamento | 28.392 | 81.938 | 34.65 |
| 9 | Seção transversal | 30.156 | 48.384 | 62.33 | 62.33 |
| Esmagamento | 30.156 | 107.492 | 28.05 |
| 10 | Seção transversal | 30.209 | 48.384 | 62.44 | 62.44 |
| Esmagamento | 30.217 | 107.519 | 28.10 |
| 11 | Seção transversal | 30.156 | 48.384 | 62.33 | 62.33 |
| Esmagamento | 28.407 | 83.932 | 33.85 |
| 12 | Seção transversal | 30.209 | 48.384 | 62.44 | 62.44 |
| Esmagamento | 28.408 | 83.932 | 33.85 |

* Alma

|  |
| --- |
| Parafusos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3) |

**6.3.3.2** *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: |
| |  | | --- | | image5.wmf | |
| onde Ab é a área bruta, baseada no diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada, db, dada em 6.3.2.2. |

**6.3.3.3** *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 |
| |  | | --- | | image6.wmf | |
| onde: |
| **Lf**: Distância, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda livre. |
| **db**: Diâmetro do parafuso. |
| **t**: Espessura da parte ligada. |
| **fu**: Resistência à ruptura do aço da parede do furo. |

**6.3.3.4** *Tração e cisalhamento combinados*

Quando ocorrer a ação simultânea de tração e cisalhamento, deve ser atendida a seguinte equação de interação:

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | image7.wmf | |
| onde: |
| **Ft,Sd**: Força de tração solicitante de cálculo por parafuso ou barra redonda rosqueada. |
| **Fv,Sd**: Força de cisalhamento solicitante de cálculo no plano considerado do parafuso ou barra redonda rosqueada. |
| Ft,Rd e Fv,Rd são dados respectivamente em Fv,Rd |
| Alternativamente ao uso da equação da interação, a força de tração solicitante de cálculo (Ft,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 | |  |  | | --- | --- | | image8.wmf | (1) | |
| |  |  | | --- | --- | | image9.wmf | (2) | |
| *(1) Plano de corte passa pela rosca.*  *(2) Plano de corte não passa pela rosca.* | |

**6.3.7** *Pega longa*

Exceto nos casos dos parafusos de alta resistência montados com protensão inicial, quando o comprimento de pega excede 5 db, 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 (db é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada).

**6.3.9** *Espaçamento mínimo entre furos*

A distância entre centros de furos-padrão, alargados ou alongados, não pode ser inferior a 2,7 db, sendo db o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

**6.3.10** *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.

**6.3.11** *Distância mínima de um furo às bordas*

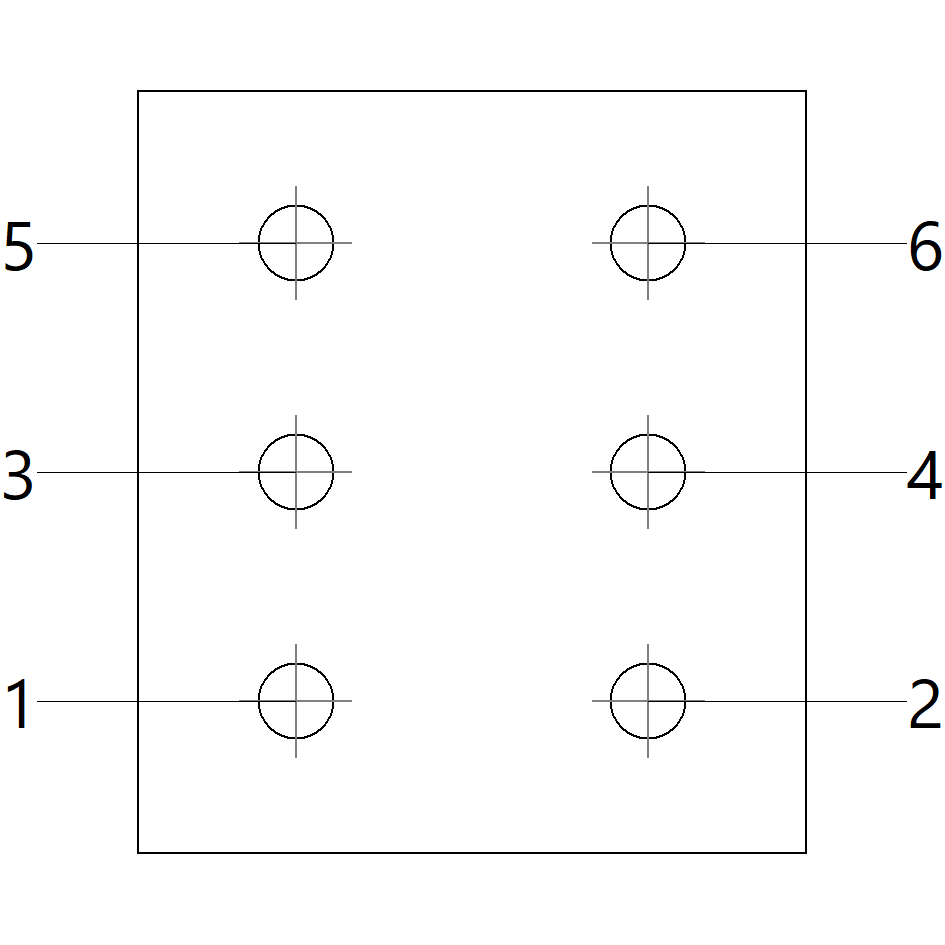
**6.3.11.1** *Furos-padrão*

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 db é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

| **Tabela 14 - Distância mínima do centro de um furo-padrão à borda** | | |
| --- | --- | --- |
| Diâmetro db | Borda cortada com serra ou tesoura  (mm) | Borda laminada ou cortada a maçarico  (mm) |
| pol |
| 5/8" | 29 | 22 |

**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 constructivas** | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parafuso | Descrição | Diâmetro do furo  (mm) | Distâncias de um furo às bordas | | Distâncias entre furos | |
| x  (mm) | y  (mm) | x  (mm) | y  (mm) |
| 1 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 33 | 32 | 74 | 48 |
| 2 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 33 | 32 | 74 | 48 |
| 3 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 33 | -- | 74 | 48 |
| 4 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 33 | -- | 74 | 48 |
| 5 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 33 | 32 | 74 | 48 |
| 6 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 33 | 32 | 74 | 48 |
| *--: Não precisa ser considerado.* | | | | | | |

| **Resistência** | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parafuso | Cisalhamento | | | | Aprov. Máx. (%) |
| Verificação | Desfavorável  (kN) | Resistente  (kN) | Aprov.  (%) |
| 1 | Seção transversal | 22.930 | 96.767 | 23.70 | 34.47 |
| Esmagamento | 22.930 | 66.519 | 34.47 |
| 2 | Seção transversal | 22.930 | 96.767 | 23.70 | 34.87 |
| Esmagamento | 22.930 | 65.760 | 34.87 |
| 3 | Seção transversal | 15.000 | 96.767 | 15.50 | 19.19 |
| Esmagamento | 15.000 | 78.176 | 19.19 |
| 4 | Seção transversal | 15.000 | 96.767 | 15.50 | 19.19 |
| Esmagamento | 15.000 | 78.176 | 19.19 |
| 5 | Seção transversal | 22.930 | 96.767 | 23.70 | 34.47 |
| Esmagamento | 22.930 | 66.519 | 34.47 |
| 6 | Seção transversal | 22.930 | 96.767 | 23.70 | 34.87 |
| Esmagamento | 22.930 | 65.760 | 34.87 |

* Aba inferior

|  |
| --- |
| Parafusos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3) |

**6.3.3.2** *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: |
| |  | | --- | | image5.wmf | |
| onde Ab é a área bruta, baseada no diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada, db, dada em 6.3.2.2. |

**6.3.3.3** *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 |
| |  | | --- | | image6.wmf | |
| onde: |
| **Lf**: Distância, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda livre. |
| **db**: Diâmetro do parafuso. |
| **t**: Espessura da parte ligada. |
| **fu**: Resistência à ruptura do aço da parede do furo. |

**6.3.3.4** *Tração e cisalhamento combinados*

Quando ocorrer a ação simultânea de tração e cisalhamento, deve ser atendida a seguinte equação de interação:

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | image7.wmf | |
| onde: |
| **Ft,Sd**: Força de tração solicitante de cálculo por parafuso ou barra redonda rosqueada. |
| **Fv,Sd**: Força de cisalhamento solicitante de cálculo no plano considerado do parafuso ou barra redonda rosqueada. |
| Ft,Rd e Fv,Rd são dados respectivamente em Fv,Rd |
| Alternativamente ao uso da equação da interação, a força de tração solicitante de cálculo (Ft,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 | |  |  | | --- | --- | | image8.wmf | (1) | |
| |  |  | | --- | --- | | image9.wmf | (2) | |
| *(1) Plano de corte passa pela rosca.*  *(2) Plano de corte não passa pela rosca.* | |

**6.3.7** *Pega longa*

Exceto nos casos dos parafusos de alta resistência montados com protensão inicial, quando o comprimento de pega excede 5 db, 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 (db é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada).

**6.3.9** *Espaçamento mínimo entre furos*

A distância entre centros de furos-padrão, alargados ou alongados, não pode ser inferior a 2,7 db, sendo db o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

**6.3.10** *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.

**6.3.11** *Distância mínima de um furo às bordas*

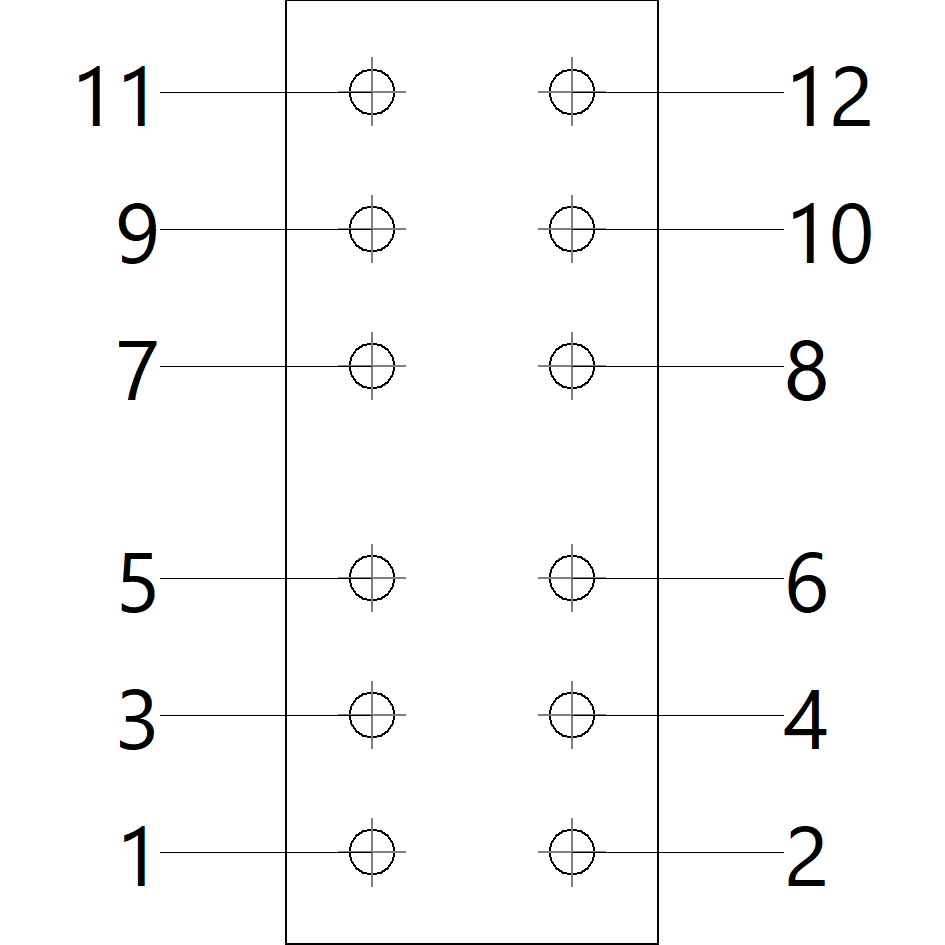
**6.3.11.1** *Furos-padrão*

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 db é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

| **Tabela 14 - Distância mínima do centro de um furo-padrão à borda** | | |
| --- | --- | --- |
| Diâmetro db | Borda cortada com serra ou tesoura  (mm) | Borda laminada ou cortada a maçarico  (mm) |
| pol |
| 5/8" | 29 | 22 |

