

Combinações de carregamento em estruturas

Exercício 2

(a)

Combinação normal de ações:

$$F_{d,elu} = \sum \gamma_{gi} \times F_{gi,k} + \gamma_q \times (F_{q1,k} + \sum \psi_{0,j} \times F_{qj,k})$$

$$q_{d,elu} = 1,4 \times (1,0 + 8,0 + 10,0) + 1,5 \times (8,0 + 0,8 \times 0,5) = 39,2 \text{ kN/m}$$

Momento solicitante:

$$M_{d,sol} = q_d \times \frac{l^2}{8} = 39,2 \times \frac{5^2}{8} = 122,5 \text{ kN.m} < M_{d,res} = 138 \text{ kN.m} \rightarrow ok!$$

(b)

$$q_{d,els} = \sum F_{gi,k} + \sum \psi_{2j} \times F_{qj,k} = 1,0 + 8,0 + 10,0 + 0,6 \times 8,0 + 0,0 \times 0,5 = 23,8 \text{ kN/m}$$

$$\delta = \frac{5q_d l^4}{384EI_x} = \frac{5 \times 23,8 \times 5,0^4}{384 \times 200000000 \times 7158 \times 10^{-8}} = 0,0135 \text{ m} = 1,35 \text{ cm}$$

$$\delta_{máx} = \frac{l}{360} = \frac{500}{360} = 1,39 > \delta \rightarrow ok!$$

Estruturas de Madeira

Exercício 4

- 10cm x 20cm;
- $l_{fl} = 3m$;
- Dicotiledônea C40;
- Laminada colada;
- 1ª categoria;
- Classe de umidade 1;
- Carregamento de média duração;
- $N_{d,sol} = 150kN$.

Cálculo do k_{mod}

$$k_{mod} = k_{mod,1} \times k_{mod,2} \times k_{mod,3} = 0,80 \times 1,0 \times 1,0 = 0,80$$

Cálculos iniciais

$$f_{c0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{c0,k}}{\gamma_w} = 0,80 \times \frac{40}{1,4} = 22,86MPa$$

$$E_{c,ef} = k_{mod} \times E_{c0,m} = 0,80 \times 19500 = 15600MPa$$

$$A = 10 \times 20 = 200cm^2$$

$$I_x = \frac{10 \times 20^3}{12} = 6666,67cm^4$$

$$I_y = \frac{20 \times 10^3}{12} = 1666,67cm^4$$

$$\lambda_x = \frac{l_{fl}}{\sqrt{\frac{I_x}{A}}} = \frac{300}{\sqrt{\left(\frac{6666,67}{200}\right)}} = 51,96 > 40 \rightarrow \text{medianamente esbelta}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{fl}}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{300}{\sqrt{\frac{1666,67}{200}}} = 103,92 > 80 \rightarrow \text{esbelta}$$

Calcular a peça como se estivesse sujeita à flexocompressão.

Verificação no ELU

$$\sigma_{c0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{150}{200} = 0,75kN/cm^2 < f_{c0,d} = 2,29kN/cm^2 \rightarrow ok!$$

Verificação da estabilidade no eixo X-X

$$e_a = \frac{l_{fl}}{300} = 1,0cm$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E_{c,ef} \times I_x}{l_{fl}^2} = \frac{\pi^2 \times 1560 \times 6666,67}{300^2} = 1140,5kN$$

$$M_d = N_d \times (e_a + e_i) \times \frac{N_{cr}}{N_{cr} - N_d} = 150 \times (1,0 + 0,0) \times \frac{1140,5}{1140,5 - 150} = 172,72kN.cm$$

$$\sigma_{M_d} = \frac{M_d}{W_x} = \frac{172,72}{\frac{6666,67}{10}} = 0,26 kN/cm^2$$

$$\sigma_{N_d} = \frac{150}{200} = 0,75 kN/cm^2$$

$$\frac{0,26 + 0,75}{2,29} = 0,59 < 1,0 \rightarrow ok!$$

Verificação da estabilidade no eixo Y-Y

$$e_a = \frac{l_{fl}}{300} = 1,0 cm$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E_{c,ef} \times I_y}{l_{fl}^2} = \frac{\pi^2 \times 1560 \times 1666,67}{300^2} = 285,12 kN$$

