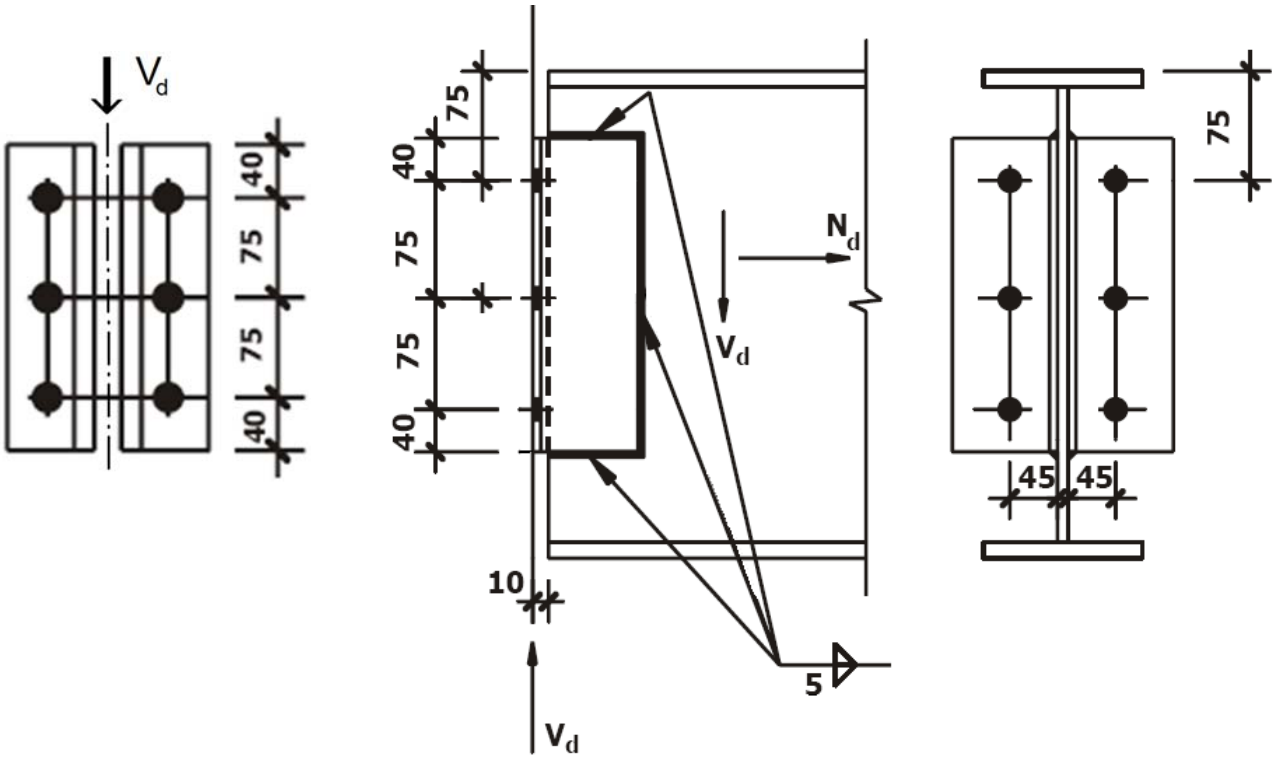
LIGAÇÃO FLEXÍVEL ENTRE VIGA E COLUNA – EXERCÍCIO RESOLVIDO

Seja a ligação flexível viga-coluna com duas cantoneiras soldadas na viga apoiada e parafusadas no pilar, conforme figura abaixo:

Dados:

- L 76x76x6,4
- Viga perfil IP 330 (espessura da alma=7,5mm)
- Aço MR-250;
- Parafusos: A325N d=22mm;
- Eletrodos revestidos E70XX;
- Furos padrão;
- V= 180 kN (ação permanente, normal, γ=1,5)
- N=0



A partir da observação de que a cantoneira de ligação está submetida uma ação excêntrica em relação a sua linha de parafusos, e de que sua aba soldada também está submetida à ação excêntrica da reação de apoio, pede-se verificar segundo a NBR-8800/2008:

a) a adequação da ligação parafusada por contato e por atrito;

b) a pressão de contato nas cantoneiras (rasgamento e esmagamento);

c) o colapso por rasgamento nas cantoneiras (cisalhamento de bloco);

d) a solda de filete da ligação da cantoneira com a alma da viga.