**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 constructivas** | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parafuso | Descrição | Diâmetro do furo  (mm) | Distâncias de um furo às bordas | | Distâncias entre furos | |
| x  (mm) | y  (mm) | x  (mm) | y  (mm) |
| 1 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | 32 | 70 | 48 |
| 2 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | 32 | 70 | 48 |
| 3 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 4 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 5 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 6 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 7 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 8 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 9 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 10 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | -- | 70 | 48 |
| 11 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | 32 | 70 | 48 |
| 12 | 5/8"x2", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 30 | 32 | 70 | 48 |
| *--: Não precisa ser considerado.* | | | | | | |

| **Resistência** | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parafuso | Cisalhamento | | | | Aprov. Máx. (%) |
| Verificação | Desfavorável  (kN) | Resistente  (kN) | Aprov.  (%) |
| 1 | Seção transversal | 21.411 | 48.384 | 44.25 | 44.25 |
| Esmagamento | 21.411 | 93.103 | 23.00 |
| 2 | Seção transversal | 21.465 | 48.384 | 44.36 | 44.36 |
| Esmagamento | 21.472 | 93.075 | 23.07 |
| 3 | Seção transversal | 21.411 | 48.384 | 44.25 | 44.25 |
| Esmagamento | 21.411 | 107.492 | 19.92 |
| 4 | Seção transversal | 21.465 | 48.384 | 44.36 | 44.36 |
| Esmagamento | 21.472 | 107.524 | 19.97 |
| 5 | Seção transversal | 21.411 | 48.384 | 44.25 | 44.25 |
| Esmagamento | 21.411 | 81.906 | 26.14 |
| 6 | Seção transversal | 21.465 | 48.384 | 44.36 | 44.36 |
| Esmagamento | 21.472 | 81.931 | 26.21 |
| 7 | Seção transversal | 30.217 | 48.384 | 62.45 | 62.45 |
| Esmagamento | 28.408 | 83.092 | 34.19 |
| 8 | Seção transversal | 30.149 | 48.384 | 62.31 | 62.31 |
| Esmagamento | 28.407 | 83.093 | 34.19 |
| 9 | Seção transversal | 30.217 | 48.384 | 62.45 | 62.45 |
| Esmagamento | 30.217 | 107.492 | 28.11 |
| 10 | Seção transversal | 30.149 | 48.384 | 62.31 | 62.31 |
| Esmagamento | 30.156 | 107.519 | 28.05 |
| 11 | Seção transversal | 30.217 | 48.384 | 62.45 | 62.45 |
| Esmagamento | 28.392 | 93.111 | 30.49 |
| 12 | Seção transversal | 30.149 | 48.384 | 62.31 | 62.31 |
| Esmagamento | 28.391 | 93.111 | 30.49 |

2) Peça A W 410 x 38.8

* Aba

|  |
| --- |
| Pressão de contato em furos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3.3.3) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image12.wmf | **0.35 £ 1** | image13.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **FSd**: Força cortante solicitante de cálculo. |  | **FSd,y** | : | *1.51* | kN |
|  | **FSd,z** | : | *28.37* | kN |
| **Fc,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: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image14.wmf | |  | **Fc,Rd,y** | : | *111.76* | kN |
|  | **Fc,Rd,z** | : | *81.91* | kN |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **t**: Espessura da parte ligada. |  | **t** | : | *8.8* | mm |
| **lf**: Distância livre, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda da parte ligada. |  | **lf,y** | : | *52* | mm |
|  | **lf,z** | : | *23* | mm |
| **db**: Diâmetro do parafuso. |  | **db** | : | *16* | mm |
| **fu**: Resistência à ruptura do aço da parede do furo. |  | **fu** | : | *450.00* | N/mm² |
| **ga2**: Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura. |  | **ga2** | : | *1.35* |  |

|  |
| --- |
| Colapso por rasgamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABNT NBR 8800:2008, 6.5.6) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image15.wmf | **165.78 kN £ 324.31 kN** | image13.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **FSd**: Força cortante solicitante de cálculo. |  | **FSd** | : | *165.78* | kN |
| **Ft,Rd**: Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento. |  | **Ft,Rd** | : | *324.31* | kN |
| |  | | --- | | image16.wmf | |  |  |  |  |  |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **An**: Área líquida sujeita à rasgamento. |  | **An** | : | *1946* | mm² |
| **fu**: Resistência à ruptura do aço da parede do furo. |  | **fu** | : | *450.00* | N/mm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | N/mm² |
| **ga1**: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| **ga2**: Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura. |  | **ga2** | : | *1.35* |  |

|  |
| --- |
| Tração (ABNT NBR 8800:2008, 5.2) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image17.wmf | **165.78 kN £ 308.22 kN** | image13.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **Nt,Sd**: Força axial de tração solicitante de cálculo. |  | **Nt,Sd** | : | *165.78* | kN |
| **Nt,Rd**: Força axial de tração resistente de cálculo. |  | **Nt,Rd** | : | *308.22* | kN |
| A força axial de tração resistente de cálculo, Nt,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 |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image18.wmf | |  | | | | |
|  | **Npl,Rd** | : | *386.40* |  |
|  | | | | |
| b) para ruptura da seção líquida |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image19.wmf | |  | | | | |
|  | **Nu,Rd** | : | *308.22* |  |
|  | | | | |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **Ag**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **Ag** | : | *1232* | mm² |
| **Ae**: Área líquida efetiva da seção transversal da barra. |  | **Ae** | : | *925* | mm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | N/mm² |
| **fu**: Resistência à ruptura do aço da parede do furo. |  | **fu** | : | *450.00* | N/mm² |
| **ga1**: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| **ga2**: Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura. |  | **ga2** | : | *1.35* |  |

* Alma

|  |
| --- |
| Pressão de contato em furos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3.3.3) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image12.wmf | **0.34 £ 1** | image13.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **FSd**: Força cortante solicitante de cálculo. |  | **FSd,y** | : | *17.34* | kN |
|  | **FSd,z** | : | *15* | kN |
| **Fc,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: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image14.wmf | |  | **Fc,Rd,y** | : | *59.57* | kN |
|  | **Fc,Rd,z** | : | *81.28* | kN |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **t**: Espessura da parte ligada. |  | **t** | : | *6.4* | mm |
| **lf**: Distância livre, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda da parte ligada. |  | **lf,y** | : | *23* | mm |
|  | **lf,z** | : | *170* | mm |
| **db**: Diâmetro do parafuso. |  | **db** | : | *16* | mm |
| **fu**: Resistência à ruptura do aço da parede do furo. |  | **fu** | : | *450.00* | N/mm² |
| **ga2**: Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura. |  | **ga2** | : | *1.35* |  |

|  |
| --- |
| Colapso por rasgamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABNT NBR 8800:2008, 6.5.6) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image15.wmf | **45.00 kN £ 114.79 kN** | image13.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **FSd**: Força cortante solicitante de cálculo. |  | **FSd** | : | *45.00* | kN |
| **Ft,Rd**: Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento. |  | **Ft,Rd** | : | *114.79* | kN |
| |  | | --- | | image16.wmf | |  |  |  |  |  |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **An**: Área líquida sujeita à rasgamento. |  | **An** | : | *689* | mm² |
| **fu**: Resistência à ruptura do aço da parede do furo. |  | **fu** | : | *450.00* | N/mm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | N/mm² |
| **ga1**: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| **ga2**: Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura. |  | **ga2** | : | *1.35* |  |

3) Peça B W 410 x 38.8

* Aba

|  |
| --- |
| Pressão de contato em furos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3.3.3) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image12.wmf | **0.35 £ 1** | image13.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **FSd**: Força cortante solicitante de cálculo. |  | **FSd,y** | : | *1.17* | kN |
|  | **FSd,z** | : | *28.37* | kN |
| **Fc,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: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image14.wmf | |  | **Fc,Rd,y** | : | *111.76* | kN |
|  | **Fc,Rd,z** | : | *81.91* | kN |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **t**: Espessura da parte ligada. |  | **t** | : | *8.8* | mm |
| **lf**: Distância livre, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda da parte ligada. |  | **lf,y** | : | *52* | mm |
|  | **lf,z** | : | *23* | mm |
| **db**: Diâmetro do parafuso. |  | **db** | : | *16* | mm |
| **fu**: Resistência à ruptura do aço da parede do furo. |  | **fu** | : | *450.00* | N/mm² |
| **ga2**: Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura. |  | **ga2** | : | *1.35* |  |

|  |
| --- |
| Colapso por rasgamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABNT NBR 8800:2008, 6.5.6) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image15.wmf | **165.78 kN £ 324.31 kN** | image13.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **FSd**: Força cortante solicitante de cálculo. |  | **FSd** | : | *165.78* | kN |
| **Ft,Rd**: Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento. |  | **Ft,Rd** | : | *324.31* | kN |
| |  | | --- | | image16.wmf | |  |  |  |  |  |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **An**: Área líquida sujeita à rasgamento. |  | **An** | : | *1946* | mm² |
| **fu**: Resistência à ruptura do aço da parede do furo. |  | **fu** | : | *450.00* | N/mm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | N/mm² |
| **ga1**: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| **ga2**: Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura. |  | **ga2** | : | *1.35* |  |

|  |
| --- |
| Tração (ABNT NBR 8800:2008, 5.2) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image17.wmf | **165.78 kN £ 308.22 kN** | image13.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **Nt,Sd**: Força axial de tração solicitante de cálculo. |  | **Nt,Sd** | : | *165.78* | kN |
| **Nt,Rd**: Força axial de tração resistente de cálculo. |  | **Nt,Rd** | : | *308.22* | kN |
| A força axial de tração resistente de cálculo, Nt,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 |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image18.wmf | |  | | | | |
|  | **Npl,Rd** | : | *386.40* |  |
|  | | | | |
| b) para ruptura da seção líquida |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image19.wmf | |  | | | | |
|  | **Nu,Rd** | : | *308.22* |  |
|  | | | | |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **Ag**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **Ag** | : | *1232* | mm² |
| **Ae**: Área líquida efetiva da seção transversal da barra. |  | **Ae** | : | *925* | mm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | N/mm² |
| **fu**: Resistência à ruptura do aço da parede do furo. |  | **fu** | : | *450.00* | N/mm² |
| **ga1**: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| **ga2**: Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura. |  | **ga2** | : | *1.35* |  |

* Alma

|  |
| --- |
| Pressão de contato em furos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3.3.3) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image12.wmf | **0.35 £ 1** | image13.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **FSd**: Força cortante solicitante de cálculo. |  | **FSd,y** | : | *17.34* | kN |
|  | **FSd,z** | : | *15* | kN |
| **Fc,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: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image14.wmf | |  | **Fc,Rd,y** | : | *59.57* | kN |
|  | **Fc,Rd,z** | : | *78.18* | kN |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **t**: Espessura da parte ligada. |  | **t** | : | *6.4* | mm |
| **lf**: Distância livre, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda da parte ligada. |  | **lf,y** | : | *23* | mm |
|  | **lf,z** | : | *31* | mm |
| **db**: Diâmetro do parafuso. |  | **db** | : | *16* | mm |
| **fu**: Resistência à ruptura do aço da parede do furo. |  | **fu** | : | *450.00* | N/mm² |
| **ga2**: Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura. |  | **ga2** | : | *1.35* |  |

|  |
| --- |
| Colapso por rasgamento (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ABNT NBR 8800:2008, 6.5.6) |