$$N_g^* = \frac{150}{1,5} = 100 kN$$

$$e_c = (e_{ig} + e_a) \times \left(\exp\left(\frac{\varphi N_g^*}{N_{cr} - N_g^*}\right) - 1 \right) = (0,0 + 1,0) \times \left(\exp\left(\frac{0,3 \times 100}{285,12 - 100}\right) - 1 \right) \rightarrow$$

$$e_c = 0,18 cm$$

$$M_d = N_d \times (e_a + e_i + e_c) \times \frac{N_{cr}}{N_{cr} - N_d} = 150 \times (1,0 + 0,0 + 0,18) \times \frac{285,12}{285,12 - 150} \rightarrow$$

$$M_d = 373,5 kN.cm$$

$$\sigma_{M_d} = \frac{M_d}{W_y} = \frac{373,5}{\frac{1666,67}{5}} = 1,12 kN/cm^2$$

$$\sigma_{N_d} = \frac{150}{200} = 0,75 kN/cm^2$$

$$\frac{1,12 + 0,75}{2,29} = 0,82 < 1,0 \rightarrow ok!$$

Conclusão

A peça passa na verificação da resistência à compressão para os esforços apresentados.

Exercício 8

- $10 \times 20\text{cm}$;
- $t = 4\text{cm}$;
- Dicotilêdônea C40;
- Serrada, 1ª categoria;
- Classe de umidade 2;
- Comb 1: $T_d = 108,25\text{kN}$ e $M_{d,y} = 108,25 \times 5 = 541,25\text{kN.cm}$;
- Comb 2: $N_d = 150\text{kN}$;
- $f_{yk} = 310\text{MPa} \rightarrow f_{yd} = 281,8\text{MPa}$;
- $l_{fl} = 3,0\text{m}$.

Cálculo do k_{mod} :

$$k_{mod} = 0,60 \times 1,00 \times 1,00 = 0,60$$

Cálculo dos esforços resistentes

$$f_{c0,d} = 0,60 \times \frac{40}{1,4} = 17,14\text{MPa} \rightarrow f_{t0,d} \cong f_{c0,d} = 17,14\text{MPa}$$

$$f_{vd} = 0,60 \times \frac{6}{1,8} = 2,0\text{MPa}$$

$$E_{c,ef} = 0,60 \times 19500 = 11700\text{MPa}$$

Propriedades geométricas

$$A = 10 \times 20 = 200\text{cm}^2$$

$$I_x = \frac{10 \times 20^3}{12} = 6666,67\text{cm}^4 \rightarrow W_x = \frac{I_x}{\frac{h}{2}} = \frac{b \times h^2}{6} = \frac{6666,67}{10} = 666,67\text{cm}^3$$

$$I_y = \frac{20 \times 10^3}{12} = 1666,67\text{cm}^4 \rightarrow W_y = \frac{1666,67}{5} = 333,33\text{cm}^3$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 5,77\text{cm}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 2,89\text{cm}$$

Verificação à flexotração

$$\sigma_{T_d} = \frac{T_d}{A} = \frac{108,25}{200} = 0,54\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{M_d} = \frac{M_{d,y}}{W_y} = \frac{541,25}{333,33} = 1,62\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{T_d} + \sigma_{M_d} = 0,54 + 1,62 = 2,16\text{kN/cm}^2 > f_{t0,d} \rightarrow \text{não passa!}$$

Verificação à compressão

$$\lambda_x = \frac{l_{fl}}{i_x} = \frac{300}{5,77} = 52 \rightarrow \text{medianamente esbelta}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{fl}}{i_y} = \frac{300}{2,89} = 103,8 \rightarrow \text{esbelta}$$

