| **ÍNDICE** | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
|  | | | |  |
| 1.- | [DADOS DE OBRA](#REF_HTML:_RC_:1) | | |  |
| 1.1.- | | [Normas consideradas](#REF_HTML:_RC_:1:1) | |  |
| 1.2.- | | [Estados limites](#REF_HTML:_RC_:1:2) | |  |
| 1.2.1.- | | | [Situações de projeto](#REF_HTML:_RC_:1:2:1) |  |
| 1.2.2.- | | | [Combinações](#REF_HTML:_RC_:1:2:2) |  |
|  | | | |  |
| 2.- | [ESTRUTURA](#REF_HTML:_RC_:2) | | |  |
| 2.1.- | | [Geometria](#REF_HTML:_RC_:2:1) | |  |
| 2.1.1.- | | | [Nós](#REF_HTML:_RC_:2:1:1) |  |
| 2.1.2.- | | | [Barras](#REF_HTML:_RC_:2:1:2) |  |
| 2.2.- | | [Cargas](#REF_HTML:_RC_:2:2) | |  |
| 2.2.1.- | | | [Nós](#REF_HTML:_RC_:2:2:1) |  |
| 2.2.2.- | | | [Barras](#REF_HTML:_RC_:2:2:2) |  |
| 2.3.- | | [Resultados](#REF_HTML:_RC_:2:3) | |  |
| 2.3.1.- | | | [Nós](#REF_HTML:_RC_:2:3:1) |  |
| 2.3.2.- | | | [Barras](#REF_HTML:_RC_:2:3:2) |  |

1.- DADOS DE OBRA

1.1.- Normas consideradas

Aços laminados e soldados: ABNT NBR 8800:2008

**Categoria de uso:** Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens

1.2.- Estados limites

|  |  |
| --- | --- |
| E.L.U. Aço laminado | Cópia de Aço laminado - NBR 8800: 2008 |
| Deslocamentos | Ações características |

1.2.1.- Situações de projeto

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

**- Com coeficientes de combinação**

image5.wmf

**- Sem coeficientes de combinação**

image6.wmf

- Onde:

|  |  |
| --- | --- |
| Gk | Ação permanente |
| Pk | Acção de pré-esforço |
| Qk | Ação variável |
| gG | Coeficiente parcial de segurança das ações permanentes |
| gP | Coeficiente parcial de segurança da acção de pré-esforço |
| gQ,1 | Coeficiente parcial de segurança da ação variável principal |
| gQ,i | Coeficiente parcial de segurança das ações variáveis de acompanhamento |
| yp,1 | Coeficiente de combinação da ação variável principal |
| ya,i | Coeficiente de combinação das ações variáveis de acompanhamento |

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

**E.L.U. Aço laminado: ABNT NBR 8800:2008**

| **Cópia de Normal** | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Coeficientes parciais de segurança (g) | | Coeficientes de combinação (y) | |
| Favorável | Desfavorável | Principal (yp) | Acompanhamento (ya) |
| Permanente (G) | 1.000 | 1.250 | - | - |
| Sobrecarga (Q) | 0.000 | 1.500 | 1.000 | 0.500 |

**Deslocamentos**

| **Ações variáveis sem sismo** | | |
| --- | --- | --- |
|  | Coeficientes parciais de segurança (g) | |
| Favorável | Desfavorável |
| Permanente (G) | 1.000 | 1.000 |
| Sobrecarga (Q) | 0.000 | 1.000 |

1.2.2.- Combinações

* **Nomes das ações**

|  |  |
| --- | --- |
| PP | Peso próprio |
| SC | SC |

* **E.L.U. Aço laminado**

| Comb. | PP | SC |
| --- | --- | --- |
| 1 | 1.000 |  |
| 2 | 1.250 |  |
| 3 | 1.000 | 1.500 |
| 4 | 1.250 | 1.500 |

* **Deslocamentos**

| Comb. | PP | SC |
| --- | --- | --- |
| 1 | 1.000 |  |
| 2 | 1.000 | 1.000 |

2.- ESTRUTURA

2.1.- Geometria

**2.1.1.- Nós**

Referências:

Dx, Dy, Dz: Deslocamentos prescritos em eixos globais.

qx, qy, qz: Rotações prescritas em eixos globais.

Cada grau de liberdade marca-se com 'X' se estiver restringido e, caso contrário, com '-'.

| **Nós** | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Referência | Coordenadas | | | Vínculo c/ exterior | | | | | | Vinculação interna |
| X  (m) | Y  (m) | Z  (m) | Dx | Dy | Dz | qx | qy | qz |
| N1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | X | X | X | - | - | - | Engastado |
| N2 | 0.000 | 0.000 | 2.500 | - | - | - | - | - | - | Engastado |
| N3 | 4.000 | 0.000 | 2.500 | - | - | - | - | - | - | Engastado |
| N4 | 4.000 | 0.000 | 0.000 | X | X | X | - | - | - | Engastado |
| N5 | 2.000 | 0.000 | 2.500 | - | - | - | - | - | - | Engastado |

2.1.2.- Barras

2.1.2.1.- Materiais utilizados

| **Materiais utilizados** | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Material | | E  (kgf/cm²) | n | G  (kgf/cm²) | fy  (kgf/cm²) | a·t  (m/m°C) | g  (t/m³) |
| Tipo | Designação |
| Aço laminado | A-572 345MPa | 2038736.0 | 0.300 | 784913.4 | 3516.8 | 0.000012 | 7.850 |
| *Notação:*  *E: Módulo de elasticidade*  *n: Módulo de poisson*  *G: Módulo de corte*  *fy: Limite elástico*  *a·t: Coeficiente de dilatação*  *g: Peso específico* | | | | | | | |

2.1.2.2.- Descrição

| **Descrição** | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Material | | Barra  (Ni/Nf) | Peça  (Ni/Nf) | Perfil(Série) | Comprimento  (m) | bxy | bxz | LbSup.  (m) | LbInf.  (m) |
| Tipo | Designação |
| Aço laminado | A-572 345MPa | N1/N2 | N1/N2 | W 150 x 37.1 (H) | 2.500 | 1.00 | 1.00 | 2.500 | 2.500 |
|  |  | N2/N5 | N2/N3 | W 250 x 44.8 (I) | 2.000 | 2.00 | 2.00 | 4.000 | 4.000 |
|  |  | N5/N3 | N2/N3 | W 250 x 44.8 (I) | 2.000 | 2.00 | 2.00 | 4.000 | 4.000 |
|  |  | N4/N3 | N4/N3 | W 150 x 37.1 (H) | 2.500 | 1.00 | 1.00 | 2.500 | 2.500 |
| *Notação:*  *Ni: Nó inicial*  *Nf: Nó final*  *bxy: Coeficiente de flambagem no plano 'XY'*  *bxz: Coeficiente de flambagem no plano 'XZ'*  *LbSup.: Espaçamento entre travamentos do banzo superior*  *LbInf.: Espaçamento entre travamentos do banzo inferior* | | | | | | | | | |

2.1.2.3.- Características mecânicas

| **Tipos de peça** | |
| --- | --- |
| Ref. | Peças |
| 1 | N1/N2 e N4/N3 |
| 2 | N2/N3 |

| **Características mecânicas** | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Material | | Ref. | Descrição | A  (cm²) | Avy  (cm²) | Avz  (cm²) | Iyy  (cm4) | Izz  (cm4) | It  (cm4) |
| Tipo | Designação |
| Aço laminado | A-572 345MPa | 1 | W 150 x 37.1, (H) | 47.80 | 26.80 | 10.12 | 2244.00 | 707.00 | 20.58 |
|  |  | 2 | W 250 x 44.8, (I) | 57.60 | 28.86 | 16.42 | 7158.00 | 704.00 | 27.14 |
| *Notação:*  *Ref.: Referência*  *A: Área da seção transversal*  *Avy: Área de esforço cortante da seção segundo o eixo local 'Y'*  *Avz: Área de esforço cortante da seção segundo o eixo local 'Z'*  *Iyy: Inércia da seção em torno do eixo local 'Y'*  *Izz: Inércia da seção em torno do eixo local 'Z'*  *It: Inércia à torção*  *As características mecânicas das peças correspondem à seção no ponto médio das mesmas.* | | | | | | | | | |

2.1.2.4.- Tabela de ferro

| **Tabela de ferro** | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Material | | Peça  (Ni/Nf) | Perfil(Série) | Comprimento  (m) | Volume  (m³) | Peso  (kg) |
| Tipo | Designação |
| Aço laminado | A-572 345MPa | N1/N2 | W 150 x 37.1 (H) | 2.500 | 0.012 | 93.81 |
|  |  | N2/N3 | W 250 x 44.8 (I) | 4.000 | 0.023 | 180.86 |
|  |  | N4/N3 | W 150 x 37.1 (H) | 2.500 | 0.012 | 93.81 |
| *Notação:*  *Ni: Nó inicial*  *Nf: Nó final* | | | | | | |

2.1.2.5.- 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 | H | W 150 x 37.1 | 5.000 |  |  | 0.024 |  |  | 187.61 |  |  |
|  |  |  | 5.000 |  |  | 0.024 |  |  | 187.61 |  |
|  | I | W 250 x 44.8 | 4.000 |  |  | 0.023 |  |  | 180.86 |  |  |
|  |  |  | 4.000 |  |  | 0.023 |  |  | 180.86 |  |
| Aço laminado |  |  |  |  | 9.000 |  |  | 0.047 |  |  | 368.48 |

2.1.2.6.- Quantitativos de superfícies

| **Aço laminado: Quantitativos das superfícies a pintar** | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Série | Perfil | Superfície unitária  (m²/m) | Comprimento  (m) | Superfície  (m²) |
| H | W 150 x 37.1 | 0.924 | 5.000 | 4.619 |
| I | W 250 x 44.8 | 1.109 | 4.000 | 4.435 |
| **Total** | | | | **9.054** |

2.2.- Cargas

2.2.1.- Nós

| **Cargas em nós** | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Referência | Hipótese | Cargas concentradas  (t) | Direção | | |
| X | Y | Z |
| N5 | SC | 15.000 | 0.000 | 0.000 | -1.000 |

**2.2.2.- Barras**

Referências:

'P1', 'P2':

* Cargas pontuais, uniformes, em faixa e momentos pontuais: 'P1' é o valor da carga. 'P2' não se utiliza.
* Cargas trapezoidais: 'P1' é o valor da carga no ponto onde começa (L1) e 'P2' é o valor da carga no ponto onde termina (L2).
* Cargas triangulares: 'P1' é o valor máximo da carga. 'P2' não se utiliza.
* Incrementos de temperatura: 'P1' e 'P2' são os valores da temperatura nas faces exteriores ou paramentos da peça. A orientação da variação do incremento de temperatura sobre a seção transversal dependerá da direção selecionada.

'L1', 'L2':

* Cargas e momentos pontuais: 'L1' é a distância entre o nó inicial da barra e a posição onde se aplica a carga. 'L2' não se utiliza.
* Cargas trapezoidais, em faixa, e triangulares: 'L1' é a distância entre o nó inicial da barra e a posição onde começa a carga, 'L2' é a distância entre o nó inicial da barra e a posição onde termina a carga.