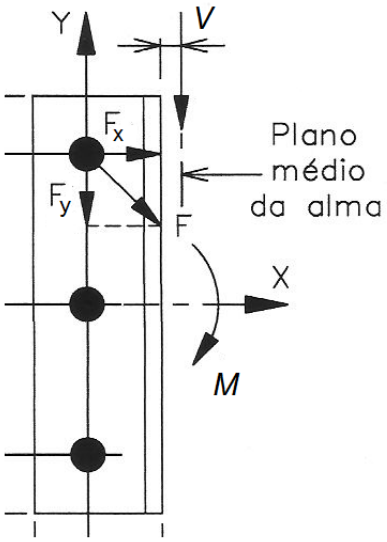
SOLUÇÃO

a) a adequação da ligação parafusada por contato e por atrito;

i. Forças nos parafusos:

$$V_d = 180 \cdot 1{,}5 = 270kN$$

$$F_y = \frac{1}{3}\frac{270}{2} = 45kN$$ (carga vertical centrada)



$$F_x = \frac{M_d \cdot \rho_y}{\sum r^2} = \frac{\overbrace{\left[\frac{270}{2}\cdot\left(45+\frac{7{,}5}{2}\right)\right]\cdot 75}^{6.581Nm}}{\left(75^2+75^2\right)} = 43{,}9kN$$

ou ainda:

$$F_x = \frac{M_d}{d} = \frac{6.581\,\mathrm{kN}\cdot mm}{150mm} = 43{,}9kN$$

(carga horizontal associada ao momento devido à excentricidade do eixo da viga em relação à cada linha de parafusos)

$$\Rightarrow S_d = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = 62{,}9kN$$ (componente vetorial das forças)

ii. Cisalhamento nos parafusos (A325N) – ligação por contato:

$$R_d = 0{,}4\frac{A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}} = 0{,}4\frac{\frac{\pi(22)^2}{4}825}{1{,}35} = 92.921N = 92{,}9kN \geq S_d$$

iii. Cisalhamento nos parafusos – ligação por atrito:

$$R_d = R_k = 0{,}8 \cdot \mu \cdot C_h \cdot F_{Tb} = 0{,}8 \cdot 0{,}35 \cdot 1 \cdot F_{Tb}$$

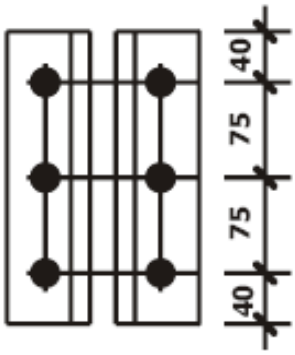
Tabela 15 NBR 8800 – parafusos A325N d=22mm $\Rightarrow F_{Tb} = 176kN$

$$\Rightarrow R_k = 49{,}3kN \geq S_k = \frac{62{,}9}{1{,}5} = 41{,}9kN$$

Parafusos: **Ok!**

SOLUÇÃO - continuação

b) Verificar a pressão de contato (rasgamento e esmagamento) nas cantoneiras:



$$R_{dt} = \begin{cases} \dfrac{1{,}2 \cdot \ell_f \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{a2}} \\ \dfrac{2{,}4 \cdot d_b \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{a2}} \end{cases}$$