Verificação das tensões últimas

$$\sigma_{N_d} = \frac{150}{200} = 0,75 < f_{c0,d} \rightarrow ok!$$

Verificação da estabilidade em X

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E_{c,ef} \times I_x}{l_{fl}^2} = \frac{\pi^2 \times 1170 \times 6666,67}{300^2} = 855,4kN$$

$$e_a = \frac{l_{fl}}{300} = 1,0cm$$

$$M_d = N_d \times (e_a + e_i) \times \frac{N_{cr}}{N_{cr} - N_d} = 150 \times 1 \times \frac{855,4}{855,4 - 150} = 181,9kN.cm$$

$$\sigma_{M_d} = \frac{181,9}{666,67} = 0,27kN/cm^2$$

$$\sigma_{N_d} + \sigma_{M_d} = 0,75 + 0,27 = 1,02kN/cm^2 < f_{c0,d} \rightarrow ok!$$

Verificação da estabilidade em Y

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E_{c,ef} \times I_y}{l_{fl}^2} = \frac{\pi^2 \times 1170 \times 1666,67}{300^2} = 213,84kN$$

$$N_g^* = \frac{N_d}{1,5} = 100kN$$

$$e_a = \frac{l_{fl}}{300} = 1,0cm$$

$$e_c = (e_{ig} + e_a) \times \left[\exp\left(\frac{\varphi \times N_g^*}{N_{cr} - N_g^*}\right) - 1 \right] = 1,0 \times \left[\exp\left(\frac{0,8 \times 100}{213,84 - 100}\right) - 1 \right] = 1,02cm$$

$$M_d = N_d \times (e_a + e_i) \times \frac{N_{cr}}{N_{cr} - N_d} = 150 \times 2,02 \times \frac{213,84}{213,84 - 150} = 1014,9kN.cm$$

$$\sigma_{M_d} = \frac{1014,9}{333,33} = 3,05kN/cm^2$$

$$\sigma_{N_d} + \sigma_{M_d} = 0,75 + 3,05 = 3,75kN/cm^2 > f_{c0,d} \rightarrow \text{não passa!}$$

Considerando peça de 15x30, verificação da estabilidade em Y

$$A = 15 \times 30 = 450cm^2$$

$$I_y = \frac{30 \times 15^3}{12} = 8437,5cm^4 \rightarrow W_y = \frac{8437,5}{7,5} = 1125cm^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{8437,5}{450}} = 4,33 \rightarrow \lambda_y = \frac{300}{4,33} = 69,3 \rightarrow \text{medianamente esbelta}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E_{c,ef} \times I_y}{l_{fl}^2} = \frac{\pi^2 \times 1170 \times 8437,5}{300^2} = 1082,6kN$$

$$e_a = \frac{l_{fl}}{300} = 1,0cm$$

$$M_d = N_d \times (e_a + e_i) \times \frac{N_{cr}}{N_{cr} - N_d} = 150 \times 1,0 \times \frac{1082,6}{1082,6 - 150} = 174,1kN.cm$$

$$\sigma_{M_d} = \frac{174,1}{1125} = 0,16kN/cm^2$$

$$\sigma_{N_d} + \sigma_{M_d} = 0,75 + 0,16 = 0,91kN/cm^2 < f_{c0,d} \rightarrow ok!$$

Dimensionamento da ligação

$$\frac{t}{d} = \frac{4}{1,91} = 2,1 < 1,25 \times \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} = 1,25 \times \sqrt{\frac{28,18}{1,714}} = 5,07$$

$$R_{d,1} = 2 \times 0,4 \times f_{ed} \times 1,91 \times t = 10,5kN$$

$$n = \frac{N_d}{R_{d,1}} = \frac{150}{10,5} \cong 15 \text{ parafusos}$$

Exercício 9

- 15cm x 30cm;
- Madeira conífera C30 ($f_{c0,d} = 30MPa$, $f_{v,k} = 6MPa$, $E_{c0,m} = 14500MPa$);
- Carregamento de média duração;
- Classe de umidade 2;
- Madeira serrada;
- 1ª categoria;
- Peso próprio: $q_g = 0,50kN/m$;
- Sobrecarga: $q_q = 3,0 \times 1,0 = 3,0kN/m$.