Unidades:

* Cargas concentradas: t
* Momentos pontuais: t·m.
* Cargas uniformes, em faixa, triangulares e trapezoidais: t/m.
* Incrementos de temperatura: °C.

| **Cargas em barras** | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Barra | Hipótese | Tipo | Valores | | Posição | | Direção | | | |
| P1 | P2 | L1  (m) | L2  (m) | Eixos | X | Y | Z |
| N1/N2 | Peso próprio | Uniforme | 0.038 | - | - | - | Globais | 0.000 | 0.000 | -1.000 |
| N2/N5 | Peso próprio | Uniforme | 0.045 | - | - | - | Globais | 0.000 | 0.000 | -1.000 |
| N5/N3 | Peso próprio | Uniforme | 0.045 | - | - | - | Globais | 0.000 | 0.000 | -1.000 |
| N4/N3 | Peso próprio | Uniforme | 0.038 | - | - | - | Globais | 0.000 | 0.000 | -1.000 |

2.3.- Resultados

2.3.1.- Nós

***2.3.1.1.- Deslocamentos***

Referências:

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

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

2.3.1.1.1.- Hipótese

| **Deslocamentos dos nós, por hipóteses/ações** | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Referência | Descrição | Deslocamentos em eixos globais | | | | | |
| Dx  (mm) | Dy  (mm) | Dz  (mm) | Gx  (mRad) | Gy  (mRad) | Gz  (mRad) |
| N1 | Peso próprio | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -0.022 | 0.000 |
|  | SC | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -2.716 | 0.000 |
| N2 | Peso próprio | 0.000 | 0.000 | -0.004 | 0.000 | 0.048 | 0.000 |
|  | SC | 0.022 | 0.000 | -0.192 | 0.000 | 5.938 | 0.000 |
| N3 | Peso próprio | 0.000 | 0.000 | -0.004 | 0.000 | -0.048 | 0.000 |
|  | SC | -0.022 | 0.000 | -0.192 | 0.000 | -5.938 | 0.000 |
| N4 | Peso próprio | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.022 | 0.000 |
|  | SC | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2.716 | 0.000 |
| N5 | Peso próprio | 0.000 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  | SC | 0.000 | 0.000 | -10.722 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

2.3.1.1.2.- Combinações

| **Deslocamentos dos nós, por combinação** | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Referência | Combinação | | Deslocamentos em eixos globais | | | | | |
| Tipo | Descrição | Dx  (mm) | Dy  (mm) | Dz  (mm) | Gx  (mRad) | Gy  (mRad) | Gz  (mRad) |
| N1 | Deslocamentos | PP | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -0.022 | 0.000 |
|  |  | PP+SC | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -2.738 | 0.000 |
| N2 | Deslocamentos | PP | 0.000 | 0.000 | -0.004 | 0.000 | 0.048 | 0.000 |
|  |  | PP+SC | 0.022 | 0.000 | -0.196 | 0.000 | 5.986 | 0.000 |
| N3 | Deslocamentos | PP | 0.000 | 0.000 | -0.004 | 0.000 | -0.048 | 0.000 |
|  |  | PP+SC | -0.022 | 0.000 | -0.196 | 0.000 | -5.986 | 0.000 |
| N4 | Deslocamentos | PP | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.022 | 0.000 |
|  |  | PP+SC | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2.738 | 0.000 |
| N5 | Deslocamentos | PP | 0.000 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | PP+SC | 0.000 | 0.000 | -10.801 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

2.3.1.1.3.- Envoltórias

| **Envoltória dos deslocamentos em nós** | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Referência | Combinação | | Deslocamentos em eixos globais | | | | | |
| Tipo | Descrição | Dx  (mm) | Dy  (mm) | Dz  (mm) | Gx  (mRad) | Gy  (mRad) | Gz  (mRad) |
| N1 | Deslocamentos | Valor mínimo da envoltória | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -2.738 | 0.000 |
|  |  | Valor máximo da envoltória | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -0.022 | 0.000 |
| N2 | Deslocamentos | Valor mínimo da envoltória | 0.000 | 0.000 | -0.196 | 0.000 | 0.048 | 0.000 |
|  |  | Valor máximo da envoltória | 0.022 | 0.000 | -0.004 | 0.000 | 5.986 | 0.000 |
| N3 | Deslocamentos | Valor mínimo da envoltória | -0.022 | 0.000 | -0.196 | 0.000 | -5.986 | 0.000 |
|  |  | Valor máximo da envoltória | 0.000 | 0.000 | -0.004 | 0.000 | -0.048 | 0.000 |
| N4 | Deslocamentos | Valor mínimo da envoltória | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.022 | 0.000 |
|  |  | Valor máximo da envoltória | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 2.738 | 0.000 |
| N5 | Deslocamentos | Valor mínimo da envoltória | 0.000 | 0.000 | -10.801 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Valor máximo da envoltória | 0.000 | 0.000 | -0.079 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

***2.3.1.2.- Reações***

Referências:

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

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

2.3.1.2.1.- Hipótese

| **Reações nos nós, por hipóteses/ações** | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Referência | Descrição | Reações em eixos globais | | | | | |
| Rx  (t) | Ry  (t) | Rz  (t) | Mx  (t·m) | My  (t·m) | Mz  (t·m) |
| N1 | Peso próprio | 0.010 | 0.000 | 0.184 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  | SC | 1.267 | 0.000 | 7.500 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| N4 | Peso próprio | -0.010 | 0.000 | 0.184 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  | SC | -1.267 | 0.000 | 7.500 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

2.3.1.2.2.- Combinações

| **Reações nos nós, por combinação** | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Referência | Combinação | | Reações em eixos globais | | | | | |
| Tipo | Descrição | Rx  (t) | Ry  (t) | Rz  (t) | Mx  (t·m) | My  (t·m) | Mz  (t·m) |
| N1 | Concreto em fundações | PP | 0.010 | 0.000 | 0.184 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | 1.4·PP | 0.014 | 0.000 | 0.258 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | PP+1.4·SC | 1.784 | 0.000 | 10.684 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | 1.4·PP+1.4·SC | 1.788 | 0.000 | 10.758 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  | Tensões sobre o terreno | PP | 0.010 | 0.000 | 0.184 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | PP+SC | 1.277 | 0.000 | 7.684 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| N4 | Concreto em fundações | PP | -0.010 | 0.000 | 0.184 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | 1.4·PP | -0.014 | 0.000 | 0.258 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | PP+1.4·SC | -1.784 | 0.000 | 10.684 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | 1.4·PP+1.4·SC | -1.788 | 0.000 | 10.758 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  | Tensões sobre o terreno | PP | -0.010 | 0.000 | 0.184 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | PP+SC | -1.277 | 0.000 | 7.684 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

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

2.3.1.2.3.- Envoltórias

| **Envoltórias das reações em nós** | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Referência | Combinação | | Reações em eixos globais | | | | | |
| Tipo | Descrição | Rx  (t) | Ry  (t) | Rz  (t) | Mx  (t·m) | My  (t·m) | Mz  (t·m) |
| N1 | Concreto em fundações | Valor mínimo da envoltória | 0.010 | 0.000 | 0.184 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Valor máximo da envoltória | 1.788 | 0.000 | 10.758 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  | Tensões sobre o terreno | Valor mínimo da envoltória | 0.010 | 0.000 | 0.184 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Valor máximo da envoltória | 1.277 | 0.000 | 7.684 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| N4 | Concreto em fundações | Valor mínimo da envoltória | -1.788 | 0.000 | 0.184 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Valor máximo da envoltória | -0.010 | 0.000 | 10.758 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  | Tensões sobre o terreno | Valor mínimo da envoltória | -1.277 | 0.000 | 0.184 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Valor máximo da envoltória | -0.010 | 0.000 | 7.684 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

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

2.3.2.- Barras

***2.3.2.1.- Esforços***

Referências:

N: Esforço axial (t)

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

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

Mt: Momento torsor (t·m)

My: Momento fletor no plano 'XZ' (rotação da seção em relação ao eixo local 'Y' da barra). (t·m)

Mz: Momento fletor no plano 'XY' (rotação da seção em relação ao eixo local 'Z' da barra). (t·m)

2.3.2.1.1.- Hipótese

| **Esforços em barras, por hipóteses/ações** | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Barra | Hipótese | Esforço | Posições na barra | | | | | | | | |
| 0.000 m | 0.208 m | 0.625 m | 0.833 m | 1.250 m | 1.667 m | 1.875 m | 2.292 m | 2.500 m |
| N1/N2 | Peso próprio | N | -0.184 | -0.176 | -0.161 | -0.153 | -0.137 | -0.122 | -0.114 | -0.098 | -0.090 |
|  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Vz | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 |
|  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | My | 0.000 | -0.002 | -0.006 | -0.008 | -0.013 | -0.017 | -0.019 | -0.023 | -0.025 |
|  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  | SC | N | -7.500 | -7.500 | -7.500 | -7.500 | -7.500 | -7.500 | -7.500 | -7.500 | -7.500 |
|  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Vz | 1.267 | 1.267 | 1.267 | 1.267 | 1.267 | 1.267 | 1.267 | 1.267 | 1.267 |
|  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | My | 0.000 | -0.264 | -0.792 | -1.056 | -1.584 | -2.112 | -2.376 | -2.903 | -3.167 |
|  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| **Esforços em barras, por hipóteses/ações** | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Barra | Hipótese | Esforço | Posições na barra | | | | | | | | |
| 0.000 m | 0.200 m | 0.400 m | 0.800 m | 1.000 m | 1.200 m | 1.600 m | 1.800 m | 2.000 m |
| N2/N5 | Peso próprio | N | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 |
|  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Vz | -0.090 | -0.081 | -0.072 | -0.054 | -0.045 | -0.036 | -0.018 | -0.009 | 0.000 |
|  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | My | -0.025 | -0.008 | 0.007 | 0.032 | 0.042 | 0.051 | 0.061 | 0.064 | 0.065 |
|  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  | SC | N | -1.267 | -1.267 | -1.267 | -1.267 | -1.267 | -1.267 | -1.267 | -1.267 | -1.267 |
|  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Vz | -7.500 | -7.500 | -7.500 | -7.500 | -7.500 | -7.500 | -7.500 | -7.500 | -7.500 |
|  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | My | -3.167 | -1.667 | -0.167 | 2.833 | 4.333 | 5.833 | 8.833 | 10.333 | 11.833 |
|  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| **Esforços em barras, por hipóteses/ações** | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Barra | Hipótese | Esforço | Posições na barra | | | | | | | | |
| 0.000 m | 0.200 m | 0.400 m | 0.800 m | 1.000 m | 1.200 m | 1.600 m | 1.800 m | 2.000 m |
| N5/N3 | Peso próprio | N | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 |
|  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Vz | 0.000 | 0.009 | 0.018 | 0.036 | 0.045 | 0.054 | 0.072 | 0.081 | 0.090 |
|  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | My | 0.065 | 0.064 | 0.061 | 0.051 | 0.042 | 0.032 | 0.007 | -0.008 | -0.025 |
|  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  | SC | N | -1.267 | -1.267 | -1.267 | -1.267 | -1.267 | -1.267 | -1.267 | -1.267 | -1.267 |
|  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Vz | 7.500 | 7.500 | 7.500 | 7.500 | 7.500 | 7.500 | 7.500 | 7.500 | 7.500 |
|  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | My | 11.833 | 10.333 | 8.833 | 5.833 | 4.333 | 2.833 | -0.167 | -1.667 | -3.167 |
|  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| **Esforços em barras, por hipóteses/ações** | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Barra | Hipótese | Esforço | Posições na barra | | | | | | | | |
| 0.000 m | 0.208 m | 0.625 m | 0.833 m | 1.250 m | 1.667 m | 1.875 m | 2.292 m | 2.500 m |
| N4/N3 | Peso próprio | N | -0.184 | -0.176 | -0.161 | -0.153 | -0.137 | -0.122 | -0.114 | -0.098 | -0.090 |
|  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Vz | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 |
|  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | My | 0.000 | 0.002 | 0.006 | 0.008 | 0.013 | 0.017 | 0.019 | 0.023 | 0.025 |
|  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  | SC | N | -7.500 | -7.500 | -7.500 | -7.500 | -7.500 | -7.500 | -7.500 | -7.500 | -7.500 |
|  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Vz | -1.267 | -1.267 | -1.267 | -1.267 | -1.267 | -1.267 | -1.267 | -1.267 | -1.267 |
|  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | My | 0.000 | 0.264 | 0.792 | 1.056 | 1.584 | 2.112 | 2.376 | 2.903 | 3.167 |
|  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