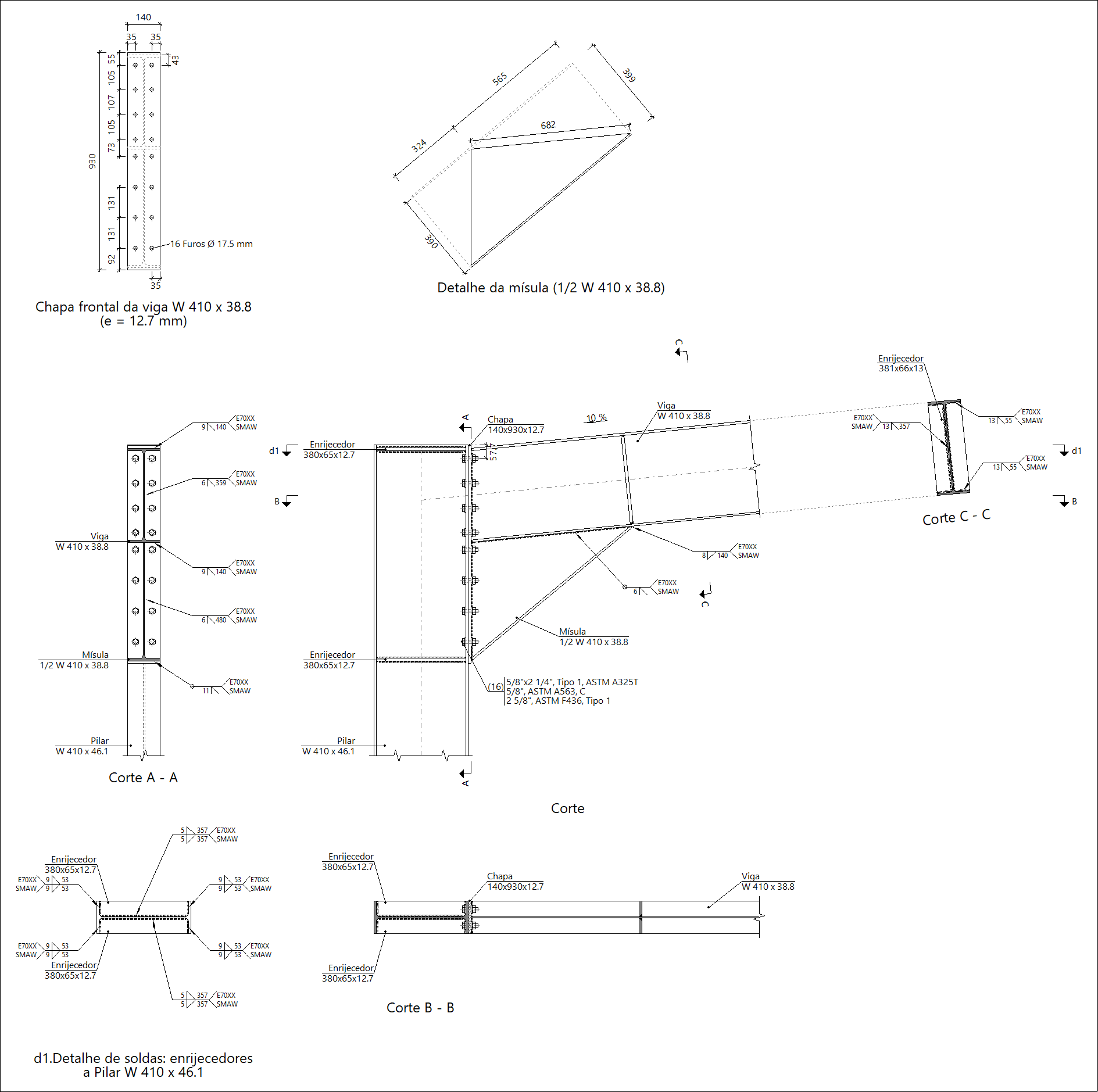
Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image15.wmf | **45.00 kN £ 114.79 kN** | image13.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **FSd**: Força cortante solicitante de cálculo. |  | **FSd** | : | *45.00* | kN |
| **Ft,Rd**: Força resistente de cálculo ao colapso por rasgamento. |  | **Ft,Rd** | : | *114.79* | kN |
| |  | | --- | | image16.wmf | |  |  |  |  |  |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **An**: Área líquida sujeita à rasgamento. |  | **An** | : | *689* | mm² |
| **fu**: Resistência à ruptura do aço da parede do furo. |  | **fu** | : | *450.00* | N/mm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | N/mm² |
| **ga1**: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| **ga2**: Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura. |  | **ga2** | : | *1.35* |  |

## Emenda entre Viga e Colunas laterais

a) Detalhe



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 | fy  (MPa) | fu  (MPa) |
| Pilar | W 410 x 46.1 | image6.bmp | 403 | 140 | 11.2 | 7 | A-572 345MPa | 345.0 | 450.0 |
| Viga | W 410 x 38.8 | image7.bmp | 399 | 140 | 8.8 | 6.4 | A-572 345MPa | 345.0 | 450.0 |

| **Elementos complementares** | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Peça | Geometria | | | | Furos | | Aço | | |
| Esquema | Largura  (mm) | Altura  (mm) | Espessura  (mm) | Quantidade | Diâmetro  (mm) | Tipo | fy  (MPa) | fu  (MPa) |
| Enrijecedor | image8.bmp | 380.6 | 65 | 12.7 | - | - | A-36 250Mpa | 250.0 | 400.0 |
| Chapa frontal: Viga W 410 x 38.8 | image9.bmp | 140 | 930 | 12.7 | 16 | 17.5 | A-36 250Mpa | 250.0 | 400.0 |
| Enrijecedor de reforço do extremo da mísula | image10.bmp | 381.4 | 66.8 | 13 | - | - | A-572 345MPa | 345.0 | 450.0 |

| **Parafusos** | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Geometria | | | Aço | | |
| Esquema | Diâmetro | Comprimento  (mm) | Classe | fy  (MPa) | fu  (MPa) |
| 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T  5/8", ASTM A563, C  2 5/8", ASTM F436, Tipo 1 | image11.bmp | 5/8" | 57.2 | ASTM A325 | 635.0 | 825.0 |

c) Verificação

1) Pilar W 410 x 46.1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Verificações de resistência** | | | | | |
|  | Componente | Verificação | Unidades | Desfavorável | Resistente | Aprov. (%) |
|  | Painel | Esbeltez | -- | -- | -- | 77.673 |
|  | Cortante | kN | 341.92 | 1199.79 | 28.50 |
|  | Rigidificador superior | Tensão de Von Mises | N/mm² | 91.92 | 227.27 | 40.44 |
|  | Rigidificador inferior | Tensão de Von Mises | N/mm² | 122.39 | 227.27 | 53.85 |
|  | Rigidificador superior | Tensão de Von Mises | N/mm² | 91.76 | 227.27 | 40.38 |
|  | Rigidificador inferior | Tensão de Von Mises | N/mm² | 122.59 | 227.27 | 53.94 |
|  | Aba | Rasgamento | N/mm² | 2.14 | 313.64 | 0.68 |
|  | Cortante | N/mm² | 192.59 | 313.64 | 61.40 |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | | Viga W | 410 x | 38.8 | | Aba | Tração por flexão | kN | 77.98 | 136.91 | 56.96 |
| Tração | kN | 12.52 | 197.72 | 6.33 |
| Alma | Tração | kN | 77.97 | 167.77 | 46.47 |

|  |
| --- |
| Soldas (ABNT NBR 8800:2008) |

| **Limitações (ABNT NBR 8800, 6.2.6)** | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Tipo | P.S. | t  (mm) | Comprimento | | Perna | | |
| lw,min  (mm) | lw  (mm) | dw,min  (mm) | dw,max  (mm) | dw  (mm) |
| Solda do enrijecedor superior às mesas | De ângulo | SMAW | 11 | 40 | 53 | 5 | 11 | 9 |
| Solda do enrijecedor superior à alma | De ângulo | SMAW | 7 | 40 | 357 | 5 | 7 | 5 |
| Solda do enrijecedor inferior às mesas | De ângulo | SMAW | 11 | 40 | 53 | 5 | 11 | 9 |
| Solda do enrijecedor inferior à alma | De ângulo | SMAW | 7 | 40 | 357 | 5 | 7 | 5 |
| Solda do enrijecedor superior às mesas | De ângulo | SMAW | 11 | 40 | 53 | 5 | 11 | 9 |
| Solda do enrijecedor superior à alma | De ângulo | SMAW | 7 | 40 | 357 | 5 | 7 | 5 |
| Solda do enrijecedor inferior às mesas | De ângulo | SMAW | 11 | 40 | 53 | 5 | 11 | 9 |
| Solda do enrijecedor inferior à alma | De ângulo | SMAW | 7 | 40 | 357 | 5 | 7 | 5 |
| *P.S.: Procedimento de soldagen.*  *t: Menor espessura do metal-base.*  *lw: Comprimento total da solda.*  *dw: Perna da solda.* | | | | | | | | |

| **Verificação de cordões de soldadura** | | | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Perna  (mm) | t  (mm) | lw  (mm) | Eléctrode | Metal - base | Cisalhamento (Metal da solda) | | | Tensões (Metal-base) | | | Coeficientes de ponderação | | |
| fw  (N/mm²) | fy  (N/mm²) | Sd  (N/mm²) | Rd  (N/mm²) | Aprov.  (%) | Sd  (N/mm²) | Rd  (N/mm²) | Aprov.  (%) | ga1 | gw1 | gw2 |
| Solda do enrijecedor superior às mesas | 9 | 11 | 53 | E70XX  (485.0) | 250.0 | 91.7 | 215.6 | 42.55 | 64.9 | 136.4 | 47.56 | 1.10 | 1.25 | 1.35 |
| Solda do enrijecedor superior à alma | 5 | 7 | 357 | E70XX  (485.0) | 250.0 | 24.6 | 215.6 | 11.41 | 17.4 | 136.4 | 12.76 | 1.10 | 1.25 | 1.35 |
| Solda do enrijecedor inferior às mesas | 9 | 11 | 53 | E70XX  (485.0) | 250.0 | 122.1 | 215.6 | 56.65 | 86.4 | 136.4 | 63.33 | 1.10 | 1.25 | 1.35 |
| Solda do enrijecedor inferior à alma | 5 | 7 | 357 | E70XX  (485.0) | 250.0 | 32.8 | 215.6 | 15.20 | 23.2 | 136.4 | 16.99 | 1.10 | 1.25 | 1.35 |
| Solda do enrijecedor superior às mesas | 9 | 11 | 53 | E70XX  (485.0) | 250.0 | 91.6 | 215.6 | 42.48 | 64.7 | 136.4 | 47.48 | 1.10 | 1.25 | 1.35 |
| Solda do enrijecedor superior à alma | 5 | 7 | 357 | E70XX  (485.0) | 250.0 | 24.6 | 215.6 | 11.39 | 17.4 | 136.4 | 12.74 | 1.10 | 1.25 | 1.35 |
| Solda do enrijecedor inferior às mesas | 9 | 11 | 53 | E70XX  (485.0) | 250.0 | 122.3 | 215.6 | 56.75 | 86.5 | 136.4 | 63.43 | 1.10 | 1.25 | 1.35 |
| Solda do enrijecedor inferior à alma | 5 | 7 | 357 | E70XX  (485.0) | 250.0 | 32.8 | 215.6 | 15.22 | 23.2 | 136.4 | 17.01 | 1.10 | 1.25 | 1.35 |
| *Sd: Solicitação de cálculo*  *Rd: Resistente de cálculo*  *- Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, não precisa ser considerado.* | | | | | | | | | | | | | | |

2) Viga W 410 x 38.8

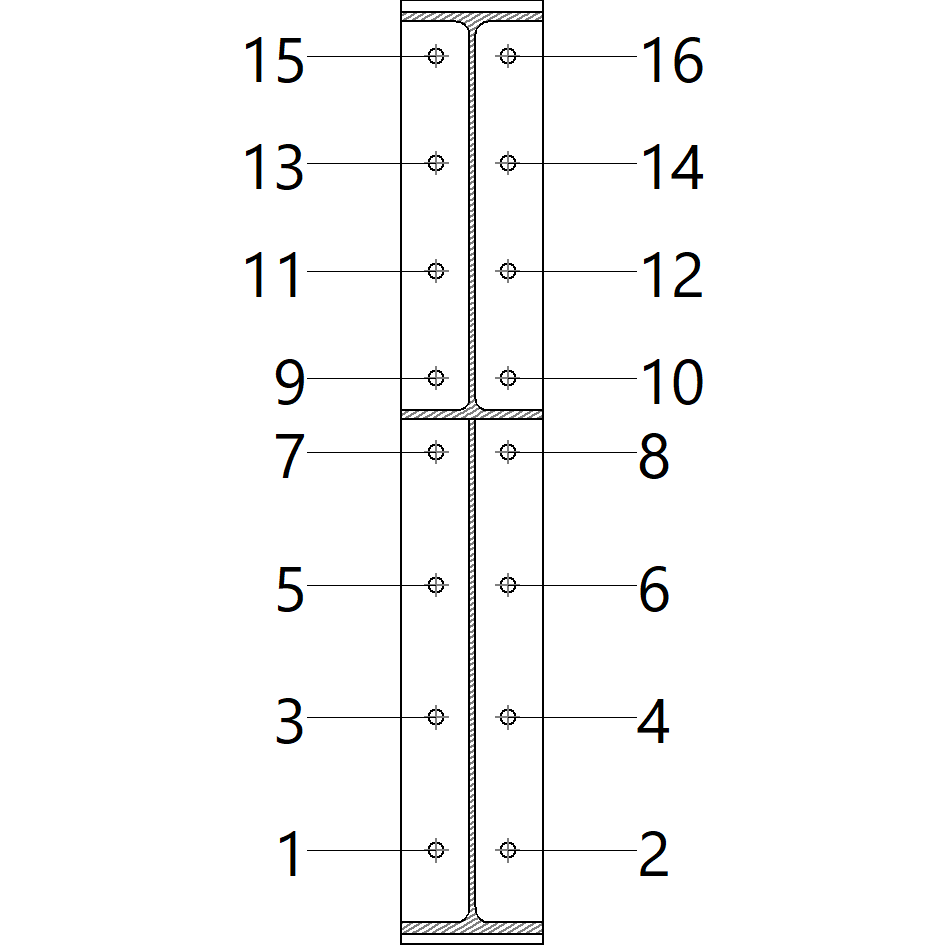
|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Verificações de resistência** | | | | | |
| Componente | Verificação | Unidades | Desfavorável | Resistente | Aprov. (%) |
| Chapa frontal | Tração por flexão | kN | 77.97 | 161.36 | 48.32 |
| Aba | Compressão | kN | 136.66 | 382.63 | 35.72 |
| Tração | kN | 15.40 | 193.20 | 7.97 |
| Alma | Tração | kN | 77.97 | 195.94 | 39.79 |
| Enrijecedores | Cortante | kN | 60.70 | 933.04 | 6.51 |