Cálculo do k_{mod}

$$k_{mod} = k_{mod,1} \times k_{mod,2} \times k_{mod,3} = 0,80 \times 1,0 \times 0,80 = 0,64$$

Tensões resistentes

$$f_{c0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{c0,k}}{\gamma_w} = 0,64 \times \frac{30}{1,4} = 13,7MPa = 1,37kN/cm^2$$

$$f_{t0,d} \cong f_{c0,d} = 1,37kN/cm^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \times \frac{f_{v,k}}{\gamma_w} = 0,64 \times \frac{6}{1,8} = 2,1MPa = 0,21kN/cm^2$$

$$E_{c,ef} = 0,64 \times 14500 = 9280MPa = 928kN/cm^2$$

Esforços de projeto

$$q_d = 1,4 \times 0,5 + 1,5 \times 3,0 = 5,20kN/m$$

$$N_d = 1,98 \times 5,20 = 10,3kN$$

$$T_d = 1,62 \times 5,20 = 8,4kN$$

$$V_d = 3,94 \times 5,20 = 20,5kN$$

$$M_d = 7,06 \times 5,20 = 36,7kN.m = 3670kN.cm$$

Cálculo da esbeltez

$$A = 15 \times 30 = 450cm^2$$

$$I_x = \frac{15 \times 30^3}{12} = 33750cm^4 \rightarrow W_x = \frac{I_x}{\frac{h}{2}} = \frac{33750}{15} = 2250cm^3$$

$$I_y = \frac{30 \times 15^3}{12} = 8437,5cm^4$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{33750}{450}} = 8,66cm$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{8437,5}{450}} = 4,33cm$$

$$\lambda_x = \frac{796}{8,66} = 91,9 > 80 \rightarrow \text{esbelta}$$

$$\lambda_y = \frac{796}{4,33} = 183,83 > 140 \rightarrow \text{passou do limite!}$$

Verificação ao cisalhamento

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{V_d}{b \times h} = \frac{3}{2} \times \frac{20,5}{15 \times 30} = 0,07 \text{ kN/cm}^2 < f_{v,d} = 0,21 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \text{ok!}$$

Verificação à flexotração

$$\sigma_{T_d} = \frac{T_d}{A} = \frac{8,4}{450} = 0,019 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{M_d} = \frac{3670}{2250} = 1,631 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{T_d} + \sigma_{M_d} = 1,65 \text{ kN/cm}^2 > f_{t0,d} = 1,37 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \text{não passa!}$$

Verificação à flexocompressão (tensões últimas)

$$\sigma_{N_d} = \frac{N_d}{A} = \frac{10,3}{450} = 0,023 \text{ kN/cm}^2$$

$$\left(\frac{\sigma_{N_d}}{f_{c0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{M_d}}{f_{c0,d}} = \left(\frac{0,023}{1,37} \right)^2 + \frac{1,631}{1,37} = 1,19 > 1,0 \rightarrow \text{não passa!}$$

Verificação à flexocompressão (estabilidade)

$$e_a = \frac{l_{fl}}{300} = \frac{796}{300} = 2,65 \text{ cm}$$

$$e_i = \frac{M_{id}}{N_d} = \frac{3670}{10,3} = 356,3 \text{ cm} > h/20$$

$$e_c = 0,21 \text{ cm (dado)}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times 928 \times 33750}{l_{fl}^2} = 487,9 \text{ kN}$$

$$M_d = N_d \times (e_a + e_i + e_c) \times \frac{N_{cr}}{N_{cr} - N_d} = 10,3 \times (2,65 + 356,3 + 0,21) \times \frac{487,9}{487,9 - 10,3} \rightarrow$$

$$M_d = 3779,2 \text{ kN.cm}$$

$$\sigma_{M_d} = \frac{3779,2}{2250} = 1,68 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{N_d} + \sigma_{M_d}}{f_{c0,d}} = \frac{0,023 + 1,68}{1,37} = 1,243 > 1,0 \rightarrow \text{não passa!}$$