2.3.2.1.2.- Combinações

| **Esforços em barras, por combinação** | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Barra | Combinação | | Esforço | Posições na barra | | | | | | | | |
| Tipo | Descrição | 0.000 m | 0.208 m | 0.625 m | 0.833 m | 1.250 m | 1.667 m | 1.875 m | 2.292 m | 2.500 m |
| N1/N2 | Aço laminado | PP | N | -0.184 | -0.176 | -0.161 | -0.153 | -0.137 | -0.122 | -0.114 | -0.098 | -0.090 |
|  |  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | Vz | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 |
|  |  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | My | 0.000 | -0.002 | -0.006 | -0.008 | -0.013 | -0.017 | -0.019 | -0.023 | -0.025 |
|  |  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | 1.25·PP | N | -0.230 | -0.221 | -0.201 | -0.191 | -0.172 | -0.152 | -0.142 | -0.123 | -0.113 |
|  |  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | Vz | 0.013 | 0.013 | 0.013 | 0.013 | 0.013 | 0.013 | 0.013 | 0.013 | 0.013 |
|  |  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | My | 0.000 | -0.003 | -0.008 | -0.011 | -0.016 | -0.021 | -0.024 | -0.029 | -0.032 |
|  |  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | PP+1.5·SC | N | -11.434 | -11.426 | -11.411 | -11.403 | -11.387 | -11.372 | -11.364 | -11.348 | -11.340 |
|  |  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | Vz | 1.911 | 1.911 | 1.911 | 1.911 | 1.911 | 1.911 | 1.911 | 1.911 | 1.911 |
|  |  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | My | 0.000 | -0.398 | -1.194 | -1.592 | -2.388 | -3.184 | -3.582 | -4.379 | -4.777 |
|  |  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | 1.25·PP+1.5·SC | N | -11.480 | -11.471 | -11.451 | -11.441 | -11.422 | -11.402 | -11.392 | -11.373 | -11.363 |
|  |  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | Vz | 1.913 | 1.913 | 1.913 | 1.913 | 1.913 | 1.913 | 1.913 | 1.913 | 1.913 |
|  |  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | My | 0.000 | -0.399 | -1.196 | -1.594 | -2.391 | -3.189 | -3.587 | -4.384 | -4.783 |
|  |  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| **Esforços em barras, por combinação** | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Barra | Combinação | | Esforço | Posições na barra | | | | | | | | |
| Tipo | Descrição | 0.000 m | 0.200 m | 0.400 m | 0.800 m | 1.000 m | 1.200 m | 1.600 m | 1.800 m | 2.000 m |
| N2/N5 | Aço laminado | PP | N | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 |
|  |  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | Vz | -0.090 | -0.081 | -0.072 | -0.054 | -0.045 | -0.036 | -0.018 | -0.009 | 0.000 |
|  |  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | My | -0.025 | -0.008 | 0.007 | 0.032 | 0.042 | 0.051 | 0.061 | 0.064 | 0.065 |
|  |  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | 1.25·PP | N | -0.013 | -0.013 | -0.013 | -0.013 | -0.013 | -0.013 | -0.013 | -0.013 | -0.013 |
|  |  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | Vz | -0.113 | -0.102 | -0.090 | -0.068 | -0.057 | -0.045 | -0.023 | -0.011 | 0.000 |
|  |  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | My | -0.032 | -0.010 | 0.009 | 0.041 | 0.053 | 0.063 | 0.077 | 0.080 | 0.081 |
|  |  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | PP+1.5·SC | N | -1.911 | -1.911 | -1.911 | -1.911 | -1.911 | -1.911 | -1.911 | -1.911 | -1.911 |
|  |  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | Vz | -11.340 | -11.331 | -11.322 | -11.304 | -11.295 | -11.286 | -11.268 | -11.259 | -11.250 |
|  |  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | My | -4.777 | -2.509 | -0.244 | 4.281 | 6.541 | 8.799 | 13.310 | 15.563 | 17.814 |
|  |  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | 1.25·PP+1.5·SC | N | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 |
|  |  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | Vz | -11.363 | -11.352 | -11.340 | -11.318 | -11.307 | -11.295 | -11.273 | -11.261 | -11.250 |
|  |  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | My | -4.783 | -2.511 | -0.242 | 4.289 | 6.552 | 8.812 | 13.326 | 15.579 | 17.830 |
|  |  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| **Esforços em barras, por combinação** | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Barra | Combinação | | Esforço | Posições na barra | | | | | | | | |
| Tipo | Descrição | 0.000 m | 0.200 m | 0.400 m | 0.800 m | 1.000 m | 1.200 m | 1.600 m | 1.800 m | 2.000 m |
| N5/N3 | Aço laminado | PP | N | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 |
|  |  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | Vz | 0.000 | 0.009 | 0.018 | 0.036 | 0.045 | 0.054 | 0.072 | 0.081 | 0.090 |
|  |  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | My | 0.065 | 0.064 | 0.061 | 0.051 | 0.042 | 0.032 | 0.007 | -0.008 | -0.025 |
|  |  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | 1.25·PP | N | -0.013 | -0.013 | -0.013 | -0.013 | -0.013 | -0.013 | -0.013 | -0.013 | -0.013 |
|  |  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | Vz | 0.000 | 0.011 | 0.023 | 0.045 | 0.057 | 0.068 | 0.090 | 0.102 | 0.113 |
|  |  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | My | 0.081 | 0.080 | 0.077 | 0.063 | 0.053 | 0.041 | 0.009 | -0.010 | -0.032 |
|  |  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | PP+1.5·SC | N | -1.911 | -1.911 | -1.911 | -1.911 | -1.911 | -1.911 | -1.911 | -1.911 | -1.911 |
|  |  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | Vz | 11.250 | 11.259 | 11.268 | 11.286 | 11.295 | 11.304 | 11.322 | 11.331 | 11.340 |
|  |  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | My | 17.814 | 15.563 | 13.310 | 8.799 | 6.541 | 4.281 | -0.244 | -2.509 | -4.777 |
|  |  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | 1.25·PP+1.5·SC | N | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 |
|  |  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | Vz | 11.250 | 11.261 | 11.273 | 11.295 | 11.307 | 11.318 | 11.340 | 11.352 | 11.363 |
|  |  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | My | 17.830 | 15.579 | 13.326 | 8.812 | 6.552 | 4.289 | -0.242 | -2.511 | -4.783 |
|  |  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| **Esforços em barras, por combinação** | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Barra | Combinação | | Esforço | Posições na barra | | | | | | | | |
| Tipo | Descrição | 0.000 m | 0.208 m | 0.625 m | 0.833 m | 1.250 m | 1.667 m | 1.875 m | 2.292 m | 2.500 m |
| N4/N3 | Aço laminado | PP | N | -0.184 | -0.176 | -0.161 | -0.153 | -0.137 | -0.122 | -0.114 | -0.098 | -0.090 |
|  |  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | Vz | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 |
|  |  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | My | 0.000 | 0.002 | 0.006 | 0.008 | 0.013 | 0.017 | 0.019 | 0.023 | 0.025 |
|  |  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | 1.25·PP | N | -0.230 | -0.221 | -0.201 | -0.191 | -0.172 | -0.152 | -0.142 | -0.123 | -0.113 |
|  |  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | Vz | -0.013 | -0.013 | -0.013 | -0.013 | -0.013 | -0.013 | -0.013 | -0.013 | -0.013 |
|  |  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | My | 0.000 | 0.003 | 0.008 | 0.011 | 0.016 | 0.021 | 0.024 | 0.029 | 0.032 |
|  |  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | PP+1.5·SC | N | -11.434 | -11.426 | -11.411 | -11.403 | -11.387 | -11.372 | -11.364 | -11.348 | -11.340 |
|  |  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | Vz | -1.911 | -1.911 | -1.911 | -1.911 | -1.911 | -1.911 | -1.911 | -1.911 | -1.911 |
|  |  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | My | 0.000 | 0.398 | 1.194 | 1.592 | 2.388 | 3.184 | 3.582 | 4.379 | 4.777 |
|  |  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | 1.25·PP+1.5·SC | N | -11.480 | -11.471 | -11.451 | -11.441 | -11.422 | -11.402 | -11.392 | -11.373 | -11.363 |
|  |  |  | Vy | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | Vz | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 |
|  |  |  | Mt | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  |  | My | 0.000 | 0.399 | 1.196 | 1.594 | 2.391 | 3.189 | 3.587 | 4.384 | 4.783 |
|  |  |  | Mz | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