|  |
| --- |
| Soldas (ABNT NBR 8800:2008) |

| **Limitações (ABNT NBR 8800, 6.2.6)** | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Tipo | P.S. | t  (mm) | Comprimento | | Perna | | | Chanfro  (mm) |
| lw,min  (mm) | lw  (mm) | dw,min  (mm) | dw,max  (mm) | dw  (mm) |
| Solda da aba superior | Em bisel simples | SMAW | 9 | 40 | 140 | -- | -- | -- | 9 |
| Solda da alma | Em bisel simples | SMAW | 6 | 40 | 359 | -- | -- | -- | 6 |
| Solda da aba inferior | Em bisel simples | SMAW | 9 | 40 | 140 | -- | -- | -- | 9 |
| Solda da alma da mísula | Em bisel simples | SMAW | 6 | 40 | 480 | -- | -- | -- | 6 |
| Solda da aba da mísula | Em bisel simples | SMAW | 9 | 44 | 140 | -- | -- | -- | 11 |
| Solda da alma da mísula à aba inferior | Em bisel simples | SMAW | 6 | 40 | 682 | -- | -- | -- | 6 |
| Solda da aba da mísula à aba inferior | De ângulo | SMAW | 9 | 40 | 140 | 5 | 12 | 8 | -- |
| Solda do enrijecedor de reforço do extremo da mísula às abas | Em bisel simples | SMAW | 9 | 52 | 357 | -- | -- | -- | 13 |
| Solda do enrijecedor de reforço do extremo da mísula à alma | Em bisel simples | SMAW | 6 | 52 | 55 | -- | -- | -- | 13 |
| *P.S.: Procedimento de soldagen.*  *t: Menor espessura do metal-base.*  *lw: Comprimento total da solda.*  *dw: Perna da solda.*  *--: A verificação não é necessária.* | | | | | | | | | |

| **Verificação de cordões de soldadura** | | | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Perna  (mm) | t  (mm) | lw  (mm) | Eléctrode | Metal - base | Cisalhamento (Metal da solda) | | | Tensões (Metal-base) | | | Coeficientes de ponderação | | |
| fw  (N/mm²) | fy  (N/mm²) | Sd  (N/mm²) | Rd  (N/mm²) | Aprov.  (%) | Sd  (N/mm²) | Rd  (N/mm²) | Aprov.  (%) | ga1 | gw1 | gw2 |
| Solda da aba superior | 9 | 9 | 140 | E70XX  (485.0) | 250.0 | A solda em bisel gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir. | | | | | | | | |
| Solda da alma | 6 | 6 | 359 | E70XX  (485.0) | 250.0 | A solda em bisel gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir. | | | | | | | | |
| Solda da aba inferior | 9 | 9 | 140 | E70XX  (485.0) | 250.0 | A solda em bisel gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir. | | | | | | | | |
| Solda da alma da mísula | 6 | 6 | 480 | E70XX  (485.0) | 250.0 | A solda em bisel gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir. | | | | | | | | |
| Solda da aba da mísula | 11 | 9 | 140 | E70XX  (485.0) | 250.0 | A solda em bisel gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir. | | | | | | | | |
| Solda da alma da mísula à aba inferior | 6 | 6 | 682 | E70XX  (485.0) | 345.0 | A solda em bisel gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir. | | | | | | | | |
| Solda da aba da mísula à aba inferior | 8 | 9 | 140 | E70XX  (485.0) | 345.0 | Não precisa ser considerado. | | | | | | | | |
| Solda do enrijecedor de reforço do extremo da mísula às abas | 13 | 9 | 357 | E70XX  (485.0) | 345.0 | A solda em bisel gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir. | | | | | | | | |
| Solda do enrijecedor de reforço do extremo da mísula à alma | 13 | 6 | 55 | E70XX  (485.0) | 345.0 | A solda em bisel gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir. | | | | | | | | |
| *Sd: Solicitação de cálculo*  *Rd: Resistente de cálculo*  *- Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, não precisa ser considerado.* | | | | | | | | | | | | | | |

|  |
| --- |
| Parafusos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3) |



| **Disposições constructivas** | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parafuso | Descrição | Diâmetro do furo  (mm) | Distâncias de um furo às bordas | | Distâncias entre furos | |
| x  (mm) | y  (mm) | x  (mm) | y  (mm) |
| 1 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 131 |
| 2 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 131 |
| 3 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 131 |
| 4 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 131 |
| 5 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 131 |
| 6 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 131 |
| 7 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 73 |
| 8 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 73 |
| 9 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 73 |
| 10 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 73 |
| 11 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 105 |
| 12 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 105 |
| 13 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 105 |
| 14 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 105 |
| 15 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 105 |
| 16 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 105 |
| *--: Não precisa ser considerado.* | | | | | | |

| **Resistência** | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parafuso | Cisalhamento | | | | Tração | | | | Interação tração e esforço transverso | Aprov. Máx. (%) |
| Verificação | Desfavorável  (kN) | Resistente  (kN) | Aprov.  (%) | Verificação | Desfavorável  (kN) | Resistente  (kN) | Aprov.  (%) | Aprov.  (%) |
| 1 | Seção transversal | 29.972 | 48.384 | 61.95 | Espiga | 50.754 | 89.104 | 56.96 | 61.95 | 61.95 |
| Esmagamento | 29.972 | 142.240 | 21.07 | Punção | 50.754 | 204.617 | 24.80 |
| 2 | Seção transversal | 29.972 | 48.384 | 61.95 | Espiga | 50.754 | 89.104 | 56.96 | 61.95 | 61.95 |
| Esmagamento | 29.972 | 142.240 | 21.07 | Punção | 50.754 | 204.617 | 24.80 |
| 3 | Seção transversal | 3.129 | 48.384 | 6.47 | Espiga | 41.306 | 89.104 | 46.36 | 46.36 | 46.36 |
| Esmagamento | 3.129 | 142.240 | 2.20 | Punção | 41.306 | 204.617 | 20.19 |
| 4 | Seção transversal | 3.129 | 48.384 | 6.47 | Espiga | 41.306 | 89.104 | 46.36 | 46.36 | 46.36 |
| Esmagamento | 3.129 | 142.240 | 2.20 | Punção | 41.306 | 204.617 | 20.19 |
| 5 | Seção transversal | 2.813 | 48.384 | 5.81 | Espiga | 31.777 | 89.104 | 35.66 | 35.66 | 35.66 |
| Esmagamento | 2.813 | 142.240 | 1.98 | Punção | 31.777 | 204.617 | 15.53 |
| 6 | Seção transversal | 2.813 | 48.384 | 5.81 | Espiga | 31.777 | 89.104 | 35.66 | 35.66 | 35.66 |
| Esmagamento | 2.813 | 142.240 | 1.98 | Punção | 31.777 | 204.617 | 15.53 |
| 7 | Seção transversal | 2.813 | 48.384 | 5.81 | Espiga | 22.295 | 89.104 | 25.02 | 25.02 | 25.02 |
| Esmagamento | 2.813 | 142.240 | 1.98 | Punção | 22.295 | 204.617 | 10.90 |
| 8 | Seção transversal | 2.813 | 48.384 | 5.81 | Espiga | 22.294 | 89.104 | 25.02 | 25.02 | 25.02 |
| Esmagamento | 2.813 | 142.240 | 1.98 | Punção | 22.294 | 204.617 | 10.90 |
| 9 | Seção transversal | 2.813 | 48.384 | 5.81 | Espiga | 20.294 | 89.104 | 22.78 | 22.78 | 22.78 |
| Esmagamento | 2.813 | 142.240 | 1.98 | Punção | 20.294 | 204.617 | 9.92 |
| 10 | Seção transversal | 2.813 | 48.384 | 5.81 | Espiga | 20.277 | 89.104 | 22.76 | 22.76 | 22.76 |
| Esmagamento | 2.813 | 142.240 | 1.98 | Punção | 20.277 | 204.617 | 9.91 |
| 11 | Seção transversal | 2.813 | 48.384 | 5.81 | Espiga | 25.958 | 89.104 | 29.13 | 29.13 | 29.13 |
| Esmagamento | 2.813 | 142.240 | 1.98 | Punção | 25.958 | 204.617 | 12.69 |
| 12 | Seção transversal | 2.813 | 48.384 | 5.81 | Espiga | 25.941 | 89.104 | 29.11 | 29.11 | 29.11 |
| Esmagamento | 2.813 | 142.240 | 1.98 | Punção | 25.941 | 204.617 | 12.68 |
| 13 | Seção transversal | 2.813 | 48.384 | 5.81 | Espiga | 31.916 | 89.104 | 35.82 | 35.82 | 35.82 |
| Esmagamento | 2.813 | 142.240 | 1.98 | Punção | 31.916 | 204.617 | 15.60 |
| 14 | Seção transversal | 2.813 | 48.384 | 5.81 | Espiga | 31.898 | 89.104 | 35.80 | 35.80 | 35.80 |
| Esmagamento | 2.813 | 142.240 | 1.98 | Punção | 31.898 | 204.617 | 15.59 |
| 15 | Seção transversal | 28.360 | 48.384 | 58.62 | Espiga | 34.690 | 89.104 | 38.93 | 58.62 | 58.62 |
| Esmagamento | 28.360 | 142.240 | 19.94 | Punção | 34.690 | 204.617 | 16.95 |
| 16 | Seção transversal | 28.360 | 48.384 | 58.62 | Espiga | 34.674 | 89.104 | 38.91 | 58.62 | 58.62 |
| Esmagamento | 28.360 | 142.240 | 19.94 | Punção | 34.674 | 204.617 | 16.95 |

| Rigidez rotacional inicial | Plano xy  (kN·m/rad) | Plano xz  (kN·m/rad) |
| --- | --- | --- |
| Calculada para momentos positivos | 5545.17 | 112429.46 |
| Calculada para momentos negativos | 5545.17 | 101795.68 |

| **Comportamento da ligação para flexão simples no plano xz** |
| --- |
| image13.bmp |

| Verificação | Unidades | Desfavorável | Resistente | Aprov. (%) |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Relação entre modos 1 e 3 | -- | 1.24 | 1.80 | 69.13 |
| Momento resistente | kNm | 159.20 | 294.07 | 54.14 |
| Capacidade de rotação | mRad | 281.288 | 667 | 42.19 |

d) Quantit.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | **Soldas** | | | | | | --- | --- | --- | --- | --- | | Classe de resistência | Execução | Tipo | Lado  (mm) | Comprimento de cordões  (mm) | | E70XX | Em fábrica | De filete | 5 | 2856 | | 8 | 140 | | 9 | 851 | | De topo em bisel simples | 7 | 1521 | | 9 | 280 | | 12 | 249 | | 13 | 932 | |
| | **Chapas** | | | | | | --- | --- | --- | --- | --- | | Material | Tipo | Quantidade | Dimensões  (mm) | Peso  (kg) | | A-36 250Mpa | Enrijecedores | 4 | 380x65x12.7 | 9.87 | | Chapas | 1 | 140x930x12.7 | 12.98 | | Total | | | 22.85 | | A-572 345MPa | Enrijecedores | 2 | 381x66x13 | 5.20 | | Total | | | 5.20 | |
| | **Elementos para aparafusar** | | | | | --- | --- | --- | --- | | Tipo | Material | Quantidade | Descrição | | Parafusos | ASTM A325 | 16 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | | Porcas | Grau C | 16 | 5/8", ASTM A563 | | Anilhas | Tipo 1 | 32 | 5/8", ASTM F436 | |

**Verificações**

1) Pilar W 410 x 46.1

* Painel

|  |
| --- |
| Esbeltez do painel de alma (Critério de CYPE Ingenieros) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image5.wmf | **54 £ 70** | image6.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **hw**: Altura da alma, tomada como a distância entre faces internas das mesas. |  | **hw** | : | *381* | mm |
| **tw**: Espessura da alma. |  | **tw** | : | *7.0* | mm |

|  |
| --- |
| Cisalhamento do painel de alma (ABNT NBR 8800:2008, 5.7.7) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image7.wmf | **341.92 £ 1199.79** | image6.bmp |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image8.wmf | **149.16 £ 530.86** | image6.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **FSd**: Força cortante solicitante de cálculo, transmitida pelas mesas da viga. |  | **Fx,Sd** | : | *341.92* | kN |
|  | **Fz,Sd** | : | *149.16* | kN |
| **FRd**: Força cortante resistente de cálculo. |  | **Fx,Rd** | : | *1199.79* | kN |
|  | **Fz,Rd** | : | *530.86* | kN |
| |  |  | | --- | --- | | - para | image9.wmf | |  |  |  |  |  |
| |  |  | | --- | --- | | - para | image10.wmf | |  |  |  |  |  |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **Npl**: Força axial de compressão correspondente ao escoamento da seção transversal do pilar. |  | **Npl** | : | *1856.73* | kN |
|  | **0,4·Npl** | : | *742.69* | kN |
| **VRd**: Força cortante resistente de cálculo do painel. |  | **Vx,Rd** | : | *1199.79* | kN |
|  | **Vz,Rd** | : | *530.86* | kN |
| |  | | --- | | image11.wmf | |  |  |  |  |  |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **Aw**: Área efetiva de cisalhamento. |  | **Ax,w** | : | *6376* | mm² |
|  | **Az,W** | : | *2821* | mm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | N/mm² |
| **ga1**: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

|  |
| --- |
| image12.wmf |

* Rigidificador superior

|  |
| --- |
| Tensão de Von Mises em enrijecedores (ABTN NBR 8800:2008, 5.5.2.3) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image13.wmf | **91.92 N/mm² £ 227.27 N/mm²** | image6.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **s**: Tensão normal |  | **s** | : | *-91.92* | N/mm² |
| |  | | --- | | image14.wmf | |  |  |  |  |  |
| **F^**: Esforço de cálculo normal à seção. |  | **F^** | : | *-62.10* | kN |
| **L^**: Largura efetiva do lado normal ao esforço. |  | **L^** | : | *53* | mm |
| **t**: Tensão tangencial |  | **t** | : | *-0.05* | N/mm² |
| |  | | --- | | image15.wmf | |  |  |  |  |  |
| **F||**: Esforço de cálculo tangencial à seção. |  | **F||** | : | *-0.04* | kN |
| **L||**: Largura efetiva do lado tangencial ao esforço. |  | **L||** | : | *53* | mm |
| **t**: Espessura. |  | **t** | : | *12.7* | mm |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *250.00* | N/mm² |
| **ga1**: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