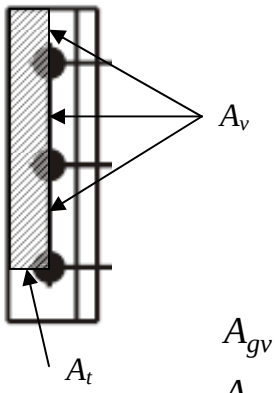
$$\Rightarrow \ell_f = \begin{cases} 40 - \dfrac{(d_b + 1{,}5)}{2} = 28{,}3mm \ \text{(paraf. externo)} \\ 75 - (d_b + 1{,}5) = 51{,}5mm \ \text{(paraf. interno)} \end{cases}$$

$$\Rightarrow R_{dt} = \begin{cases} \dfrac{1{,}2 \cdot 28{,}3 \cdot 6{,}4 \cdot 400}{1{,}35} = 64.398N = 64{,}4kN \\ \dfrac{2{,}4 \cdot 22 \cdot 6{,}4 \cdot 400}{1{,}35} = 100.124N = 100{,}1kN \end{cases}$$

Neste caso, a resistência da ligação consiste na resistência do parafuso mais externo (mais solicitado, menor resistência):

$\Rightarrow R_d = 64{,}4kN \geq S_d = 62{,}9kN$ **Ok!**

c) Verificar as cantoneiras quanto ao colapso por rasgamento (cisalhamento de bloco):



$$R_d = \begin{cases} \dfrac{0{,}6 \cdot f_u \cdot A_{nv} + C_{ts} \cdot f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{a2}} \\ \dfrac{0{,}6 \cdot f_y \cdot A_{gv} + C_{ts} \cdot f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{a2}} \end{cases}$$

$$A_{gv} = \ell_v \cdot t = 190 \cdot 6{,}4 = 1216mm^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} - n_b \cdot (d_b + 3{,}5) = 1216 - 2{,}5 \cdot (22 + 3{,}5) \cdot 6{,}4 = 808mm^2$$

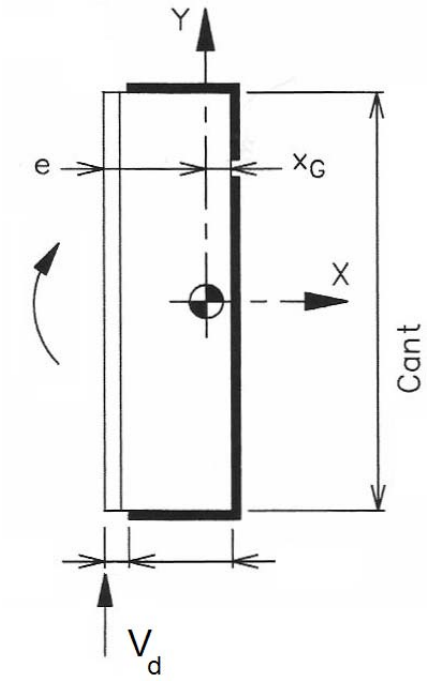
$$A_{nt} = \ell_t \cdot t - \frac{(d_b + 3{,}5)}{2} t = (76 - 45) \cdot 6{,}4 - \frac{(22 + 3{,}5)}{2} \cdot 6{,}4 = 117mm^2$$

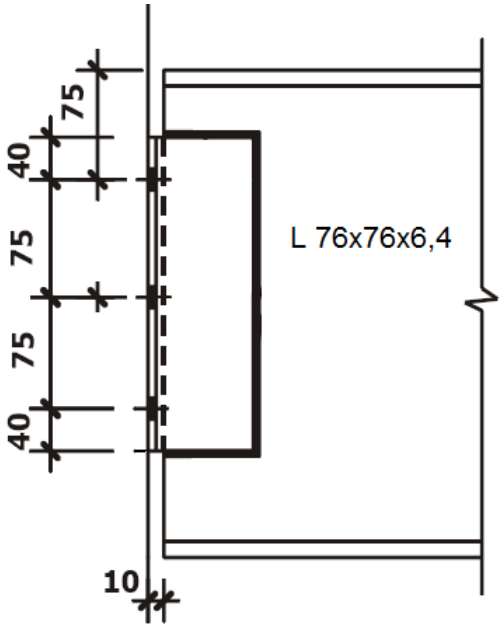
$$\Rightarrow R_d = \begin{cases} \dfrac{0{,}6 \cdot 400 \cdot 808 + 1 \cdot 400 \cdot 117}{1{,}35} = 178.311N = 178{,}3kN \\ \dfrac{0{,}6 \cdot 250 \cdot 1216 + 1 \cdot 400 \cdot 117}{1{,}35} = 169.778N = 169{,}8kN \end{cases}$$