2.3.2.1.3.- Envoltórias

| **Envoltórias dos esforços em barras** | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Barra | Tipo de combinação | Esforço | Posições na barra | | | | | | | | |
| 0.000 m | 0.208 m | 0.625 m | 0.833 m | 1.250 m | 1.667 m | 1.875 m | 2.292 m | 2.500 m |
| N1/N2 | Aço laminado | Nmín | -11.480 | -11.471 | -11.451 | -11.441 | -11.422 | -11.402 | -11.392 | -11.373 | -11.363 |
|  |  | Nmáx | -0.184 | -0.176 | -0.161 | -0.153 | -0.137 | -0.122 | -0.114 | -0.098 | -0.090 |
|  |  | Vymín | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Vymáx | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Vzmín | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 |
|  |  | Vzmáx | 1.913 | 1.913 | 1.913 | 1.913 | 1.913 | 1.913 | 1.913 | 1.913 | 1.913 |
|  |  | Mtmín | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Mtmáx | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Mymín | 0.000 | -0.399 | -1.196 | -1.594 | -2.391 | -3.189 | -3.587 | -4.384 | -4.783 |
|  |  | Mymáx | 0.000 | -0.002 | -0.006 | -0.008 | -0.013 | -0.017 | -0.019 | -0.023 | -0.025 |
|  |  | Mzmín | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Mzmáx | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| **Envoltórias dos esforços em barras** | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Barra | Tipo de combinação | Esforço | Posições na barra | | | | | | | | |
| 0.000 m | 0.200 m | 0.400 m | 0.800 m | 1.000 m | 1.200 m | 1.600 m | 1.800 m | 2.000 m |
| N2/N5 | Aço laminado | Nmín | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 |
|  |  | Nmáx | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 |
|  |  | Vymín | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Vymáx | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Vzmín | -11.363 | -11.352 | -11.340 | -11.318 | -11.307 | -11.295 | -11.273 | -11.261 | -11.250 |
|  |  | Vzmáx | -0.090 | -0.081 | -0.072 | -0.054 | -0.045 | -0.036 | -0.018 | -0.009 | 0.000 |
|  |  | Mtmín | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Mtmáx | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Mymín | -4.783 | -2.511 | -0.244 | 0.032 | 0.042 | 0.051 | 0.061 | 0.064 | 0.065 |
|  |  | Mymáx | -0.025 | -0.008 | 0.009 | 4.289 | 6.552 | 8.812 | 13.326 | 15.579 | 17.830 |
|  |  | Mzmín | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Mzmáx | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| **Envoltórias dos esforços em barras** | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Barra | Tipo de combinação | Esforço | Posições na barra | | | | | | | | |
| 0.000 m | 0.200 m | 0.400 m | 0.800 m | 1.000 m | 1.200 m | 1.600 m | 1.800 m | 2.000 m |
| N5/N3 | Aço laminado | Nmín | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 |
|  |  | Nmáx | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 |
|  |  | Vymín | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Vymáx | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Vzmín | 0.000 | 0.009 | 0.018 | 0.036 | 0.045 | 0.054 | 0.072 | 0.081 | 0.090 |
|  |  | Vzmáx | 11.250 | 11.261 | 11.273 | 11.295 | 11.307 | 11.318 | 11.340 | 11.352 | 11.363 |
|  |  | Mtmín | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Mtmáx | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Mymín | 0.065 | 0.064 | 0.061 | 0.051 | 0.042 | 0.032 | -0.244 | -2.511 | -4.783 |
|  |  | Mymáx | 17.830 | 15.579 | 13.326 | 8.812 | 6.552 | 4.289 | 0.009 | -0.008 | -0.025 |
|  |  | Mzmín | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Mzmáx | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| **Envoltórias dos esforços em barras** | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Barra | Tipo de combinação | Esforço | Posições na barra | | | | | | | | |
| 0.000 m | 0.208 m | 0.625 m | 0.833 m | 1.250 m | 1.667 m | 1.875 m | 2.292 m | 2.500 m |
| N4/N3 | Aço laminado | Nmín | -11.480 | -11.471 | -11.451 | -11.441 | -11.422 | -11.402 | -11.392 | -11.373 | -11.363 |
|  |  | Nmáx | -0.184 | -0.176 | -0.161 | -0.153 | -0.137 | -0.122 | -0.114 | -0.098 | -0.090 |
|  |  | Vymín | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Vymáx | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Vzmín | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 | -1.913 |
|  |  | Vzmáx | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 | -0.010 |
|  |  | Mtmín | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Mtmáx | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Mymín | 0.000 | 0.002 | 0.006 | 0.008 | 0.013 | 0.017 | 0.019 | 0.023 | 0.025 |
|  |  | Mymáx | 0.000 | 0.399 | 1.196 | 1.594 | 2.391 | 3.189 | 3.587 | 4.384 | 4.783 |
|  |  | Mzmín | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
|  |  | Mzmáx | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

***2.3.2.2.- Resistência***

Referências:

N: Esforço axial (t)

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

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

Mt: Momento torsor (t·m)

My: Momento fletor no plano 'XZ' (rotação da seção em relação ao eixo local 'Y' da barra). (t·m)

Mz: Momento fletor no plano 'XY' (rotação da seção em relação ao eixo local 'Z' da barra). (t·m)

Os esforços indicados são os correspondentes à combinação desfavorável, ou seja, aquela que solicita a máxima resistência da seção.

Origem dos esforços desfavoráveis:

* G: Verticais
* GV: Verticais + vento
* GSis: Verticais + sismo
* GVSis: Verticais + vento + sismo

h: Aproveitamento da resistência. A barra cumpre as condições de resistência da Norma se cumprir que h £ 100 %.

| Verificação de resistência | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Barra | h  (%) | Posição  (m) | Esforços desfavoráveis | | | | | | Origem | Estado |
| N  (t) | Vy  (t) | Vz  (t) | Mt  (t·m) | My  (t·m) | Mz  (t·m) |
| N1/N2 | 52.78 | 2.500 | -11.363 | 0.000 | 1.913 | 0.000 | -4.783 | 0.000 | G | Passa |
| N2/N5 | 93.34 | 2.000 | -1.913 | 0.000 | -11.250 | 0.000 | 17.830 | 0.000 | G | Passa |
| N5/N3 | 93.34 | 0.000 | -1.913 | 0.000 | 11.250 | 0.000 | 17.830 | 0.000 | G | Passa |
| N4/N3 | 52.78 | 2.500 | -11.363 | 0.000 | -1.913 | 0.000 | 4.783 | 0.000 | G | Passa |

***2.3.2.3.- Flechas***

Referências:

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

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

| **Flechas** | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Grupo | Flecha máxima absoluta xy  Flecha máxima relativa xy | | Flecha máxima absoluta xz  Flecha máxima relativa xz | | Flecha ativa absoluta xy  Flecha ativa relativa xy | | Flecha ativa absoluta xz  Flecha ativa relativa xz | |
| Pos.  (m) | Flecha  (mm) | Pos.  (m) | Flecha  (mm) | Pos.  (m) | Flecha  (mm) | Pos.  (m) | Flecha  (mm) |
| N1/N2 | 0.000 | 0.00 | 1.458 | 2.80 | 0.000 | 0.00 | 1.458 | 2.78 |
| - | L/(>1000) | 1.458 | L/893.6 | - | L/(>1000) | 1.458 | L/900.8 |
| N2/N3 | 0.000 | 0.00 | 2.000 | 10.60 | 0.000 | 0.00 | 2.000 | 10.53 |
| - | L/(>1000) | 2.000 | L/377.2 | - | L/(>1000) | 2.000 | L/379.9 |
| N4/N3 | 0.000 | 0.00 | 1.458 | 2.80 | 0.000 | 0.00 | 1.458 | 2.78 |
| - | L/(>1000) | 1.458 | L/893.6 | - | L/(>1000) | 1.458 | L/900.8 |

2.3.2.4.- Verificações E.L.U. (Completo)

Barra N1/N2

| **Perfil: W 150 x 37.1**  **Material: Aço (A-572 345MPa)** | |
| --- | --- |
| image7.bmp | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | | Nós | | Comprimento  (m) | Características mecânicas | | | | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | Inicial | Final | Área  (cm²) | Ix(1)  (cm4) | Iy(1)  (cm4) | It(2)  (cm4) | | N1 | N2 | 2.500 | 47.80 | 2244.00 | 707.00 | 20.58 | | *Notas:*  *(1) Inércia em relação ao eixo indicado*  *(2) Momento de inércia à torção uniforme* | | | | | | | | | |  | Flambagem | | Flambagem lateral | | | --- | --- | --- | --- | --- | | Plano ZX | Plano ZY | Aba sup. | Aba inf. | | b | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | | LK | 2.500 | 2.500 | 2.500 | 2.500 | | Cb | - | | 1.670 | | | *Notação:*  *b: Coeficiente de flambagem*  *LK: Comprimento de flambagem (m)*  *Cb: Fator de modificação para o momento crítico* | | | | | | |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| O índice de esbeltez das barras comprimidas, tomado como o maior relação entre o comprimento de flambagem e o raio de giração, não deve ser superior a 200. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image8.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | ***65.0*** | image9.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **l**: Índice de esbeltez. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image10.wmf | |  | **lx** | : | *36.5* |  |
|  | **ly** | : | *65.0* |  |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Kx·Lx**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X. |  | **Kx·Lx** | : | *2.500* | m |
| **Ky·Ly**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. |  | **Ky·Ly** | : | *2.500* | m |
| **rx,ry**: Raios de giração em relação aos eixos principales X, Y, respectivamente. |  | **rx** | : | *6.85* | cm |
|  | **ry** | : | *3.85* | cm |