Verificação do degraú

$$M_d = 2,5 \times 50 = 125 \text{ kN.cm}$$

$$W_x = \frac{30 \times 4^2}{6} = 80 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{M_d} = \frac{M_d}{W_x} = \frac{125}{80} = 1,56 \text{ kN/cm}^2 > f_{c0,d} = 1,37 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \text{não passa!}$$

Cálculo da ligação

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{310}{1,1} = 281,8 MPa$$

$$f_{ed} = f_{c0,d} = 1,37 kN/cm^2$$

$$\frac{t}{d} = \frac{15}{1,27} = 11,8 > 1,25 \times \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} = 1,25 \times \sqrt{\frac{281,8}{13,7}} = 5,7$$

$$R_{d,1} = 0,5 \times d^2 \times \sqrt{f_{ed} \times f_{yd}} = 0,5 \times 1,27^2 \times \sqrt{1,37 \times 28,18} = 5,01 kN$$

$$n = \frac{V_d}{R_{d,1}} = \frac{20,5}{5,01} \cong 5 \text{ parafusos}$$

Exercício 10

- Dicotiledônea C40;
- $k_{mod} = 0,48$
- Comb 1:
 - $T_d = 125,0 \times 1,4 + 38,7 \times 1,5 = 233,05kN$;
 - $M_{d,x} = 233,05 \times 3 = 699,15kN.cm$;
 - $M_{d,y} = 233,05 \times 5 = 1165,25kN.cm$;
- Comb 2:
 - $N_d = 173,3 \times 1,4 + 57,3 \times 1,5 = 328,6kN$;
- $f_{yk} = 310MPa \rightarrow f_{yd} = 281,8MPa$;
- $l_{fl} = 2,24m$ (barra 9).

Cálculo dos esforços resistentes

$$f_{c0,d} = 0,48 \times \frac{40}{1,4} = 13,71MPa \rightarrow f_{t0,d} \cong f_{c0,d} = 13,71MPa$$

$$f_{vd} = 0,48 \times \frac{6}{1,8} = 1,6MPa$$

$$E_{c,ef} = 0,48 \times 19500 = 9360MPa$$

Verificação à flexotração

Propriedades geométricas

$$A = 25 \times 25 = 625cm^2$$

$$I = \frac{25^4}{12} = 32552,1cm^4 \rightarrow W = \frac{32552,1}{12,5} = 2604,17cm^3$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = 7,22cm$$

Verificação

$$\sigma_{T_d} = \frac{T_d}{A} = \frac{233,05}{625} = 0,37kN/cm^2$$

$$\sigma_{M_{d,x}} = \frac{M_{d,x}}{W} = \frac{699,15}{2604,17} = 0,27kN/cm^2$$

$$\sigma_{M_{d,y}} = \frac{M_{d,y}}{W} = \frac{1165,25}{2604,17} = 0,45kN/cm^2$$

$$\sigma_{T_d} + \sigma_{M_{d,x}} + \sigma_{M_{d,y}} = 0,37 + 0,27 + 0,45 = 1,09kN/cm^2 < f_{t0,d} \rightarrow ok!$$

Adotar seção quadrada 25cm x 25cm.

Verificação à compressão

Propriedades geométricas

$$A = 17,5 \times 17,5 = 306,25cm^2$$

$$I = \frac{17,5^4}{12} = 7815,8cm^4 \rightarrow W = \frac{7815,8}{8,75} = 893,2cm^3$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = 5,05\text{cm} > \lambda = \frac{224}{5,05} = 44,35 \rightarrow \text{medianamente esbelta}$$

Verificação das tensões últimas

$$\sigma_{N_d} = \frac{328,6}{306,25} = 1,07 < f_{c0,d} \rightarrow \text{ok!}$$

Verificação da estabilidade

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E_{c,ef} \times I_x}{l_{fl}^2} = \frac{\pi^2 \times 1170 \times 7815,8}{224^2} = 1798,7\text{kN}$$

$$e_a = \frac{l_{fl}}{300} = 0,75\text{cm}$$

$$M_d = N_d \times (e_a + e_i) \times \frac{N_{cr}}{N_{cr} - N_d} = 328,6 \times 0,75 \times \frac{1798,7}{1798,7 - 328,6} = 301,5\text{kN}\cdot\text{cm}$$

$$\sigma_{M_d} = \frac{301,5}{893,2} = 0,34\text{kN/cm}^2$$

$$\sigma_{N_d} + \sigma_{M_d} = 1,07 + 0,34 = 1,41\text{kN/cm}^2 > f_{c0,d} \rightarrow \text{não passa!}$$