* Rigidificador inferior

|  |
| --- |
| Tensão de Von Mises em enrijecedores (ABTN NBR 8800:2008, 5.5.2.3) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image13.wmf | **122.39 N/mm² £ 227.27 N/mm²** | image6.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **s**: Tensão normal |  | **s** | : | *122.39* | N/mm² |
| |  | | --- | | image14.wmf | |  |  |  |  |  |
| **F^**: Esforço de cálculo normal à seção. |  | **F^** | : | *82.69* | kN |
| **L^**: Largura efetiva do lado normal ao esforço. |  | **L^** | : | *53* | mm |
| **t**: Tensão tangencial |  | **t** | : | *-0.01* | N/mm² |
| |  | | --- | | image15.wmf | |  |  |  |  |  |
| **F||**: Esforço de cálculo tangencial à seção. |  | **F||** | : | *0.00* | kN |
| **L||**: Largura efetiva do lado tangencial ao esforço. |  | **L||** | : | *53* | mm |
| **t**: Espessura. |  | **t** | : | *12.7* | mm |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *250.00* | N/mm² |
| **ga1**: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

* Rigidificador superior

|  |
| --- |
| Tensão de Von Mises em enrijecedores (ABTN NBR 8800:2008, 5.5.2.3) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image13.wmf | **91.76 N/mm² £ 227.27 N/mm²** | image6.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **s**: Tensão normal |  | **s** | : | *-91.76* | N/mm² |
| |  | | --- | | image14.wmf | |  |  |  |  |  |
| **F^**: Esforço de cálculo normal à seção. |  | **F^** | : | *-62.00* | kN |
| **L^**: Largura efetiva do lado normal ao esforço. |  | **L^** | : | *53* | mm |
| **t**: Tensão tangencial |  | **t** | : | *-0.05* | N/mm² |
| |  | | --- | | image15.wmf | |  |  |  |  |  |
| **F||**: Esforço de cálculo tangencial à seção. |  | **F||** | : | *-0.04* | kN |
| **L||**: Largura efetiva do lado tangencial ao esforço. |  | **L||** | : | *53* | mm |
| **t**: Espessura. |  | **t** | : | *12.7* | mm |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *250.00* | N/mm² |
| **ga1**: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

* Rigidificador inferior

|  |
| --- |
| Tensão de Von Mises em enrijecedores (ABTN NBR 8800:2008, 5.5.2.3) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image13.wmf | **122.59 N/mm² £ 227.27 N/mm²** | image6.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **s**: Tensão normal |  | **s** | : | *122.59* | N/mm² |
| |  | | --- | | image14.wmf | |  |  |  |  |  |
| **F^**: Esforço de cálculo normal à seção. |  | **F^** | : | *82.83* | kN |
| **L^**: Largura efetiva do lado normal ao esforço. |  | **L^** | : | *53* | mm |
| **t**: Tensão tangencial |  | **t** | : | *-0.01* | N/mm² |
| |  | | --- | | image15.wmf | |  |  |  |  |  |
| **F||**: Esforço de cálculo tangencial à seção. |  | **F||** | : | *0.00* | kN |
| **L||**: Largura efetiva do lado tangencial ao esforço. |  | **L||** | : | *53* | mm |
| **t**: Espessura. |  | **t** | : | *12.7* | mm |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *250.00* | N/mm² |
| **ga1**: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

* Verificações por ligação com elemento ''

* Aba

|  |
| --- |
| Rasgamento do banzo por tração dos enrijecedores (ABTN NBR 8800:2008, 5.5.2.3) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image13.wmf | **2.14 N/mm² £ 313.64 N/mm²** | image6.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **s**: Tensão normal |  | **s** | : | *0.00* | N/mm² |
| **t**: Tensão tangencial |  | **t** | : | *1.24* | N/mm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | N/mm² |
| **ga1**: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

|  |
| --- |
| Esforço transversal no banzo pelos enrijecedores (ABTN NBR 8800:2008, 5.5.2.3) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image13.wmf | **192.59 N/mm² £ 313.64 N/mm²** | image6.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **s**: Tensão normal |  | **s** | : | *192.59* | N/mm² |
| **t**: Tensão tangencial |  | **t** | : | *0.01* | N/mm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | N/mm² |
| **ga1**: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

* Verificações por ligação com elemento 'Viga W 410 x 38.8'

* Aba

|  |
| --- |
| Peça em T equivalente (EN 1993-1-8:2005, 6.2.6.5) |

*Na ausência de Norma Brasileira aplicável, se realiza a comprovação de acordo com o Eurocode 3 Part 1-8.*

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image16.wmf | **0.57 £ 1** | image6.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **FT,Ed**: Valor de cálculo do esforço de tração actuante. |  | **FT,Ed** | : | *77.98* | kN |
| **FT,Rd**: Resistência à tração do banzo de uma peça em T. |  | **FT,Rd** | : | *136.91* | kN |
|  | | | | | |
| O valor de cálculo da resistência à tração do banzo de uma peça em T, FT,Rd, deverá ser considerado igual ao menor dos valores correspondentes aos três modos de rotura possíveis 1, 2 e 3. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| A menor resistência foi obtida na fila: 1. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image17.wmf | |  | | | | |
|  | **FT,Rd** | : | *136.91* | kN |
|  | | | | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Valor de cálculo da resistência Ft,Rd do banzo de uma peça em T. (Quadro 6.2) | | |
|  | Possibilidade de ocorrerem forças de alavanca: | |
| Modo 1 | |  | | --- | | image18.wmf | | FT,1,Rd: 170.58 kN |
| Modo 2 | |  | | --- | | image19.wmf | | FT,2,Rd: 136.91 kN |
| Modo 3 | |  | | --- | | image20.wmf | | FT,3,Rd: 178.21 kN |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| Modo 1: Plastificação total do banzo. |  |  |  |  |  |
| Modo 2: Ruptura dos parafusos com plastificação do banzo. |  |  |  |  |  |
| Modo 3: Ruptura dos parafusos. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image21.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl,1,Rd** | : | *0.94* | kN·m |
|  | | | | |
| |  | | --- | | image22.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl,2,Rd** | : | *0.94* | kN·m |
|  | | | | |
| **åFt,Rd**: Valor total de Ft,Rd para todos os parafusos da peça em T. |  | **åFt,Rd** | : | *178.21* | kN |
| **tf**: Espessura do banzo de uma peça em T. |  | **tf** | : | *11.2* | mm |
| **m**: Distância do eixo do parafuso até a linha de plastificação. |  | **m** | : | *22* | mm |
| **n**: Igual a emin mas n £ 1,25·m. |  | **n** | : | *28* | mm |
| **åleff,1**: Soma dos comprimentos efectivos do modo 1. |  | **åleff,1** | : | *132* | mm |
| **åleff,2**: Soma dos comprimentos efectivos do modo 2. |  | **åleff,2** | : | *132* | mm |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *250.00* | N/mm² |
| **gM0**: Coeficiente de ponderação da resistência (gM0 é igual a ga1 da ABNT NBR 8800:2008). |  | **gM0** | : | *1.10* |  |

|  |
| --- |
| Tração (ABNT NBR 8800:2008, 5.2) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  | | --- | | image23.wmf | |  |  |  |  |  |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **Nt,Sd**: Força axial de tração solicitante de cálculo. |  |  |  |  |  |
| **Nt,Rd**: Força axial de tração resistente de cálculo. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image24.wmf | |  |  |  |  |  |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *250.00* | N/mm² |
| **ga1**: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

| Fila | Área  (mm²) | Nt,Sd  (kN) | Nt,Rd  (kN) | Aprov.  (%) |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Filas exteriores | -- | -- | -- | -- |
| Filas interiores | 870 | 12.52 | 197.72 | 6.33 |
| å |  | 12.52 | 197.72 | 0.06 |

|  |
| --- |
| image25.wmf |

* Alma

|  |
| --- |
| Tração (ABNT NBR 8800:2008, 5.2) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image23.wmf | **77.97 kN £ 167.77 kN** | image6.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **Nt,Sd**: Força axial de tração solicitante de cálculo. |  | **Nt,Sd** | : | *77.97* | kN |
| **Nt,Rd**: Força axial de tração resistente de cálculo. |  | **Nt,Rd** | : | *167.77* | kN |
| |  | | --- | | image24.wmf | |  |  |  |  |  |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **Ag**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **Ag** | : | *535* | mm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | N/mm² |
| **ga1**: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

|  |
| --- |
| Soldas (ABNT NBR 8800:2008) |

**Limitações (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.6)**

**6.2.6.2** *Soldas de filete*

6.2.6.2.1 O tamanho mínimo da perna de uma solda de filete é dado na Tabela 10, em função da parte menos espessa soldada.

6.2.6.2.2 O tamanho máximo da perna de uma solda de filete que pode ser usado ao longo de bordas de partes soldadas é o seguinte:

|  |
| --- |
| a) ao longo de bordas de material com espessura inferior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material; |

|  |
| --- |
| b) ao longo de bordas de material com espessura igual ou superior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material subtraída de 1,5 mm, a não ser que nos desenhos essa solda seja indicada como reforçada durante a execução, de modo a obter a espessura total desejada da garganta. |

6.2.6.2.3 O comprimento efetivo de uma solda de filete, dimensionada para uma solicitação de cálculo qualquer, não pode ser inferior a 4 vezes seu tamanho da perna e a 40 mm.

**AWS D1.1/D1.1M, Especificações complementares.**

**2.3.3.7** *Garganta efetiva de ligações em T.*

A garganta efetiva de ligações em T em ângulos entre 60° e 30° deve ser igual à altura do maior triângulo que se possa inscrever na secção do metal de colaboração, menos o coeficiente de redução Z. A garganta efetiva de ligações em T em ângulos entre 80° e 60° e em ângulos maiores a 100° deve ser considerada igual à altura do maior triângulo que se possa inscrever na secção do metal de colaboração.

**Força resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.5)**

6.2.5.1 A força resistente de cálculo, Fw,Rd, dos diversos tipos de solda está indicada na Tabela 8, na qual Aw é a área efetiva da solda, AMB é a área do metal-base (produto do comprimento da solda pela espessura do metalbase menos espesso), fy é a menor resistência ao escoamento entre os metais-base da junta e fw a resistência mínima à tração do metal da solda.

| **Força resistente de cálculo das soldas, Tabela 8** | | |
| --- | --- | --- |
| Tipo de solda | Tipo de solicitação e orientação | Força resistente de cálculo, Fw,Rd |
| Filete | Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda. | Não precisa ser considerado. |
| Cisalhamento na seção efetiva (a solicitação de cálculo é igual à resultante vetorial de todas as forças de cálculo na junta que produzam tensões normais ou de cisalhamento na superfície de contato das partes ligadas). | |  | | --- | | Metal-base deve atender a 6.5 | | |  |  | | --- | --- | | onde: | image26.wmf | | | |  |  | | --- | --- | | Metal da solda: | image27.wmf | | |
| |  | | --- | | 2) O valor de gw2 é igual a 1,35 para combinações normais, especiais ou de construção e igual a 1,15 para combinações excepcionais. | | | |

**6.2.4 Exigências relativas ao metal da solda e aos procedimentos de soldagem**

6.2.4.1 Na Tabela 7, extraída da AWS D1.1, são apresentados alguns metais-base e eletrodos de solda que podem ser usados em procedimentos de soldagem pré-qualificados. Mais informações podem ser obtidas na AWS D1.1.