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

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

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image11.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.102*** | image9.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N1, para a combinação de ações 1.25·PP+1.5·SC. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nc,Sd**: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Nc,Sd** | : | *11.480* | t |
|  | | | | | |
| A força axial de compressão resistente de cálculo, Nc,Rd, deve ser determinada pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image12.wmf | |  | | | | |
|  | **Nc,Rd** | : | *112.185* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **c**: Fator de redução total associado à resistência à compressão. |  | **c** | : | *0.734* |  |
| **Q**: Fator de redução total associado à flambagem local. |  | **Q** | : | *1.000* |  |
| **Ag**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **Ag** | : | *47.80* | cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
|  | | | | | |
| **Fator de redução c:** (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.3) |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image13.wmf | |  | | | | |
|  | **c** | : | *0.734* |  |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **l0**: Índice de esbeltez reduzido. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image14.wmf | |  | | | | |
|  | **l0** | : | *0.859* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Q**: Fator de redução total associado à flambagem local. |  | **Q** | : | *1.000* |  |
| **Ag**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **Ag** | : | *47.80* | cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| **Ne**: Força axial de flambagem elástica. |  | **Ne** | : | *227.615* | t |
|  | | | | | |
| **Força axial de flambagem elástica:** (ABNT NBR 8800:2008, Anexo E) |  |  |  |  |  |
| 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** | : | *227.615* | t |
| |  |  | | --- | --- | | (a) | Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia X da seção transversal: | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image15.wmf | |  | | | | |
|  | **Nex** | : | *722.443* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Kx·Lx**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X. |  | **Kx·Lx** | : | *2.500* | m |
| **Ix**: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo X. |  | **Ix** | : | *2244.00* | cm4 |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| |  |  | | --- | --- | | (b) | Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia Y da seção transversal: | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image16.wmf | |  | | | | |
|  | **Ney** | : | *227.615* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Ky·Ly**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. |  | **Ky·Ly** | : | *2.500* | m |
| **Iy**: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y. |  | **Iy** | : | *707.00* | cm4 |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| |  |  | | --- | --- | | (c) | Para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal Z: | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image17.wmf | |  | | | | |
|  | **Nez** | : | *469.881* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Kz·Lz**: Comprimento de flambagem por torção. |  | **Kz·Lz** | : | *2.500* | m |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **Cw**: Constante de empenamento da seção transversal. |  | **Cw** | : | *39930.00* | cm6 |
| **G**: Módulo de elasticidade transversal do aço. |  | **G** | : | *784913* | kgf/cm² |
| **J**: Constante de torção da seção transversal. |  | **J** | : | *20.58* | cm4 |
| **r0**: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image18.wmf | |  | | | | |
|  | **r0** | : | *7.86* | cm |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **rx,ry**: Raios de giração em relação aos eixos principales X, Y, respectivamente. |  | **rx** | : | *6.85* | cm |
|  | **ry** | : | *3.85* | cm |
| **X0,Y0**: Coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos principales X, Y, respectivamente. |  | **X0** | : | *0.00* | mm |
|  | **Y0** | : | *0.00* | mm |
|  | | | | | |
| **Flambagem local de barras axialmente comprimidas:** (ABNT NBR 8800:2008, Anexo F) |  |  |  |  |  |
| Não se aplica nenhuma redução, já que todos os elementos componentes da seção transversal possuem relações entre largura e espessura (b/t) que não superam os valores limite dados na Tabela F.1. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| Mesa: Elemento do Grupo 4 da Tabela F.1. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image19.wmf | |  | **6.64** | £ | **13.48** |  |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **(b/t)**: Relação entre largura e espessura. |  | **(b/t)** | : | *6.64* |  |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **b**: Largura. |  | **b** | : | *77.00* | mm |
| **t**: Espessura. |  | **t** | : | *11.60* | mm |
| **(b/t)lim**: Relação limite entre largura e espessura. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image20.wmf | |  | | | | |
|  | **(b/t)lim** | : | *13.48* |  |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| Alma: Elemento do Grupo 2 da Tabela F.1. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image19.wmf | |  | **17.14** | £ | **35.87** |  |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **(b/t)**: Relação entre largura e espessura. |  | **(b/t)** | : | *17.14* |  |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **b**: Largura. |  | **b** | : | *138.80* | mm |
| **t**: Espessura. |  | **t** | : | *8.10* | mm |
| **(b/t)lim**: Relação limite entre largura e espessura. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image21.wmf | |  | | | | |
|  | **(b/t)lim** | : | *35.87* |  |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image22.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.477*** | image9.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N2, para a combinação de ações 1.25·PP+1.5·SC. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **MSd-**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **MSd-** | : | *4.783* | t·m |
|  | | | | | |
| Já que 'l £ lr', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G). |  | **17.14** | £ | **137.24** |  |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image23.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *17.14* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **h**: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas. |  | **h** | : | *138.80* | mm |
|  | | | | |
| **tw**: Espessura da alma. |  | **tw** | : | *8.10* | mm |
| |  | | --- | | image24.wmf | |  | | | | |
|  | **lr** | : | *137.24* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
|  | | | | | |
| 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** | : | *10.023* | t·m |
| |  |  | | --- | --- | | (a) | Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2.2): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image25.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *13.286* | t·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Wx**: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. |  | **Wx** | : | *277.04* | cm³ |
|  | | | | |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (b) | Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image26.wmf | |  | **65.00** | > | **42.38** |  |
| |  | | --- | | image27.wmf | |  | **65.00** | £ | **191.23** |  |
| |  | | --- | | image28.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *10.023* | t·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image29.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *65.00* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Lb,inf**: Distância entre pontos travados à flambagem lateral. |  | **Lb,inf** | : | *2.500* | m |
| **ry**: Raio de giração da seção em relação ao eixo principal de inércia perpendicular ao eixo de flexão. |  | **ry** | : | *3.85* | cm |
| |  | | --- | | image30.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *42.38* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image31.wmf | |  | | | | |
|  | **lr** | : | *191.23* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Iy**: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y. |  | **Iy** | : | *707.00* | cm4 |
| **J**: Constante de torção da seção transversal. |  | **J** | : | *20.58* | cm4 |
| **Cw**: Constante de empenamento da seção transversal. |  | **Cw** | : | *39930.00* | cm6 |
| |  | | --- | | image32.wmf | |  | | | | |
|  | **b1** | : | *0.016* | cm-1 |
|  | | | | |
| |  | | --- | | image33.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *11.025* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zx**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zx** | : | *313.50* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image34.wmf | |  | | | | |
|  | **Mr** | : | *6.820* | t·m |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Wx**: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. |  | **Wx** | : | *277.04* | cm³ |
|  | | | | |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image35.wmf | |  | | | | |
|  | **sr** | : | *1055.05* | kgf/cm² |
|  | | | | |
| **Cb**: Fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme. |  | **Cb** | : | *1.67* |  |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (c) | Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image36.wmf | |  | **6.64** | £ | **9.15** |  |
| |  | | --- | | image37.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *10.023* | t·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image38.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *6.64* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **bf**: Largura da mesa comprimida. |  | **bf** | : | *154.00* | mm |
| **tf**: Espessura da mesa comprimida. |  | **tf** | : | *11.60* | mm |
| |  | | --- | | image39.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *9.15* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image33.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *11.025* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zx**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zx** | : | *313.50* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (d) | Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image36.wmf | |  | **17.14** | £ | **90.53** |  |
| |  | | --- | | image37.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *10.023* | t·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image23.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *17.14* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **h**: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas. |  | **h** | : | *138.80* | mm |
|  | | | | |
| **tw**: Espessura da alma. |  | **tw** | : | *8.10* | mm |
| |  | | --- | | image40.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *90.53* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image33.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *11.025* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zx**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zx** | : | *313.50* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

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

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

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

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

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image41.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.076*** | image9.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.25·PP+1.5·SC. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **VSd**: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **VSd** | : | *1.913* | t |
| A força cortante resistente de cálculo, VRd, é determinada pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image42.wmf | |  | **17.14** | £ | **59.22** |  |
| |  | | --- | | image43.wmf | |  | | | | |
|  | **VRd** | : | *25.171* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image44.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *17.14* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **h**: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas. |  | **h** | : | *138.80* | mm |
|  | | | | |
| **tw**: Espessura da alma. |  | **tw** | : | *8.10* | mm |
| |  | | --- | | image45.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *59.22* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **kv**: Coeficiente de flambagem. |  | **kv** | : | *5.00* |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image46.wmf | |  | | | | |
|  | **Vpl** | : | *27.689* | t |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Aw**: Área efetiva ao cisalhamento. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image47.wmf | |  | | | | |
|  | **Aw** | : | *13.12* | cm² |
|  | | | | |
| **d**: Altura total da seção transversal. |  | **d** | : | *162.00* | mm |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image48.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.528*** | image9.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N2, para a combinação de ações 1.25·PP+1.5·SC. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nc,Sd**: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Nc,Sd** | : | *11.363* | t |
| **Mx,Sd**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Mx,Sd-** | : | *4.783* | t·m |
| **My,Sd**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **My,Sd-** | : | *0.000* | t·m |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image49.wmf | |  | **0.101** | < | **0.200** |  |
| |  | | --- | | image50.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | *0.528* |  |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Nc,Rd**: Força axial resistente de cálculo de compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3). |  | **Nc,Rd** | : | *112.185* | t |
| **Mx,Rd,My,Rd**: Momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos X e Y da seção transversal (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2). |  | **Mx,Rd** | : | *10.023* | t·m |
|  | **My,Rd** | : | *4.403* | t·m |

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

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

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

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

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

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

Barra N2/N5

| **Perfil: W 250 x 44.8**  **Material: Aço (A-572 345MPa)** | |
| --- | --- |
| image51.bmp | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | | Nós | | Comprimento  (m) | Características mecânicas | | | | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | Inicial | Final | Área  (cm²) | Ix(1)  (cm4) | Iy(1)  (cm4) | It(2)  (cm4) | | N2 | N5 | 2.000 | 57.60 | 7158.00 | 704.00 | 27.14 | | *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 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | | LK | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | | Cb | - | | 1.440 | | | *Notação:*  *b: Coeficiente de flambagem*  *LK: Comprimento de flambagem (m)*  *Cb: Fator de modificação para o momento crítico* | | | | | | |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| O índice de esbeltez das barras comprimidas, tomado como o maior relação entre o comprimento de flambagem e o raio de giração, não deve ser superior a 200. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image8.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | ***114.4*** | image9.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **l**: Índice de esbeltez. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image10.wmf | |  | **lx** | : | *35.9* |  |
|  | **ly** | : | *114.4* |  |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Kx·Lx**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X. |  | **Kx·Lx** | : | *4.000* | m |
| **Ky·Ly**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. |  | **Ky·Ly** | : | *4.000* | m |
| **rx,ry**: Raios de giração em relação aos eixos principales X, Y, respectivamente. |  | **rx** | : | *11.15* | cm |
|  | **ry** | : | *3.50* | cm |