Dimensionamento da ligação parafusada

$$\frac{t}{d} = \frac{10,0}{2,2} = 4,6 < 1,25 \times \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{end}}} = 1,25 \times \sqrt{\frac{28,18}{0,46}} = 9,78$$

$$R_{d,1} = 2 \times 0,4 \times f_{end} \times 2,2 \times t = 8,1\text{kN}$$

$$n = \frac{T_d}{R_{d,1}} = \frac{43}{8,1} \cong 6 \text{ parafusos}$$

As dimensões apresentadas pelo projeto não permitem um detalhamento da ligação, para o número de parafusos calculado.

Dimensionamento da ligação engastada

$$f_{c90,d} = 0,25 \times 1,371 \times 1,0 = 0,34\text{kN/cm}^2$$

$$f_{c\beta,d} = \frac{1,371 \times 0,34}{1,371 \times 0,45^2 + 0,34 \times 0,89^2} = 0,85\text{kN/cm}^2$$

$$t \geq \frac{N_d \times \cos\beta}{b \times f_{c\beta,d}} = \frac{328,6 \times 0,89}{10 \times 0,85} = 34,4\text{cm}$$

$$a \geq \frac{N_d \times \cos\beta}{b \times f_{vd}} = \frac{328,6 \times 0,89}{10 \times 0,16} = 182,8\text{cm}$$

Com o valor de t é muito elevado, esse detalhe não é viável.

Estruturas metálicas

Exercício 4

(a)

Informações de projeto:

$$T_d = 1,5 \times T_k = 1,5 \times 597 = 895,5 \text{ kN}$$

$$M_d = 1,5 \times M_k = 1,5 \times 34,0 = 51,0 \text{ kN.m} = 5100 \text{ kN.cm}$$

$$f_y = 34,5 \text{ kN/cm}^2$$

Dados do perfil:

$$I_x = 2611 \text{ cm}^4; I_y = 330 \text{ cm}^4$$

$$W_x = 252,3 \text{ cm}^3; W_y = 49,6 \text{ cm}^3$$

$$r_x = 8,73 \text{ cm}; r_y = 3,10 \text{ cm}$$

$$A_g = 34,2 \text{ cm}^2$$

$$Z_x = 282,3 \text{ cm}^3; Z_y = 76,3 \text{ cm}^3$$

$$\frac{b_f}{2t_f} = 7,92$$

$$\frac{d'}{t_w} = 29,34$$

Cálculo de resistência à tração simples:

$$R_{dt} = \frac{(A_g \times f_y)}{\gamma_{a1}} = \frac{34,2 \times 34,5}{1,1} = 1072,6 \text{ kN}$$

Classificação da seção quanto à flexão:

- Flange

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 9,15 > \lambda_b$$

- Alma

$$\lambda_p = D \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{20000}{34,5}} = 90,53 > \lambda_b$$

Portanto, a seção é compacta.

Cálculo da resistência à flexão simples:

$$M_{d,res} = \frac{M_n}{\gamma_{a1}} = \frac{Z_x \times f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{282,3 \times 34,5}{1,1} = 8853,95 \text{ kN.cm}$$

Verificação à flexotração:

$$\frac{N_d}{N_{d,res}} + \frac{M_d}{M_{d,res}} = \frac{895,5}{1072,6} + \frac{5100}{8853,95} = 1,41 > 1,0 \rightarrow \text{n\~{a}o passou!}$$

Logo, o elemento externo W200x26,6 n\~{a}o passa \~{a} verifica\~{c}\~{a}o de flexotra\~{c}\~{a}o para os carregamentos apresentados.