$\Rightarrow R_d \geq S_d = \dfrac{270}{2} = 135kN$ **Ok!**

SOLUÇÃO - continuação

d) Verificar a solda de filete da ligação da cantoneira com a alma da viga:





i. Centróide da linha soldada:

$$x_G = \frac{2d\cdot(76-10)\cdot\frac{(76-10)}{2} + d\cdot 230\cdot 0}{2d\cdot(76-10)+d\cdot 230} = \frac{2\cdot\frac{66^2}{2}}{2\cdot 66+230} = 12{,}0mm$$

ii. Excentricidade:

$$e = 76 - x_G = 64mm$$

iii. Momentos de inércia

$$\frac{I_X}{d} = 2\cdot 66\cdot 115^2 + \frac{230^3}{12} = 2.759.617mm^4/mm$$

$$\frac{I_y}{d} = 230\cdot(x_G)^2 + 2\left(\frac{66^3}{12} + 66\cdot(33-x_g)^2\right) = 139.248mm^4/mm$$

$$\frac{J_O}{d} = \frac{I_x}{d} + \frac{I_y}{d} = 2.898.865mm^4/mm$$

iv. Esforço cisalhante (por unidade de comprimento de perna unitária de solda) devido ao cortante:

$$q_{y1} = \frac{V_d}{\sum A} \Rightarrow \tau_{y1} = \frac{270 \cdot 10^3}{2 \cdot (230 + 2 \cdot 66)} = 373 N/mm$$

v. Esforço cisalhante devido ao momento torçor:

$$q_{x2,y1} = \frac{T_d}{J_O} \rho_{y,x} \Rightarrow q_{x2,y1} = \frac{V_d \cdot e}{J_O} \rho_{y,x} = \frac{\frac{270 \cdot 10^3 \cdot 64}{2}}{2.898.865} \rho_{y,x} = 2{,}98 \cdot \rho_{y,x}$$

$$\Rightarrow q_{x\max} = 2{,}98 \cdot \rho_{y\max} = 2{,}98 \cdot 115 = 343 N/mm$$
$$\Rightarrow q_{y\max} = 2{,}98 \cdot \rho_{x\max} = 2{,}98 \cdot (66 - 12) = 161 N/mm$$

vi. Esforço resultante:

$$q_d = \sqrt{q_{x\max}^2 + (q_{y\max} + q_{y1})^2} \Rightarrow \tau_d = \sqrt{343^2 + (161 + 373)^2} = 635 N/mm$$

vii. Verificação da solda:

$$R_d = 0{,}6 \frac{A_w f_w}{\gamma_{w2}} = 0{,}6 \frac{\left(\frac{\sqrt{2}}{2} \ell_w d_w\right) f_w}{\gamma_{w2}}$$

$$\Rightarrow \frac{R_d}{\ell_w} = 0{,}6 \frac{\left(\frac{\sqrt{2}}{2} d_w\right) f_w}{\gamma_{w2}} = 762{,}1 N/mm \geq q_d$$

Ou ainda:

$$\Rightarrow d_w \geq q_d \cdot \frac{\gamma_{w2}}{0{,}6\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right) f_w} \Rightarrow d_w \geq \frac{635}{0{,}6\frac{\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)485}{1{,}35}} = 4{,}2mm$$

Espessura da cantoneira = 6,4mm (1/4") $\Rightarrow d_{w\min} \geq 3mm$

$\Rightarrow d_{w\max} = t - 1{,}5mm \cong 5mm$

$\Rightarrow d_w = 5mm$ **Ok!**