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

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

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image11.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.027*** | image9.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.25·PP+1.5·SC. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nc,Sd**: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Nc,Sd** | : | *1.913* | t |
|  | | | | | |
| A força axial de compressão resistente de cálculo, Nc,Rd, deve ser determinada pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image12.wmf | |  | | | | |
|  | **Nc,Rd** | : | *70.586* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **c**: Fator de redução total associado à resistência à compressão. |  | **c** | : | *0.383* |  |
| **Q**: Fator de redução total associado à flambagem local. |  | **Q** | : | *1.000* |  |
| **Ag**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **Ag** | : | *57.60* | cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
|  | | | | | |
| **Fator de redução c:** (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.3) |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image52.wmf | |  | | | | |
|  | **c** | : | *0.383* |  |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **l0**: Índice de esbeltez reduzido. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image14.wmf | |  | | | | |
|  | **l0** | : | *1.513* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Q**: Fator de redução total associado à flambagem local. |  | **Q** | : | *1.000* |  |
| **Ag**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **Ag** | : | *57.60* | cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| **Ne**: Força axial de flambagem elástica. |  | **Ne** | : | *88.535* | t |
|  | | | | | |
| **Força axial de flambagem elástica:** (ABNT NBR 8800:2008, Anexo E) |  |  |  |  |  |
| 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** | : | *88.535* | t |
| |  |  | | --- | --- | | (a) | Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia X da seção transversal: | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image15.wmf | |  | | | | |
|  | **Nex** | : | *900.186* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Kx·Lx**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X. |  | **Kx·Lx** | : | *4.000* | m |
| **Ix**: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo X. |  | **Ix** | : | *7158.00* | cm4 |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| |  |  | | --- | --- | | (b) | Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia Y da seção transversal: | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image16.wmf | |  | | | | |
|  | **Ney** | : | *88.535* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Ky·Ly**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. |  | **Ky·Ly** | : | *4.000* | m |
| **Iy**: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y. |  | **Iy** | : | *704.00* | cm4 |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| |  |  | | --- | --- | | (c) | Para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal Z: | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image17.wmf | |  | | | | |
|  | **Nez** | : | *259.630* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Kz·Lz**: Comprimento de flambagem por torção. |  | **Kz·Lz** | : | *4.000* | m |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **Cw**: Constante de empenamento da seção transversal. |  | **Cw** | : | *112398.00* | cm6 |
| **G**: Módulo de elasticidade transversal do aço. |  | **G** | : | *784913* | kgf/cm² |
| **J**: Constante de torção da seção transversal. |  | **J** | : | *27.14* | cm4 |
| **r0**: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image18.wmf | |  | | | | |
|  | **r0** | : | *11.68* | cm |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **rx,ry**: Raios de giração em relação aos eixos principales X, Y, respectivamente. |  | **rx** | : | *11.15* | cm |
|  | **ry** | : | *3.50* | cm |
| **X0,Y0**: Coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos principales X, Y, respectivamente. |  | **X0** | : | *0.00* | mm |
|  | **Y0** | : | *0.00* | mm |
|  | | | | | |
| **Flambagem local de barras axialmente comprimidas:** (ABNT NBR 8800:2008, Anexo F) |  |  |  |  |  |
| Não se aplica nenhuma redução, já que todos os elementos componentes da seção transversal possuem relações entre largura e espessura (b/t) que não superam os valores limite dados na Tabela F.1. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| Mesa: Elemento do Grupo 4 da Tabela F.1. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image19.wmf | |  | **5.69** | £ | **13.48** |  |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **(b/t)**: Relação entre largura e espessura. |  | **(b/t)** | : | *5.69* |  |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **b**: Largura. |  | **b** | : | *74.00* | mm |
| **t**: Espessura. |  | **t** | : | *13.00* | mm |
| **(b/t)lim**: Relação limite entre largura e espessura. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image20.wmf | |  | | | | |
|  | **(b/t)lim** | : | *13.48* |  |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| Alma: Elemento do Grupo 2 da Tabela F.1. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image19.wmf | |  | **31.58** | £ | **35.87** |  |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **(b/t)**: Relação entre largura e espessura. |  | **(b/t)** | : | *31.58* |  |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **b**: Largura. |  | **b** | : | *240.00* | mm |
| **t**: Espessura. |  | **t** | : | *7.60* | mm |
| **(b/t)lim**: Relação limite entre largura e espessura. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image21.wmf | |  | | | | |
|  | **(b/t)lim** | : | *35.87* |  |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image22.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.920*** | image9.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações 1.25·PP+1.5·SC. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **MSd+**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **MSd+** | : | *17.830* | t·m |
|  | | | | | |
| Já que 'l £ lr', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G). |  | **31.58** | £ | **137.24** |  |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image23.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *31.58* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **h**: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas. |  | **h** | : | *240.00* | mm |
|  | | | | |
| **tw**: Espessura da alma. |  | **tw** | : | *7.60* | mm |
| |  | | --- | | image24.wmf | |  | | | | |
|  | **lr** | : | *137.24* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
|  | | | | | |
| 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** | : | *19.384* | t·m |
| |  |  | | --- | --- | | (a) | Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2.2): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image25.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *25.810* | t·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Wx**: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. |  | **Wx** | : | *538.20* | cm³ |
|  | | | | |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (b) | Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image26.wmf | |  | **114.42** | > | **42.38** |  |
| |  | | --- | | image27.wmf | |  | **114.42** | £ | **142.07** |  |
| |  | | --- | | image28.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *19.384* | t·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image29.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *114.42* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Lb,sup**: Distância entre pontos travados à flambagem lateral. |  | **Lb,sup** | : | *4.000* | m |
| **ry**: Raio de giração da seção em relação ao eixo principal de inércia perpendicular ao eixo de flexão. |  | **ry** | : | *3.50* | cm |
| |  | | --- | | image30.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *42.38* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image31.wmf | |  | | | | |
|  | **lr** | : | *142.07* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Iy**: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y. |  | **Iy** | : | *704.00* | cm4 |
| **J**: Constante de torção da seção transversal. |  | **J** | : | *27.14* | cm4 |
| **Cw**: Constante de empenamento da seção transversal. |  | **Cw** | : | *112398.00* | cm6 |
| |  | | --- | | image32.wmf | |  | | | | |
|  | **b1** | : | *0.024* | cm-1 |
|  | | | | |
| |  | | --- | | image33.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *21.322* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zx**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zx** | : | *606.30* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image34.wmf | |  | | | | |
|  | **Mr** | : | *13.249* | t·m |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Wx**: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. |  | **Wx** | : | *538.20* | cm³ |
|  | | | | |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image35.wmf | |  | | | | |
|  | **sr** | : | *1055.05* | kgf/cm² |
|  | | | | |
| **Cb**: Fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme. |  | **Cb** | : | *1.44* |  |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (c) | Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image36.wmf | |  | **5.69** | £ | **9.15** |  |
| |  | | --- | | image37.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *19.384* | t·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image38.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *5.69* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **bf**: Largura da mesa comprimida. |  | **bf** | : | *148.00* | mm |
| **tf**: Espessura da mesa comprimida. |  | **tf** | : | *13.00* | mm |
| |  | | --- | | image39.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *9.15* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image33.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *21.322* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zx**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zx** | : | *606.30* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (d) | Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image36.wmf | |  | **31.58** | £ | **90.53** |  |
| |  | | --- | | image37.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *19.384* | t·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image23.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *31.58* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **h**: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas. |  | **h** | : | *240.00* | mm |
|  | | | | |
| **tw**: Espessura da alma. |  | **tw** | : | *7.60* | mm |
| |  | | --- | | image40.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *90.53* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image33.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *21.322* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zx**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zx** | : | *606.30* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

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

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

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

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

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image41.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.293*** | image9.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N2, para a combinação de ações 1.25·PP+1.5·SC. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **VSd**: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **VSd** | : | *11.363* | t |
| A força cortante resistente de cálculo, VRd, é determinada pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image42.wmf | |  | **31.58** | £ | **59.22** |  |
| |  | | --- | | image43.wmf | |  | | | | |
|  | **VRd** | : | *38.780* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image44.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *31.58* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **h**: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas. |  | **h** | : | *240.00* | mm |
|  | | | | |
| **tw**: Espessura da alma. |  | **tw** | : | *7.60* | mm |
| |  | | --- | | image45.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *59.22* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **kv**: Coeficiente de flambagem. |  | **kv** | : | *5.00* |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image46.wmf | |  | | | | |
|  | **Vpl** | : | *42.658* | t |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Aw**: Área efetiva ao cisalhamento. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image47.wmf | |  | | | | |
|  | **Aw** | : | *20.22* | cm² |
|  | | | | |
| **d**: Altura total da seção transversal. |  | **d** | : | *266.00* | mm |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image48.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.933*** | image9.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações 1.25·PP+1.5·SC. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nc,Sd**: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Nc,Sd** | : | *1.913* | t |
| **Mx,Sd**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Mx,Sd+** | : | *17.830* | t·m |
| **My,Sd**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **My,Sd-** | : | *0.000* | t·m |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image49.wmf | |  | **0.027** | < | **0.200** |  |
| |  | | --- | | image50.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | *0.933* |  |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Nc,Rd**: Força axial resistente de cálculo de compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3). |  | **Nc,Rd** | : | *70.586* | t |
| **Mx,Rd,My,Rd**: Momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos X e Y da seção transversal (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2). |  | **Mx,Rd** | : | *19.384* | t·m |
|  | **My,Rd** | : | *3.559* | t·m |

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

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

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

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

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

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

Barra N5/N3

| **Perfil: W 250 x 44.8**  **Material: Aço (A-572 345MPa)** | |
| --- | --- |
| image51.bmp | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | | Nós | | Comprimento  (m) | Características mecânicas | | | | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | Inicial | Final | Área  (cm²) | Ix(1)  (cm4) | Iy(1)  (cm4) | It(2)  (cm4) | | N5 | N3 | 2.000 | 57.60 | 7158.00 | 704.00 | 27.14 | | *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 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | | LK | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | | Cb | - | | 1.440 | | | *Notação:*  *b: Coeficiente de flambagem*  *LK: Comprimento de flambagem (m)*  *Cb: Fator de modificação para o momento crítico* | | | | | | |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| O índice de esbeltez das barras comprimidas, tomado como o maior relação entre o comprimento de flambagem e o raio de giração, não deve ser superior a 200. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image8.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | ***114.4*** | image9.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **l**: Índice de esbeltez. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image10.wmf | |  | **lx** | : | *35.9* |  |
|  | **ly** | : | *114.4* |  |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Kx·Lx**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X. |  | **Kx·Lx** | : | *4.000* | m |
| **Ky·Ly**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. |  | **Ky·Ly** | : | *4.000* | m |
| **rx,ry**: Raios de giração em relação aos eixos principales X, Y, respectivamente. |  | **rx** | : | *11.15* | cm |
|  | **ry** | : | *3.50* | cm |