(b)

Informa\~{c}\~{o}es do projeto:

$$N_d = 1,5 \times N_k = 1,5 \times 346 = 519kN$$

$$l_{fl} = 2 \times \sqrt{2} = 2,83m = 283cm$$

$$f_y = 25kN/cm^2$$

Dados do perfil:

$$A_g = 6,91cm^2$$

$$r_x = r_y = 1,82cm$$

C\~{a}lculo da resist\~{e}ncia \~{a} compress\~{a}o simples:

$$\lambda_0 = \frac{l_{fl}}{r_{min}} \sqrt{\frac{f_y}{\pi^2 E}} = \frac{283}{1,82} \sqrt{\frac{25}{\pi^2 \times 20000}} = 1,75 > 1,5 \rightarrow \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} = \frac{0,877}{1,75^2} = 0,286$$

$$f_c = \chi \times f_y = 0,286 \times 25 = 7,15kN/cm^2$$

$$N_{d,res} = \frac{A_g \times f_c}{\gamma_{a1}} = \frac{6,91 \times 7,15}{1,1} = 44,92kN < N_d \rightarrow \text{n\~{a}o passa!}$$

Logo, a diagonal L 60mm x 60mm x 6mm n\~{a}o passa na verifica\~{c}\~{a}o \~{a} compress\~{a}o simples.

(c)

Informa\~{c}\~{o}es do projeto:

$$N_d = 1,5 \times N_k = 1,5 \times 108 = 162kN$$

$$f_u = 40kN/cm^2 \text{ (diagonal)}$$

$$f_u = 41,5kN/cm^2 \text{ (parafuso)}$$

$$n_{paraf} = 3$$

Informa\~{c}\~{o}es geom\~{e}tricas da liga\~{c}\~{a}o:

$$d = 9,5mm \rightarrow \phi = 9,5 + 3,5 = 13mm$$

$$A_g = 0,71cm^2$$

$$a = 50 - 13 = 37mm$$

$$t = 6mm$$

Resist\~{e}ncia ao corte do parafuso:

$$R_{corte} = \frac{0,4 \times A_g \times f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{0,4 \times 0,71 \times 41,5}{1,35} = 8,73kN$$

Resistência à pressão de apoio da chapa:

$$R_{pa} = \frac{2,4 \times d \times t \times f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{2,4 \times 1,3 \times 0,6 \times 40}{1,35} = 55,47kN$$

Resistência ao rasgamento da chapa:

$$R_{rasg} = \frac{(1,2 \times a \times t \times f_u)}{\gamma_{a2}} = \frac{1,2 \times 3,7 \times 0,6 \times 40}{1,35} = 78,93kN$$

Resistência da ligação:

$$R_{lig} = n_{paraf} \times R_{min} = 3 \times 8,73 = 26,19kN < N_d \rightarrow \text{não passa!}$$

A ligação não é adequada para os esforços apresentados.

Exercício 6

Informações do projeto:

$$T_d = 200kN$$

Informações da geometria da ligação:

$$t_{chapa} = 6,35mm$$

diâm. par. (mm)	A_g (cm ²)	d (mm)	distâncias		a (mm)
			borda (mm)	entre parafusos (mm)	
12,7	1,27	16,2	20	40	11,9
16	2,00	19,5	25	50	15,25
19	2,85	22,5	25	60	13,75

Resistência ao corte do parafuso:

$$R_{corte} = \frac{0,4 \times A_g \times f_u}{\gamma_{a2}}$$

Resistência à pressão de apoio da chapa:

$$R_{pa} = \frac{2,4 \times d \times t \times f_u}{\gamma_{a2}}$$

Resistência ao rasgamento da chapa:

$$R_{rasg} = \frac{1,2 \times a \times t \times f_u}{\gamma_{a2}}$$

Resumo dos cálculos:

diâm. par. (mm)	R_{corte} (kN)	R_{pa} (kN)	R_{rasg} (kN)	R_{adot} (kN)	n_{paraf}
12,7	15,62	73,15	26,87	15,62	13
16	24,59	88,05	34,54	24,59	9
19	35,04	101,60	31,16	31,16	7