| **Limitações (ABNT NBR 8800, 6.2.6)** | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Tipo | P.S. | t  (mm) | Comprimento | | Perna | | |
| lw,min  (mm) | lw  (mm) | dw,min  (mm) | dw,max  (mm) | dw  (mm) |
| Solda do enrijecedor superior às mesas | De ângulo | SMAW | 11 | 40 | 53 | 5 | 11 | 9 |
| Solda do enrijecedor superior à alma | De ângulo | SMAW | 7 | 40 | 357 | 5 | 7 | 5 |
| Solda do enrijecedor inferior às mesas | De ângulo | SMAW | 11 | 40 | 53 | 5 | 11 | 9 |
| Solda do enrijecedor inferior à alma | De ângulo | SMAW | 7 | 40 | 357 | 5 | 7 | 5 |
| Solda do enrijecedor superior às mesas | De ângulo | SMAW | 11 | 40 | 53 | 5 | 11 | 9 |
| Solda do enrijecedor superior à alma | De ângulo | SMAW | 7 | 40 | 357 | 5 | 7 | 5 |
| Solda do enrijecedor inferior às mesas | De ângulo | SMAW | 11 | 40 | 53 | 5 | 11 | 9 |
| Solda do enrijecedor inferior à alma | De ângulo | SMAW | 7 | 40 | 357 | 5 | 7 | 5 |
| *P.S.: Procedimento de soldagen.*  *t: Menor espessura do metal-base.*  *lw: Comprimento total da solda.*  *dw: Perna da solda.* | | | | | | | | |

| **Verificação de cordões de soldadura** | | | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Perna  (mm) | t  (mm) | lw  (mm) | Eléctrode | Metal - base | Cisalhamento (Metal da solda) | | | Tensões (Metal-base) | | | Coeficientes de ponderação | | |
| fw  (N/mm²) | fy  (N/mm²) | Sd  (N/mm²) | Rd  (N/mm²) | Aprov.  (%) | Sd  (N/mm²) | Rd  (N/mm²) | Aprov.  (%) | ga1 | gw1 | gw2 |
| Solda do enrijecedor superior às mesas | 9 | 11 | 53 | E70XX  (485.0) | 250.0 | 91.7 | 215.6 | 42.55 | 64.9 | 136.4 | 47.56 | 1.10 | 1.25 | 1.35 |
| Solda do enrijecedor superior à alma | 5 | 7 | 357 | E70XX  (485.0) | 250.0 | 24.6 | 215.6 | 11.41 | 17.4 | 136.4 | 12.76 | 1.10 | 1.25 | 1.35 |
| Solda do enrijecedor inferior às mesas | 9 | 11 | 53 | E70XX  (485.0) | 250.0 | 122.1 | 215.6 | 56.65 | 86.4 | 136.4 | 63.33 | 1.10 | 1.25 | 1.35 |
| Solda do enrijecedor inferior à alma | 5 | 7 | 357 | E70XX  (485.0) | 250.0 | 32.8 | 215.6 | 15.20 | 23.2 | 136.4 | 16.99 | 1.10 | 1.25 | 1.35 |
| Solda do enrijecedor superior às mesas | 9 | 11 | 53 | E70XX  (485.0) | 250.0 | 91.6 | 215.6 | 42.48 | 64.7 | 136.4 | 47.48 | 1.10 | 1.25 | 1.35 |
| Solda do enrijecedor superior à alma | 5 | 7 | 357 | E70XX  (485.0) | 250.0 | 24.6 | 215.6 | 11.39 | 17.4 | 136.4 | 12.74 | 1.10 | 1.25 | 1.35 |
| Solda do enrijecedor inferior às mesas | 9 | 11 | 53 | E70XX  (485.0) | 250.0 | 122.3 | 215.6 | 56.75 | 86.5 | 136.4 | 63.43 | 1.10 | 1.25 | 1.35 |
| Solda do enrijecedor inferior à alma | 5 | 7 | 357 | E70XX  (485.0) | 250.0 | 32.8 | 215.6 | 15.22 | 23.2 | 136.4 | 17.01 | 1.10 | 1.25 | 1.35 |
| *Sd: Solicitação de cálculo*  *Rd: Resistente de cálculo*  *- Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, não precisa ser considerado.* | | | | | | | | | | | | | | |

2) Viga W 410 x 38.8

* Chapa frontal

|  |
| --- |
| Peça em T equivalente (EN 1993-1-8:2005, 6.2.6.5) |

*Na ausência de Norma Brasileira aplicável, se realiza a comprovação de acordo com o Eurocode 3 Part 1-8.*

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image16.wmf | **0.48 £ 1** | image6.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **FT,Ed**: Valor de cálculo do esforço de tração actuante. |  | **FT,Ed** | : | *77.97* | kN |
| **FT,Rd**: Resistência à tração do banzo de uma peça em T. |  | **FT,Rd** | : | *161.36* | kN |
|  | | | | | |
| O valor de cálculo da resistência à tração do banzo de uma peça em T, FT,Rd, deverá ser considerado igual ao menor dos valores correspondentes aos três modos de rotura possíveis 1, 2 e 3. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| A menor resistência foi obtida na fila: 1. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image17.wmf | |  | | | | |
|  | **FT,Rd** | : | *161.36* | kN |
|  | | | | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Valor de cálculo da resistência Ft,Rd do banzo de uma peça em T. (Quadro 6.2) | | |
|  | Possibilidade de ocorrerem forças de alavanca: | |
| Modo 1 | |  | | --- | | image18.wmf | | FT,1,Rd: 280.88 kN |
| Modo 2 | |  | | --- | | image19.wmf | | FT,2,Rd: 161.36 kN |
| Modo 3 | |  | | --- | | image20.wmf | | FT,3,Rd: 178.21 kN |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| Modo 1: Plastificação total do banzo. |  |  |  |  |  |
| Modo 2: Ruptura dos parafusos com plastificação do banzo. |  |  |  |  |  |
| Modo 3: Ruptura dos parafusos. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image21.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl,1,Rd** | : | *1.98* | kN·m |
|  | | | | |
| |  | | --- | | image22.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl,2,Rd** | : | *1.98* | kN·m |
|  | | | | |
| **åFt,Rd**: Valor total de Ft,Rd para todos os parafusos da peça em T. |  | **åFt,Rd** | : | *178.21* | kN |
| **tf**: Espessura do banzo de uma peça em T. |  | **tf** | : | *12.7* | mm |
| **m**: Distância do eixo do parafuso até a linha de plastificação. |  | **m** | : | *28* | mm |
| **n**: Igual a emin mas n £ 1,25·m. |  | **n** | : | *35* | mm |
| **åleff,1**: Soma dos comprimentos efectivos do modo 1. |  | **åleff,1** | : | *156* | mm |
| **åleff,2**: Soma dos comprimentos efectivos do modo 2. |  | **åleff,2** | : | *156* | mm |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | N/mm² |
| **gM0**: Coeficiente de ponderação da resistência (gM0 é igual a ga1 da ABNT NBR 8800:2008). |  | **gM0** | : | *1.10* |  |

* Aba

|  |
| --- |
| Seções quaisquer submetidas a momento de torção, força axial, momentos fletores e forças cortantes (ABNT NBR 8800:2008, 5.5.2.3) |

A tensão resistente de cálculo para os estados-limites últimos a seguir deve ser igual ou superior à tensão solicitante de cálculo, expressa em termos de tensão normal, sSd, ou de tensão de cisalhamento, tSd, determinadas pela teoria da elasticidade, utilizando-se as combinações de ações de cálculo. Assim:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image28.wmf | **112.02 N/mm² £ 313.64 N/mm²** | image6.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image29.wmf | |  | | | | |
|  | **sSd** | : | *110.37* | N/mm² |
|  | | | | |
| |  | | --- | | image30.wmf | |  | | | | |
|  | **t^,Sd** | : | *11.04* | N/mm² |
|  | | | | |
| |  | | --- | | image31.wmf | |  | | | | |
|  | **t||,Sd** | : | *0.00* | N/mm² |
|  | | | | |
| |  | | --- | | image32.wmf | |  | | | | |
|  | **tt,Sd** | : | *0.00* | N/mm² |
|  | | | | |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **FSd**: Força axial de compressão solicitante. |  | **FSd** | : | *136.66* | kN |
| **VSd**: Força cortante solicitante. |  | **VSd** | : | *0.00* | kN |
| **TSd**: Momento de torção solicitante. |  | **TSd** | : | *0.00* | kN·m |
| **t**: Espessura. |  | **t** | : | *8.8* | mm |
| **J**: Constante de torção. |  | **J** | : | *211250* | mm4 |
| **a**: Ângulo de inclinação. |  | **a** | : | *5.73°* |  |
| **Ac**: Área submetida a força axial. |  | **Ac** | : | *1238* | mm² |
| **Av**: Área submetida a forças cortantes. |  | **Av** | : | *1238* | mm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | N/mm² |
| **ga1**: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

|  |
| --- |
| Tração (ABNT NBR 8800:2008, 5.2) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  | | --- | | image23.wmf | |  |  |  |  |  |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **Nt,Sd**: Força axial de tração solicitante de cálculo. |  |  |  |  |  |
| **Nt,Rd**: Força axial de tração resistente de cálculo. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image24.wmf | |  |  |  |  |  |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | N/mm² |
| **ga1**: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

| Fila | Área  (mm²) | Nt,Sd  (kN) | Nt,Rd  (kN) | Aprov.  (%) |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Filas exteriores | 616 | 6.67 | 193.20 | 3.45 |
| Filas interiores | 616 | 8.73 | 193.20 | 4.52 |
| å |  | 15.40 | 193.20 | 0.08 |

|  |
| --- |
| image33.wmf |

* Alma

|  |
| --- |
| Tração (ABNT NBR 8800:2008, 5.2) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image23.wmf | **77.97 kN £ 195.94 kN** | image6.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **Nt,Sd**: Força axial de tração solicitante de cálculo. |  | **Nt,Sd** | : | *77.97* | kN |
| **Nt,Rd**: Força axial de tração resistente de cálculo. |  | **Nt,Rd** | : | *195.94* | kN |
| |  | | --- | | image24.wmf | |  |  |  |  |  |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **Ag**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **Ag** | : | *625* | mm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | N/mm² |
| **ga1**: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

* Enrijecedores

|  |
| --- |
| Elementos submetidos a cisalhamento (ABNT NBR 8800:2008, 6.5.5) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image34.wmf | **60.70 kN £ 933.04 kN** | image6.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **FSd**: Força cortante solicitante de cálculo. |  | **FSd** | : | *60.70* | kN |
| **FRd**: Força cortante resistente de cálculo. |  | **FRd** | : | *933.04* | kN |

A força cortante resistente de cálculo de elementos de ligação submetidos a cisalhamento deve ser o menor valor obtido, conforme segue:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  | | --- | | image35.wmf | |  |  |  |  |  |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **Ag**: Área bruta da seção transversal. |  | **Ag** | : | *4958* | mm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *345.00* | N/mm² |
| **ga1**: Coeficiente de ponderação da resistência para estados-limites últimos. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

|  |
| --- |
| Soldas (ABNT NBR 8800:2008) |

**Limitações (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.6)**

**6.2.6.2** *Soldas de filete*

6.2.6.2.1 O tamanho mínimo da perna de uma solda de filete é dado na Tabela 10, em função da parte menos espessa soldada.

6.2.6.2.2 O tamanho máximo da perna de uma solda de filete que pode ser usado ao longo de bordas de partes soldadas é o seguinte:

|  |
| --- |
| a) ao longo de bordas de material com espessura inferior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material; |

|  |
| --- |
| b) ao longo de bordas de material com espessura igual ou superior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material subtraída de 1,5 mm, a não ser que nos desenhos essa solda seja indicada como reforçada durante a execução, de modo a obter a espessura total desejada da garganta. |

6.2.6.2.3 O comprimento efetivo de uma solda de filete, dimensionada para uma solicitação de cálculo qualquer, não pode ser inferior a 4 vezes seu tamanho da perna e a 40 mm.

**AWS D1.1/D1.1M, Especificações complementares.**

**2.3.3.7** *Garganta efetiva de ligações em T.*

A garganta efetiva de ligações em T em ângulos entre 60° e 30° deve ser igual à altura do maior triângulo que se possa inscrever na secção do metal de colaboração, menos o coeficiente de redução Z. A garganta efetiva de ligações em T em ângulos entre 80° e 60° e em ângulos maiores a 100° deve ser considerada igual à altura do maior triângulo que se possa inscrever na secção do metal de colaboração.