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

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

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image11.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.027*** | image9.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.25·PP+1.5·SC. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nc,Sd**: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Nc,Sd** | : | *1.913* | t |
|  | | | | | |
| A força axial de compressão resistente de cálculo, Nc,Rd, deve ser determinada pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image12.wmf | |  | | | | |
|  | **Nc,Rd** | : | *70.586* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **c**: Fator de redução total associado à resistência à compressão. |  | **c** | : | *0.383* |  |
| **Q**: Fator de redução total associado à flambagem local. |  | **Q** | : | *1.000* |  |
| **Ag**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **Ag** | : | *57.60* | cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
|  | | | | | |
| **Fator de redução c:** (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.3) |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image52.wmf | |  | | | | |
|  | **c** | : | *0.383* |  |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **l0**: Índice de esbeltez reduzido. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image14.wmf | |  | | | | |
|  | **l0** | : | *1.513* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Q**: Fator de redução total associado à flambagem local. |  | **Q** | : | *1.000* |  |
| **Ag**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **Ag** | : | *57.60* | cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| **Ne**: Força axial de flambagem elástica. |  | **Ne** | : | *88.535* | t |
|  | | | | | |
| **Força axial de flambagem elástica:** (ABNT NBR 8800:2008, Anexo E) |  |  |  |  |  |
| 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** | : | *88.535* | t |
| |  |  | | --- | --- | | (a) | Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia X da seção transversal: | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image15.wmf | |  | | | | |
|  | **Nex** | : | *900.186* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Kx·Lx**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X. |  | **Kx·Lx** | : | *4.000* | m |
| **Ix**: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo X. |  | **Ix** | : | *7158.00* | cm4 |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| |  |  | | --- | --- | | (b) | Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia Y da seção transversal: | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image16.wmf | |  | | | | |
|  | **Ney** | : | *88.535* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Ky·Ly**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. |  | **Ky·Ly** | : | *4.000* | m |
| **Iy**: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y. |  | **Iy** | : | *704.00* | cm4 |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| |  |  | | --- | --- | | (c) | Para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal Z: | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image17.wmf | |  | | | | |
|  | **Nez** | : | *259.630* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Kz·Lz**: Comprimento de flambagem por torção. |  | **Kz·Lz** | : | *4.000* | m |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **Cw**: Constante de empenamento da seção transversal. |  | **Cw** | : | *112398.00* | cm6 |
| **G**: Módulo de elasticidade transversal do aço. |  | **G** | : | *784913* | kgf/cm² |
| **J**: Constante de torção da seção transversal. |  | **J** | : | *27.14* | cm4 |
| **r0**: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image18.wmf | |  | | | | |
|  | **r0** | : | *11.68* | cm |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **rx,ry**: Raios de giração em relação aos eixos principales X, Y, respectivamente. |  | **rx** | : | *11.15* | cm |
|  | **ry** | : | *3.50* | cm |
| **X0,Y0**: Coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos principales X, Y, respectivamente. |  | **X0** | : | *0.00* | mm |
|  | **Y0** | : | *0.00* | mm |
|  | | | | | |
| **Flambagem local de barras axialmente comprimidas:** (ABNT NBR 8800:2008, Anexo F) |  |  |  |  |  |
| Não se aplica nenhuma redução, já que todos os elementos componentes da seção transversal possuem relações entre largura e espessura (b/t) que não superam os valores limite dados na Tabela F.1. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| Mesa: Elemento do Grupo 4 da Tabela F.1. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image19.wmf | |  | **5.69** | £ | **13.48** |  |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **(b/t)**: Relação entre largura e espessura. |  | **(b/t)** | : | *5.69* |  |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **b**: Largura. |  | **b** | : | *74.00* | mm |
| **t**: Espessura. |  | **t** | : | *13.00* | mm |
| **(b/t)lim**: Relação limite entre largura e espessura. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image20.wmf | |  | | | | |
|  | **(b/t)lim** | : | *13.48* |  |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| Alma: Elemento do Grupo 2 da Tabela F.1. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image19.wmf | |  | **31.58** | £ | **35.87** |  |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **(b/t)**: Relação entre largura e espessura. |  | **(b/t)** | : | *31.58* |  |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **b**: Largura. |  | **b** | : | *240.00* | mm |
| **t**: Espessura. |  | **t** | : | *7.60* | mm |
| **(b/t)lim**: Relação limite entre largura e espessura. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image21.wmf | |  | | | | |
|  | **(b/t)lim** | : | *35.87* |  |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image22.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.920*** | image9.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações 1.25·PP+1.5·SC. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **MSd+**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **MSd+** | : | *17.830* | t·m |
|  | | | | | |
| Já que 'l £ lr', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G). |  | **31.58** | £ | **137.24** |  |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image23.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *31.58* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **h**: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas. |  | **h** | : | *240.00* | mm |
|  | | | | |
| **tw**: Espessura da alma. |  | **tw** | : | *7.60* | mm |
| |  | | --- | | image24.wmf | |  | | | | |
|  | **lr** | : | *137.24* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
|  | | | | | |
| 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** | : | *19.384* | t·m |
| |  |  | | --- | --- | | (a) | Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2.2): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image25.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *25.810* | t·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Wx**: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. |  | **Wx** | : | *538.20* | cm³ |
|  | | | | |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (b) | Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image26.wmf | |  | **114.42** | > | **42.38** |  |
| |  | | --- | | image27.wmf | |  | **114.42** | £ | **142.07** |  |
| |  | | --- | | image28.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *19.384* | t·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image29.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *114.42* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Lb,sup**: Distância entre pontos travados à flambagem lateral. |  | **Lb,sup** | : | *4.000* | m |
| **ry**: Raio de giração da seção em relação ao eixo principal de inércia perpendicular ao eixo de flexão. |  | **ry** | : | *3.50* | cm |
| |  | | --- | | image30.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *42.38* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image31.wmf | |  | | | | |
|  | **lr** | : | *142.07* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Iy**: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y. |  | **Iy** | : | *704.00* | cm4 |
| **J**: Constante de torção da seção transversal. |  | **J** | : | *27.14* | cm4 |
| **Cw**: Constante de empenamento da seção transversal. |  | **Cw** | : | *112398.00* | cm6 |
| |  | | --- | | image32.wmf | |  | | | | |
|  | **b1** | : | *0.024* | cm-1 |
|  | | | | |
| |  | | --- | | image33.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *21.322* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zx**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zx** | : | *606.30* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image34.wmf | |  | | | | |
|  | **Mr** | : | *13.249* | t·m |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Wx**: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. |  | **Wx** | : | *538.20* | cm³ |
|  | | | | |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image35.wmf | |  | | | | |
|  | **sr** | : | *1055.05* | kgf/cm² |
|  | | | | |
| **Cb**: Fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme. |  | **Cb** | : | *1.44* |  |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (c) | Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image36.wmf | |  | **5.69** | £ | **9.15** |  |
| |  | | --- | | image37.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *19.384* | t·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image38.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *5.69* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **bf**: Largura da mesa comprimida. |  | **bf** | : | *148.00* | mm |
| **tf**: Espessura da mesa comprimida. |  | **tf** | : | *13.00* | mm |
| |  | | --- | | image39.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *9.15* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image33.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *21.322* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zx**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zx** | : | *606.30* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (d) | Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image36.wmf | |  | **31.58** | £ | **90.53** |  |
| |  | | --- | | image37.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *19.384* | t·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image23.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *31.58* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **h**: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas. |  | **h** | : | *240.00* | mm |
|  | | | | |
| **tw**: Espessura da alma. |  | **tw** | : | *7.60* | mm |
| |  | | --- | | image40.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *90.53* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image33.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *21.322* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zx**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zx** | : | *606.30* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

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

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

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

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

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image41.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.293*** | image9.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N3, para a combinação de ações 1.25·PP+1.5·SC. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **VSd**: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **VSd** | : | *11.363* | t |
| A força cortante resistente de cálculo, VRd, é determinada pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image42.wmf | |  | **31.58** | £ | **59.22** |  |
| |  | | --- | | image43.wmf | |  | | | | |
|  | **VRd** | : | *38.780* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image44.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *31.58* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **h**: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas. |  | **h** | : | *240.00* | mm |
|  | | | | |
| **tw**: Espessura da alma. |  | **tw** | : | *7.60* | mm |
| |  | | --- | | image45.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *59.22* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **kv**: Coeficiente de flambagem. |  | **kv** | : | *5.00* |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image46.wmf | |  | | | | |
|  | **Vpl** | : | *42.658* | t |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Aw**: Área efetiva ao cisalhamento. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image47.wmf | |  | | | | |
|  | **Aw** | : | *20.22* | cm² |
|  | | | | |
| **d**: Altura total da seção transversal. |  | **d** | : | *266.00* | mm |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image48.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.933*** | image9.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N5, para a combinação de ações 1.25·PP+1.5·SC. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nc,Sd**: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Nc,Sd** | : | *1.913* | t |
| **Mx,Sd**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Mx,Sd+** | : | *17.830* | t·m |
| **My,Sd**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **My,Sd-** | : | *0.000* | t·m |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image49.wmf | |  | **0.027** | < | **0.200** |  |
| |  | | --- | | image50.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | *0.933* |  |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Nc,Rd**: Força axial resistente de cálculo de compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3). |  | **Nc,Rd** | : | *70.586* | t |
| **Mx,Rd,My,Rd**: Momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos X e Y da seção transversal (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2). |  | **Mx,Rd** | : | *19.384* | t·m |
|  | **My,Rd** | : | *3.559* | t·m |

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

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

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

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

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

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

Barra N4/N3

| **Perfil: W 150 x 37.1**  **Material: Aço (A-572 345MPa)** | |
| --- | --- |
| image7.bmp | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | | Nós | | Comprimento  (m) | Características mecânicas | | | | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | Inicial | Final | Área  (cm²) | Ix(1)  (cm4) | Iy(1)  (cm4) | It(2)  (cm4) | | N4 | N3 | 2.500 | 47.80 | 2244.00 | 707.00 | 20.58 | | *Notas:*  *(1) Inércia em relação ao eixo indicado*  *(2) Momento de inércia à torção uniforme* | | | | | | | | | |  | Flambagem | | Flambagem lateral | | | --- | --- | --- | --- | --- | | Plano ZX | Plano ZY | Aba sup. | Aba inf. | | b | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | | LK | 2.500 | 2.500 | 2.500 | 2.500 | | Cb | - | | 1.670 | | | *Notação:*  *b: Coeficiente de flambagem*  *LK: Comprimento de flambagem (m)*  *Cb: Fator de modificação para o momento crítico* | | | | | | |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| O índice de esbeltez das barras comprimidas, tomado como o maior relação entre o comprimento de flambagem e o raio de giração, não deve ser superior a 200. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image8.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | ***65.0*** | image9.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **l**: Índice de esbeltez. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image10.wmf | |  | **lx** | : | *36.5* |  |
|  | **ly** | : | *65.0* |  |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Kx·Lx**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X. |  | **Kx·Lx** | : | *2.500* | m |
| **Ky·Ly**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. |  | **Ky·Ly** | : | *2.500* | m |
| **rx,ry**: Raios de giração em relação aos eixos principales X, Y, respectivamente. |  | **rx** | : | *6.85* | cm |
|  | **ry** | : | *3.85* | cm |

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

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

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image11.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.102*** | image9.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N4, para a combinação de ações 1.25·PP+1.5·SC. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nc,Sd**: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Nc,Sd** | : | *11.480* | t |
|  | | | | | |
| A força axial de compressão resistente de cálculo, Nc,Rd, deve ser determinada pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image12.wmf | |  | | | | |
|  | **Nc,Rd** | : | *112.185* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **c**: Fator de redução total associado à resistência à compressão. |  | **c** | : | *0.734* |  |
| **Q**: Fator de redução total associado à flambagem local. |  | **Q** | : | *1.000* |  |
| **Ag**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **Ag** | : | *47.80* | cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
|  | | | | | |
| **Fator de redução c:** (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3.3) |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image13.wmf | |  | | | | |
|  | **c** | : | *0.734* |  |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **l0**: Índice de esbeltez reduzido. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image14.wmf | |  | | | | |
|  | **l0** | : | *0.859* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Q**: Fator de redução total associado à flambagem local. |  | **Q** | : | *1.000* |  |
| **Ag**: Área bruta da seção transversal da barra. |  | **Ag** | : | *47.80* | cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| **Ne**: Força axial de flambagem elástica. |  | **Ne** | : | *227.615* | t |
|  | | | | | |
| **Força axial de flambagem elástica:** (ABNT NBR 8800:2008, Anexo E) |  |  |  |  |  |
| 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** | : | *227.615* | t |
| |  |  | | --- | --- | | (a) | Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia X da seção transversal: | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image15.wmf | |  | | | | |
|  | **Nex** | : | *722.443* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Kx·Lx**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo X. |  | **Kx·Lx** | : | *2.500* | m |
| **Ix**: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo X. |  | **Ix** | : | *2244.00* | cm4 |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| |  |  | | --- | --- | | (b) | Para flambagem por flexão em relação ao eixo principal de inércia Y da seção transversal: | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image16.wmf | |  | | | | |
|  | **Ney** | : | *227.615* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Ky·Ly**: Comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y. |  | **Ky·Ly** | : | *2.500* | m |
| **Iy**: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y. |  | **Iy** | : | *707.00* | cm4 |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| |  |  | | --- | --- | | (c) | Para flambagem por torção em relação ao eixo longitudinal Z: | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image17.wmf | |  | | | | |
|  | **Nez** | : | *469.881* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Kz·Lz**: Comprimento de flambagem por torção. |  | **Kz·Lz** | : | *2.500* | m |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **Cw**: Constante de empenamento da seção transversal. |  | **Cw** | : | *39930.00* | cm6 |
| **G**: Módulo de elasticidade transversal do aço. |  | **G** | : | *784913* | kgf/cm² |
| **J**: Constante de torção da seção transversal. |  | **J** | : | *20.58* | cm4 |
| **r0**: Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de cisalhamento. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image18.wmf | |  | | | | |
|  | **r0** | : | *7.86* | cm |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **rx,ry**: Raios de giração em relação aos eixos principales X, Y, respectivamente. |  | **rx** | : | *6.85* | cm |
|  | **ry** | : | *3.85* | cm |
| **X0,Y0**: Coordenadas do centro de cisalhamento na direção dos eixos principales X, Y, respectivamente. |  | **X0** | : | *0.00* | mm |
|  | **Y0** | : | *0.00* | mm |
|  | | | | | |
| **Flambagem local de barras axialmente comprimidas:** (ABNT NBR 8800:2008, Anexo F) |  |  |  |  |  |
| Não se aplica nenhuma redução, já que todos os elementos componentes da seção transversal possuem relações entre largura e espessura (b/t) que não superam os valores limite dados na Tabela F.1. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| Mesa: Elemento do Grupo 4 da Tabela F.1. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image19.wmf | |  | **6.64** | £ | **13.48** |  |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **(b/t)**: Relação entre largura e espessura. |  | **(b/t)** | : | *6.64* |  |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **b**: Largura. |  | **b** | : | *77.00* | mm |
| **t**: Espessura. |  | **t** | : | *11.60* | mm |
| **(b/t)lim**: Relação limite entre largura e espessura. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image20.wmf | |  | | | | |
|  | **(b/t)lim** | : | *13.48* |  |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| Alma: Elemento do Grupo 2 da Tabela F.1. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image19.wmf | |  | **17.14** | £ | **35.87** |  |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **(b/t)**: Relação entre largura e espessura. |  | **(b/t)** | : | *17.14* |  |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **b**: Largura. |  | **b** | : | *138.80* | mm |
| **t**: Espessura. |  | **t** | : | *8.10* | mm |
| **(b/t)lim**: Relação limite entre largura e espessura. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image21.wmf | |  | | | | |
|  | **(b/t)lim** | : | *35.87* |  |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image22.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.477*** | image9.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N3, para a combinação de ações 1.25·PP+1.5·SC. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **MSd+**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **MSd+** | : | *4.783* | t·m |
|  | | | | | |
| Já que 'l £ lr', deve-se considerar viga de alma não-esbelta (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G). |  | **17.14** | £ | **137.24** |  |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image23.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *17.14* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **h**: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas. |  | **h** | : | *138.80* | mm |
|  | | | | |
| **tw**: Espessura da alma. |  | **tw** | : | *8.10* | mm |
| |  | | --- | | image24.wmf | |  | | | | |
|  | **lr** | : | *137.24* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
|  | | | | | |
| 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** | : | *10.023* | t·m |
| |  |  | | --- | --- | | (a) | Máximo momento fletor resistente de cálculo (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2.2): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image25.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *13.286* | t·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Wx**: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. |  | **Wx** | : | *277.04* | cm³ |
|  | | | | |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (b) | Estado-límite último de flambagem lateral com torção, FLT (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image26.wmf | |  | **65.00** | > | **42.38** |  |
| |  | | --- | | image27.wmf | |  | **65.00** | £ | **191.23** |  |
| |  | | --- | | image28.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *10.023* | t·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image29.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *65.00* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Lb,sup**: Distância entre pontos travados à flambagem lateral. |  | **Lb,sup** | : | *2.500* | m |
| **ry**: Raio de giração da seção em relação ao eixo principal de inércia perpendicular ao eixo de flexão. |  | **ry** | : | *3.85* | cm |
| |  | | --- | | image30.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *42.38* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image31.wmf | |  | | | | |
|  | **lr** | : | *191.23* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Iy**: Momento de inércia da seção transversal em relação ao eixo Y. |  | **Iy** | : | *707.00* | cm4 |
| **J**: Constante de torção da seção transversal. |  | **J** | : | *20.58* | cm4 |
| **Cw**: Constante de empenamento da seção transversal. |  | **Cw** | : | *39930.00* | cm6 |
| |  | | --- | | image32.wmf | |  | | | | |
|  | **b1** | : | *0.016* | cm-1 |
|  | | | | |
| |  | | --- | | image33.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *11.025* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zx**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zx** | : | *313.50* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image34.wmf | |  | | | | |
|  | **Mr** | : | *6.820* | t·m |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Wx**: Módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal em relação ao eixo de flexão. |  | **Wx** | : | *277.04* | cm³ |
|  | | | | |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image35.wmf | |  | | | | |
|  | **sr** | : | *1055.05* | kgf/cm² |
|  | | | | |
| **Cb**: Fator de modificação para diagrama de momento fletor não-uniforme. |  | **Cb** | : | *1.67* |  |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (c) | Estado-límite último de flambagem local da mesa comprimida, FLM (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image36.wmf | |  | **6.64** | £ | **9.15** |  |
| |  | | --- | | image37.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *10.023* | t·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image38.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *6.64* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **bf**: Largura da mesa comprimida. |  | **bf** | : | *154.00* | mm |
| **tf**: Espessura da mesa comprimida. |  | **tf** | : | *11.60* | mm |
| |  | | --- | | image39.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *9.15* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image33.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *11.025* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zx**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zx** | : | *313.50* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |
| |  |  | | --- | --- | | (d) | Estado-limite último de flambagem local da alma, FLA (ABNT NBR 8800:2008, Anexo G): | |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image36.wmf | |  | **17.14** | £ | **90.53** |  |
| |  | | --- | | image37.wmf | |  | | | | |
|  | **MRd** | : | *10.023* | t·m |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image23.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *17.14* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **h**: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas. |  | **h** | : | *138.80* | mm |
|  | | | | |
| **tw**: Espessura da alma. |  | **tw** | : | *8.10* | mm |
| |  | | --- | | image40.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *90.53* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image33.wmf | |  | | | | |
|  | **Mpl** | : | *11.025* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Zx**: Módulo de resistência plástico. |  | **Zx** | : | *313.50* | cm³ |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

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

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

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

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

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image41.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.076*** | image9.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se para a combinação de ações 1.25·PP+1.5·SC. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **VSd**: Esforço cortante solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **VSd** | : | *1.913* | t |
| A força cortante resistente de cálculo, VRd, é determinada pela expressão: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image42.wmf | |  | **17.14** | £ | **59.22** |  |
| |  | | --- | | image43.wmf | |  | | | | |
|  | **VRd** | : | *25.171* | t |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image44.wmf | |  | | | | |
|  | **l** | : | *17.14* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **h**: Altura da alma, tomada igual à distancia entre as faces internas das mesas. |  | **h** | : | *138.80* | mm |
|  | | | | |
| **tw**: Espessura da alma. |  | **tw** | : | *8.10* | mm |
| |  | | --- | | image45.wmf | |  | | | | |
|  | **lp** | : | *59.22* |  |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **kv**: Coeficiente de flambagem. |  | **kv** | : | *5.00* |  |
| **E**: Módulo de elasticidade do aço. |  | **E** | : | *2038736* | kgf/cm² |
| **fy**: Resistência ao escoamento do aço. |  | **fy** | : | *3516.82* | kgf/cm² |
| |  | | --- | | image46.wmf | |  | | | | |
|  | **Vpl** | : | *27.689* | t |
|  | | | | |
| Sendo: |  |  |  |  |  |
| **Aw**: Área efetiva ao cisalhamento. |  |  |  |  |  |
| |  | | --- | | image47.wmf | |  | | | | |
|  | **Aw** | : | *13.12* | cm² |
|  | | | | |
| **d**: Altura total da seção transversal. |  | **d** | : | *162.00* | mm |
| **ga1**: Coeficiente de segurança do material. |  | **ga1** | : | *1.10* |  |

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Deve satisfazer: |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image48.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | ***0.528*** | image9.bmp |
|  | | | | |
|  | | | | | |
| O esforço solicitante de cálculo desfavorável produz-se no nó N3, para a combinação de ações 1.25·PP+1.5·SC. |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |
| **Nc,Sd**: Força axial de compressão solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Nc,Sd** | : | *11.363* | t |
| **Mx,Sd**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **Mx,Sd+** | : | *4.783* | t·m |
| **My,Sd**: Momento fletor solicitante de cálculo, desfavorável. |  | **My,Sd-** | : | *0.000* | t·m |
|  | | | | | |
| |  | | --- | | image49.wmf | |  | **0.101** | < | **0.200** |  |
| |  | | --- | | image50.wmf | |  | | | | |
|  | **h** | : | *0.528* |  |
|  | | | | |
| Onde: |  |  |  |  |  |
| **Nc,Rd**: Força axial resistente de cálculo de compressão (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.3). |  | **Nc,Rd** | : | *112.185* | t |
| **Mx,Rd,My,Rd**: Momentos fletores resistentes de cálculo, respectivamente em relação aos eixos X e Y da seção transversal (ABNT NBR 8800:2008, Artigo 5.4.2). |  | **Mx,Rd** | : | *10.023* | t·m |
|  | **My,Rd** | : | *4.403* | t·m |

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

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

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

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

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

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

2.3.2.5.- Verificações E.L.U. (Resumido)

| Barras | VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008) | | | | | | | | | | | Estado |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| l | Nt | Nc | Mx | My | Vx | Vy | NMxMy | T | NMVT | s t f |
| N1/N2 | l £ 200.0  Passa | N.A.(1) | x: 0 m  h = 10.2 | x: 2.5 m  h = 47.7 | N.A.(2) | N.A.(3) | h = 7.6 | x: 2.5 m  h = 52.8 | N.A.(4) | N.A.(5) | N.A.(6) | **PASSA**  **h = 52.8** |
| N2/N5 | l £ 200.0  Passa | N.A.(1) | h = 2.7 | x: 2 m  h = 92.0 | N.A.(2) | N.A.(3) | x: 0 m  h = 29.3 | x: 2 m  h = 93.3 | N.A.(4) | N.A.(5) | N.A.(6) | **PASSA**  **h = 93.3** |
| N5/N3 | l £ 200.0  Passa | N.A.(1) | h = 2.7 | x: 0 m  h = 92.0 | N.A.(2) | N.A.(3) | x: 2 m  h = 29.3 | x: 0 m  h = 93.3 | N.A.(4) | N.A.(5) | N.A.(6) | **PASSA**  **h = 93.3** |
| N4/N3 | l £ 200.0  Passa | N.A.(1) | x: 0 m  h = 10.2 | x: 2.5 m  h = 47.7 | N.A.(2) | N.A.(3) | h = 7.6 | x: 2.5 m  h = 52.8 | N.A.(4) | N.A.(5) | N.A.(6) | **PASSA**  **h = 52.8** |
| *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) A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.*  *(2) A verificação não será executada, já que não existe momento fletor.*  *(3) A verificação não será executada, já que não existe esforço cortante.*  *(4) A verificação não é necessária, já que não existe momento torsor.*  *(5) Não há interação entre a esforço axial, momento fletor, esforço cortante e momento torsor. Portanto, a verificação não é necessária.*  *(6) 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.* | | | | | | | | | | | | |