**Força resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, 6.2.5)**

6.2.5.1 A força resistente de cálculo, Fw,Rd, dos diversos tipos de solda está indicada na Tabela 8, na qual Aw é a área efetiva da solda, AMB é a área do metal-base (produto do comprimento da solda pela espessura do metalbase menos espesso), fy é a menor resistência ao escoamento entre os metais-base da junta e fw a resistência mínima à tração do metal da solda.

| **Força resistente de cálculo das soldas, Tabela 8** | | |
| --- | --- | --- |
| Tipo de solda | Tipo de solicitação e orientação | Força resistente de cálculo, Fw,Rd |
| Penetração total | Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda. | Não precisa ser considerado. |
| Tração ou compressão normal à seção efetiva da solda. | |  |  | | --- | --- | | Metal - base: | image36.wmf | |
| Cisalhamento (soma vetorial) na seção efetiva. | |  |  | | --- | --- | | Metal - base: | image37.wmf | |
| Filete | Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda. | Não precisa ser considerado. |
| Cisalhamento na seção efetiva (a solicitação de cálculo é igual à resultante vetorial de todas as forças de cálculo na junta que produzam tensões normais ou de cisalhamento na superfície de contato das partes ligadas). | |  | | --- | | Metal-base deve atender a 6.5 | | |  |  | | --- | --- | | onde: | image26.wmf | | | |  |  | | --- | --- | | Metal da solda: | image27.wmf | | |
| |  | | --- | | 2) O valor de gw2 é igual a 1,35 para combinações normais, especiais ou de construção e igual a 1,15 para combinações excepcionais. | | | |

**6.2.4 Exigências relativas ao metal da solda e aos procedimentos de soldagem**

6.2.4.1 Na Tabela 7, extraída da AWS D1.1, são apresentados alguns metais-base e eletrodos de solda que podem ser usados em procedimentos de soldagem pré-qualificados. Mais informações podem ser obtidas na AWS D1.1.

| **Limitações (ABNT NBR 8800, 6.2.6)** | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Tipo | P.S. | t  (mm) | Comprimento | | Perna | | | Chanfro  (mm) |
| lw,min  (mm) | lw  (mm) | dw,min  (mm) | dw,max  (mm) | dw  (mm) |
| Solda da aba superior | Em bisel simples | SMAW | 9 | 40 | 140 | -- | -- | -- | 9 |
| Solda da alma | Em bisel simples | SMAW | 6 | 40 | 359 | -- | -- | -- | 6 |
| Solda da aba inferior | Em bisel simples | SMAW | 9 | 40 | 140 | -- | -- | -- | 9 |
| Solda da alma da mísula | Em bisel simples | SMAW | 6 | 40 | 480 | -- | -- | -- | 6 |
| Solda da aba da mísula | Em bisel simples | SMAW | 9 | 44 | 140 | -- | -- | -- | 11 |
| Solda da alma da mísula à aba inferior | Em bisel simples | SMAW | 6 | 40 | 682 | -- | -- | -- | 6 |
| Solda da aba da mísula à aba inferior | De ângulo | SMAW | 9 | 40 | 140 | 5 | 12 | 8 | -- |
| Solda do enrijecedor de reforço do extremo da mísula às abas | Em bisel simples | SMAW | 9 | 52 | 357 | -- | -- | -- | 13 |
| Solda do enrijecedor de reforço do extremo da mísula à alma | Em bisel simples | SMAW | 6 | 52 | 55 | -- | -- | -- | 13 |
| *P.S.: Procedimento de soldagen.*  *t: Menor espessura do metal-base.*  *lw: Comprimento total da solda.*  *dw: Perna da solda.*  *--: A verificação não é necessária.* | | | | | | | | | |

| **Verificação de cordões de soldadura** | | | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Descrição | Perna  (mm) | t  (mm) | lw  (mm) | Eléctrode | Metal - base | Cisalhamento (Metal da solda) | | | Tensões (Metal-base) | | | Coeficientes de ponderação | | |
| fw  (N/mm²) | fy  (N/mm²) | Sd  (N/mm²) | Rd  (N/mm²) | Aprov.  (%) | Sd  (N/mm²) | Rd  (N/mm²) | Aprov.  (%) | ga1 | gw1 | gw2 |
| Solda da aba superior | 9 | 9 | 140 | E70XX  (485.0) | 250.0 | A solda em bisel gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir. | | | | | | | | |
| Solda da alma | 6 | 6 | 359 | E70XX  (485.0) | 250.0 | A solda em bisel gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir. | | | | | | | | |
| Solda da aba inferior | 9 | 9 | 140 | E70XX  (485.0) | 250.0 | A solda em bisel gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir. | | | | | | | | |
| Solda da alma da mísula | 6 | 6 | 480 | E70XX  (485.0) | 250.0 | A solda em bisel gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir. | | | | | | | | |
| Solda da aba da mísula | 11 | 9 | 140 | E70XX  (485.0) | 250.0 | A solda em bisel gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir. | | | | | | | | |
| Solda da alma da mísula à aba inferior | 6 | 6 | 682 | E70XX  (485.0) | 345.0 | A solda em bisel gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir. | | | | | | | | |
| Solda da aba da mísula à aba inferior | 8 | 9 | 140 | E70XX  (485.0) | 345.0 | Não precisa ser considerado. | | | | | | | | |
| Solda do enrijecedor de reforço do extremo da mísula às abas | 13 | 9 | 357 | E70XX  (485.0) | 345.0 | A solda em bisel gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir. | | | | | | | | |
| Solda do enrijecedor de reforço do extremo da mísula à alma | 13 | 6 | 55 | E70XX  (485.0) | 345.0 | A solda em bisel gera um cordão cuja resistência é igual à menor resistência das peças a unir. | | | | | | | | |
| *Sd: Solicitação de cálculo*  *Rd: Resistente de cálculo*  *- Tração ou compressão paralelas ao eixo da solda, não precisa ser considerado.* | | | | | | | | | | | | | | |

|  |
| --- |
| Parafusos (ABNT NBR 8800:2008, 6.3) |

**6.3.3.1** *Tração*

A força de tração resistente de cálculo de um parafuso tracionado ou de uma barra redonda rosqueada tracionada é dada por:

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | image38.wmf | |
| onde: |
| **fub**: Resistência à ruptura do material do parafuso ou barra redonda rosqueada à tração. |
| **Abe**: Área efetiva. |

**6.3.3.2** *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: |
| |  | | --- | | image39.wmf | |
| onde Ab é a área bruta, baseada no diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada, db, dada em 6.3.2.2. |

**6.3.3.3** *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 |
| |  | | --- | | image40.wmf | |
| onde: |
| **Lf**: Distância, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda livre. |
| **db**: Diâmetro do parafuso. |
| **t**: Espessura da parte ligada. |
| **fu**: Resistência à ruptura do aço da parede do furo. |

**6.3.3.4** *Tração e cisalhamento combinados*

Quando ocorrer a ação simultânea de tração e cisalhamento, deve ser atendida a seguinte equação de interação:

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | image41.wmf | |
| onde: |
| **Ft,Sd**: Força de tração solicitante de cálculo por parafuso ou barra redonda rosqueada. |
| **Fv,Sd**: Força de cisalhamento solicitante de cálculo no plano considerado do parafuso ou barra redonda rosqueada. |
| Ft,Rd e Fv,Rd são dados respectivamente em Fv,Rd |
| Alternativamente ao uso da equação da interação, a força de tração solicitante de cálculo (Ft,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 | |  |  | | --- | --- | | image42.wmf | (1) | |
| |  |  | | --- | --- | | image43.wmf | (2) | |
| *(1) Plano de corte passa pela rosca.*  *(2) Plano de corte não passa pela rosca.* | |

**6.3.7** *Pega longa*

Exceto nos casos dos parafusos de alta resistência montados com protensão inicial, quando o comprimento de pega excede 5 db, 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 (db é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada).

**6.3.9** *Espaçamento mínimo entre furos*

A distância entre centros de furos-padrão, alargados ou alongados, não pode ser inferior a 2,7 db, sendo db o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

**6.3.10** *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.

**6.3.11** *Distância mínima de um furo às bordas*

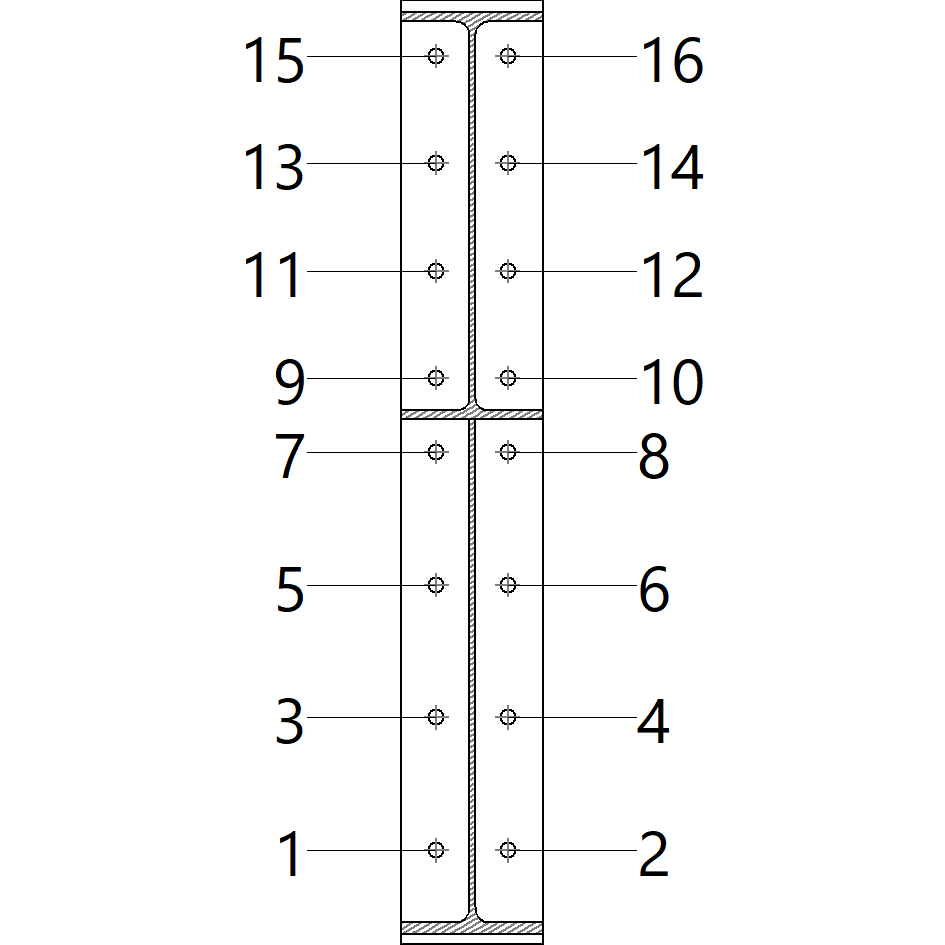
**6.3.11.1** *Furos-padrão*

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 db é o diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada.

| **Tabela 14 - Distância mínima do centro de um furo-padrão à borda** | | |
| --- | --- | --- |
| Diâmetro db | Borda cortada com serra ou tesoura  (mm) | Borda laminada ou cortada a maçarico  (mm) |
| pol |
| 5/8" | 29 | 22 |

**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 constructivas** | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parafuso | Descrição | Diâmetro do furo  (mm) | Distâncias de um furo às bordas | | Distâncias entre furos | |
| x  (mm) | y  (mm) | x  (mm) | y  (mm) |
| 1 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 131 |
| 2 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 131 |
| 3 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 131 |
| 4 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 131 |
| 5 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 131 |
| 6 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 131 |
| 7 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 73 |
| 8 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 73 |
| 9 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 73 |
| 10 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 73 |
| 11 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 105 |
| 12 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 105 |
| 13 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 105 |
| 14 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 105 |
| 15 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 105 |
| 16 | 5/8"x2 1/4", Tipo 1, ASTM A325T | 17.5 | 35 | -- | 70 | 105 |
| *--: Não precisa ser considerado.* | | | | | | |

| **Resistência** | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parafuso | Cisalhamento | | | | Tração | | | | Interação tração e esforço transverso | Aprov. Máx. (%) |
| Verificação | Desfavorável  (kN) | Resistente  (kN) | Aprov.  (%) | Verificação | Desfavorável  (kN) | Resistente  (kN) | Aprov.  (%) | Aprov.  (%) |
| 1 | Seção transversal | 29.972 | 48.384 | 61.95 | Espiga | 50.754 | 89.104 | 56.96 | 61.95 | 61.95 |
| Esmagamento | 29.972 | 142.240 | 21.07 | Punção | 50.754 | 204.617 | 24.80 |
| 2 | Seção transversal | 29.972 | 48.384 | 61.95 | Espiga | 50.754 | 89.104 | 56.96 | 61.95 | 61.95 |
| Esmagamento | 29.972 | 142.240 | 21.07 | Punção | 50.754 | 204.617 | 24.80 |
| 3 | Seção transversal | 3.129 | 48.384 | 6.47 | Espiga | 41.306 | 89.104 | 46.36 | 46.36 | 46.36 |
| Esmagamento | 3.129 | 142.240 | 2.20 | Punção | 41.306 | 204.617 | 20.19 |
| 4 | Seção transversal | 3.129 | 48.384 | 6.47 | Espiga | 41.306 | 89.104 | 46.36 | 46.36 | 46.36 |
| Esmagamento | 3.129 | 142.240 | 2.20 | Punção | 41.306 | 204.617 | 20.19 |
| 5 | Seção transversal | 2.813 | 48.384 | 5.81 | Espiga | 31.777 | 89.104 | 35.66 | 35.66 | 35.66 |
| Esmagamento | 2.813 | 142.240 | 1.98 | Punção | 31.777 | 204.617 | 15.53 |
| 6 | Seção transversal | 2.813 | 48.384 | 5.81 | Espiga | 31.777 | 89.104 | 35.66 | 35.66 | 35.66 |
| Esmagamento | 2.813 | 142.240 | 1.98 | Punção | 31.777 | 204.617 | 15.53 |
| 7 | Seção transversal | 2.813 | 48.384 | 5.81 | Espiga | 22.295 | 89.104 | 25.02 | 25.02 | 25.02 |
| Esmagamento | 2.813 | 142.240 | 1.98 | Punção | 22.295 | 204.617 | 10.90 |
| 8 | Seção transversal | 2.813 | 48.384 | 5.81 | Espiga | 22.294 | 89.104 | 25.02 | 25.02 | 25.02 |
| Esmagamento | 2.813 | 142.240 | 1.98 | Punção | 22.294 | 204.617 | 10.90 |
| 9 | Seção transversal | 2.813 | 48.384 | 5.81 | Espiga | 20.294 | 89.104 | 22.78 | 22.78 | 22.78 |
| Esmagamento | 2.813 | 142.240 | 1.98 | Punção | 20.294 | 204.617 | 9.92 |
| 10 | Seção transversal | 2.813 | 48.384 | 5.81 | Espiga | 20.277 | 89.104 | 22.76 | 22.76 | 22.76 |
| Esmagamento | 2.813 | 142.240 | 1.98 | Punção | 20.277 | 204.617 | 9.91 |
| 11 | Seção transversal | 2.813 | 48.384 | 5.81 | Espiga | 25.958 | 89.104 | 29.13 | 29.13 | 29.13 |
| Esmagamento | 2.813 | 142.240 | 1.98 | Punção | 25.958 | 204.617 | 12.69 |
| 12 | Seção transversal | 2.813 | 48.384 | 5.81 | Espiga | 25.941 | 89.104 | 29.11 | 29.11 | 29.11 |
| Esmagamento | 2.813 | 142.240 | 1.98 | Punção | 25.941 | 204.617 | 12.68 |
| 13 | Seção transversal | 2.813 | 48.384 | 5.81 | Espiga | 31.916 | 89.104 | 35.82 | 35.82 | 35.82 |
| Esmagamento | 2.813 | 142.240 | 1.98 | Punção | 31.916 | 204.617 | 15.60 |
| 14 | Seção transversal | 2.813 | 48.384 | 5.81 | Espiga | 31.898 | 89.104 | 35.80 | 35.80 | 35.80 |
| Esmagamento | 2.813 | 142.240 | 1.98 | Punção | 31.898 | 204.617 | 15.59 |
| 15 | Seção transversal | 28.360 | 48.384 | 58.62 | Espiga | 34.690 | 89.104 | 38.93 | 58.62 | 58.62 |
| Esmagamento | 28.360 | 142.240 | 19.94 | Punção | 34.690 | 204.617 | 16.95 |
| 16 | Seção transversal | 28.360 | 48.384 | 58.62 | Espiga | 34.674 | 89.104 | 38.91 | 58.62 | 58.62 |
| Esmagamento | 28.360 | 142.240 | 19.94 | Punção | 34.674 | 204.617 | 16.95 |

| Rigidez rotacional inicial | Plano xy  (kN·m/rad) | Plano xz  (kN·m/rad) |
| --- | --- | --- |
| Calculada para momentos positivos | 5545.17 | 112429.46 |
| Calculada para momentos negativos | 5545.17 | 101795.68 |

| **Comportamento da ligação para flexão simples no plano xz** |
| --- |
| image45.bmp |

|  |
| --- |
| Relação entre a resistência do banzo da peça em T em modo 1 e modo 3 (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ENV 1993-1-1:1996, Anexo J.3.8) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image46.wmf | **1.24 £ 1.80** | image6.bmp |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  | | --- | | image47.wmf | |  | | | | |
|  | **b** | : | *1.24* |  |
|  | | | | |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **FT,Rd1**: Resistência do banzo da peça em T em modo 1. |  | **FT,Rd1** | : | *221.76* | kN |
| **FT,Rd3**: Resistência do banzo da peça em T em modo 3. |  | **FT,Rd3** | : | *178.21* | kN |

|  |
| --- |
| Valor de cálculo do momento resistente de juntas viga-coluna e de juntas de continuidade (EN 1993-1-8:2005, 6.2.7) |

*Na ausência de Norma Brasileira aplicável, se realiza a comprovação de acordo com o Eurocode 3 Part 1-8.*

O valor de cálculo do momento aplicado, Mj,Ed, deverá satisfazer:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image48.wmf | **0.54 £ 1.0** | image6.bmp |

O valor de cálculo do momento resistente, Mj,Rd, de uma junta viga-coluna com ligação aparafusada e com chapa de extremidade poderá ser determinado a partir de:

|  |
| --- |
| image49.wmf |

|  |
| --- |
| onde: |
| **Ftr,Rd**: Valor de cálculo da resistência à tração efetiva da fiada de parafusos r; |
| **hr**: Distância entre a fiada de parafusos r e o centro de compressão; |
| **r**: Número da linha de parafusos. |

|  |
| --- |
| Capacidade de rotação (Critério de CYPE Ingenieros, baseado em ENV 1993-1-1:1996, Anexo J.3.8) |

Deve satisfazer a condição:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| image50.wmf | **0.28 £ 0.67** | image6.bmp |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **fEd**: Rotação correspondente ao momento solicitante |  | **fEd** | : | *1.42* | mRad |
| **fCd**: Capacidade de rotação da ligação |  | **fCd** | : | *5.03* | mRad |
| |  | | --- | | image51.wmf | |  |  |  |  |  |
| onde: |  |  |  |  |  |
| **h**: Distância entre o centro de compressão e a linha de parafusos |  | **h** | : | *859* | mm |
| **b**: Relação entre a resistência da fila em modo 1 e modo 3 |  | **b** | : | *1.24* |  |

São José dos Campos, 04 de Agosto de 2017

## Análise de Estabilidade Global e Quantitativos

1. DADOS DE OBRA

1.1. Análise da estabilidade global

Número de hipóteses de ação vertical: 4

Número de hipóteses de ação horizontal: 8

O momento de reviramento produzido pelas ações horizontais nas é:

|  | kN·m |
| --- | --- |
| V0(Cpi +0,80) | 224.424 |
| V0(Cpi -0,40) | 224.424 |
| V90(Cpi +0,80) | 589.362 |
| V90(Cpi -0,70) | 594.169 |
| V180(Cpi +0,80) | 224.424 |
| V180(Cpi -0,40) | 253.893 |
| V270(Cpi +0,80) | 589.362 |
| V270(Cpi -0,70) | 594.169 |

O momento por efeito P-delta produzido pelas diferentes hipóteses de carga vertical, sob a atuação simultânea das hipóteses de ações horizontais é:

|  | Peso próprio  kN·m | CP  kN·m | SC-COB  kN·m | PFV  kN·m |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| V0(Cpi +0,80) | 0.410 | 0.372 | 0.673 | 0.404 |
| V0(Cpi -0,40) | 0.410 | 0.373 | 0.674 | 0.404 |
| V90(Cpi +0,80) | 0.418 | 0.349 | 0.464 | 0.279 |
| V90(Cpi -0,70) | 0.477 | 0.408 | 0.583 | 0.350 |
| V180(Cpi +0,80) | 0.412 | 0.374 | 0.676 | 0.406 |
| V180(Cpi -0,40) | 0.455 | 0.417 | 0.753 | 0.452 |
| V270(Cpi +0,80) | 0.416 | 0.462 | 0.939 | 0.564 |
| V270(Cpi -0,70) | 0.477 | 0.523 | 1.060 | 0.636 |

As ações horizontais são incrementadas pela atuação simultânea das ações verticais segundo os seguintes fatores de amplificação (FA):

|  | Peso próprio | CP | SC-COB | PFV |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| V0(Cpi +0,80) | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.002 |
| V0(Cpi -0,40) | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.002 |
| V90(Cpi +0,80) | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.000 |
| V90(Cpi -0,70) | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| V180(Cpi +0,80) | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.002 |
| V180(Cpi -0,40) | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.002 |
| V270(Cpi +0,80) | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.001 |
| V270(Cpi -0,70) | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.001 |

Quando em uma combinação atua uma ação horizontal com um coeficiente de majoração Fv e várias ações verticais com coeficientes de majoração Fg1...Fgn, o coeficiente de majoração da ação horizontal será:

|  |  |
| --- | --- |
|  | 1 |
| Fv (estabilidade global) = Fv· | ————————————————————————— |
|  | 1-(Fg1·FA1+...+Fgn·FAn) |

As relações máximas entre os coeficientes de majoração amplificados e os coeficientes de majoração sem amplificar, para as diferentes hipóteses de ação horizontal são:

|  |  |
| --- | --- |
| V0(Cpi +0,80) | 1.012 |
| V0(Cpi -0,40) | 1.012 |
| V90(Cpi +0,80) | 1.004 |
| V90(Cpi -0,70) | 1.004 |
| V180(Cpi +0,80) | 1.012 |
| V180(Cpi -0,40) | 1.012 |
| V270(Cpi +0,80) | 1.006 |
| V270(Cpi -0,70) | 1.007 |

2. Quantitativos

2.1. Geometria

2.1.1. Barras

2.1.1.1. Tabela resumo

| **Tabela resumo** | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Material | | Série | Perfil | Comprimento | | | Volume | | | Peso | | |
| Tipo | Designação | Perfil  (m) | Série  (m) | Material  (m) | Perfil  (m³) | Série  (m³) | Material  (m³) | Perfil  (kg) | Série  (kg) | Material  (kg) |
|  | A-572 345MPa | I | W 410 x 46.1 | 132.000 |  |  | 0.781 |  |  | 6134.30 |  |  |
|  | W 310 x 23.8 | 52.500 |  |  | 0.161 |  |  | 1265.22 |  |  |
|  | W 410 x 38.8, Simples com mísulas | 150.033 |  |  | 1.030 |  |  | 6212.76 |  |  |
|  | W 410 x 38.8 | 71.065 |  |  | 0.357 |  |  | 2806.02 |  |  |
|  |  |  | 405.597 |  |  | 2.330 |  |  | 16418.31 |  |
|  | R | R 10 | 459.265 |  |  | 0.036 |  |  | 283.15 |  |  |
|  | R 16 | 237.096 |  |  | 0.048 |  |  | 374.22 |  |  |
|  |  |  | 696.362 |  |  | 0.084 |  |  | 657.37 |  |
|  | Perfil I | I 152.00 x 5.90 | 6.000 |  |  | 0.014 |  |  | 111.16 |  |  |
|  |  |  | 6.000 |  |  | 0.014 |  |  | 111.16 |  |
|  |  |  |  |  | 1107.959 |  |  | 2.428 |  |  | 17186.84 |
|  | A-36 250Mpa | R | R 10 | 632.151 |  |  | 0.050 |  |  | 389.74 |  |  |
|  |  |  | 632.151 |  |  | 0.050 |  |  | 389.74 |  |
|  |  |  |  |  | 632.151 |  |  | 0.050 |  |  | 389.74 |
| Aço laminado |  |  |  |  |  | 1740.110 |  |  | 2.478 |  |  | 17576.58 |
|  | SAE1020 | C | C100X50X17X2.00, Caixa dupla soldada | 288.000 |  |  | 0.254 |  |  | 1996.09 |  |  |
|  | C200X75X20X2.25 | 456.000 |  |  | 0.385 |  |  | 3020.85 |  |  |
|  | C75X40X15X2.00 | 162.859 |  |  | 0.056 |  |  | 439.09 |  |  |
|  | C200X75X25X2.66 | 714.000 |  |  | 0.726 |  |  | 5700.46 |  |  |
|  |  |  | 1620.859 |  |  | 1.421 |  |  | 11156.49 |  |
| Aço dobrado |  |  |  |  | 1620.859 |  |  | 1.421 |  |  | 11156.49 |

2.1.1.2. Quantitativos de superfícies

| **Perfis de aço: Quantitativos das superfícies a pintar** | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tipo | Série | Perfil | Superfície unitária  (m²/m) | Comprimento  (m) | Superfície  (m²) |
| Aço laminado | I | W 410 x 46.1 | 1.352 | 132.000 | 178.464 |
| W 310 x 23.8 | 1.003 | 52.500 | 52.647 |
| W 410 x 38.8, Simples com mísulas | 1.412 | 150.033 | 211.915 |
| W 410 x 38.8 | 1.345 | 71.065 | 95.596 |
| R | R 10 | 0.031 | 1091.416 | 34.288 |
| R 16 | 0.050 | 237.096 | 11.918 |
| Perfil I | I 152.00 x 5.90 | 0.632 | 6.000 | 3.793 |
| Subtotal | | | | 588.621 |
| Aço dobrado | C | C100X50X17X2.00, Caixa dupla soldada | 0.402 | 288.000 | 115.769 |
| C200X75X20X2.25 | 0.755 | 456.000 | 344.116 |
| C75X40X15X2.00 | 0.347 | 162.859 | 56.590 |
| C200X75X25X2.66 | 0.770 | 714.000 | 549.810 |
| Subtotal | | | | 1066.284 |
| **Total** | | | | | **1654.905** |

Eng. Felipe Jacob Moraes Pereira

Engenheiro Mecânico

CREA-SP 5069138036-SP