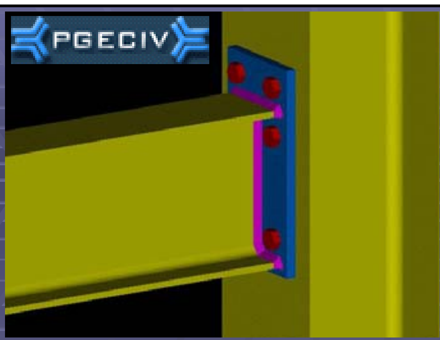
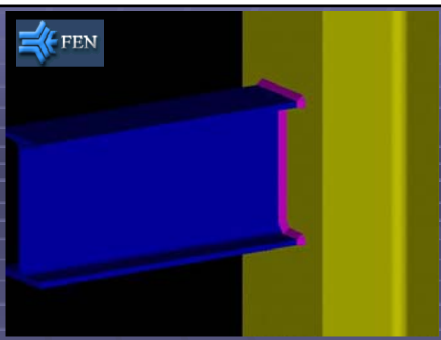




Ligações Soldadas

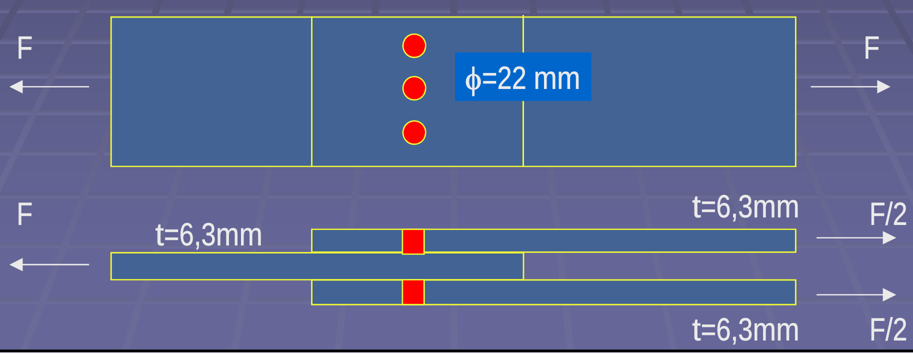
Terceira Parte

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
PGECIV - Mestrado Acadêmico
Faculdade de Engenharia – FEN/UERJ
Disciplina: Tópicos Especiais em Projeto (Ligações em Aço e Mistas)
Professor: Pedro Vellasco

14. Exemplos

1. Determinar o valor mínimo para a força F sabendo-se que foi utilizada solda de bujão

- Dados: F_y = 250 MPa e F_w = 415 MPa



3

14. Exemplos

V_r menor de $0,67 \,.\, \phi \,.\, A_m \,.\, F_y = 0,67 \,.\, 0,9 \,.\, 0,250 \,.\, A_m = 0,15\, A_m$

$0,67 \,.\, \phi_w \,.\, A_w \,.\, F_w = 0,67 \,.\, 0,67 \,.\, 0,415 \,.\, A_w = 0,19\, A_m$

$$A_m = A_w = \left(\frac{\pi d^2}{4}\right) x3 = \left(\frac{\pi (22)^2}{4}\right) x3 = 1140,4 mm^2$$

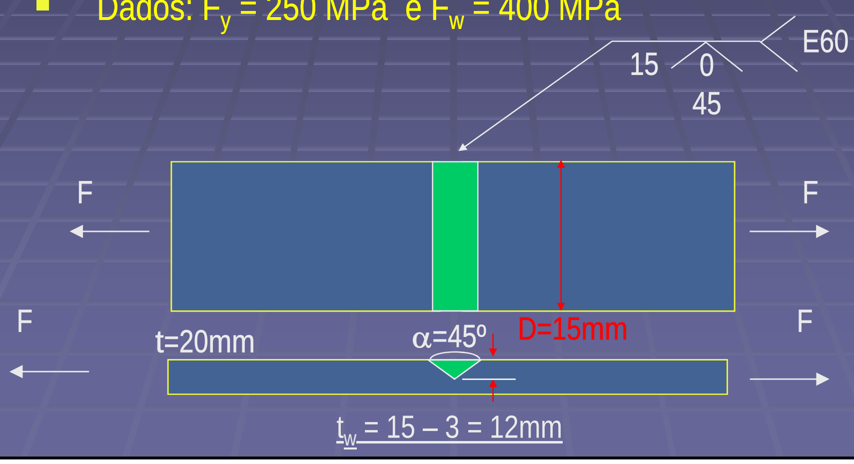
$V_r = F / 2 = 0,15 \,.\, 1140,1 = 171,92kN \rightarrow$ $\boxed{F = 343,84kN}$

4

14. Exemplos

2. Determinar o valor mínimo para a força F sabendo-se que foi utilizada solda de entalhe com penetração parcial

- Dados: F_y = 250 MPa e F_w = 400 MPa



5

14. Exemplos

$V_r = \phi \, . \, A_n \, . \, F_u$

$A_n = t_w \, . \, l_w = 12 \, . \, 300 = 3600 \text{ mm}^2$

$V_r = 0{,}9 \, . \, 3600 \, . \, 0{,}400 = 1296\text{kN}$

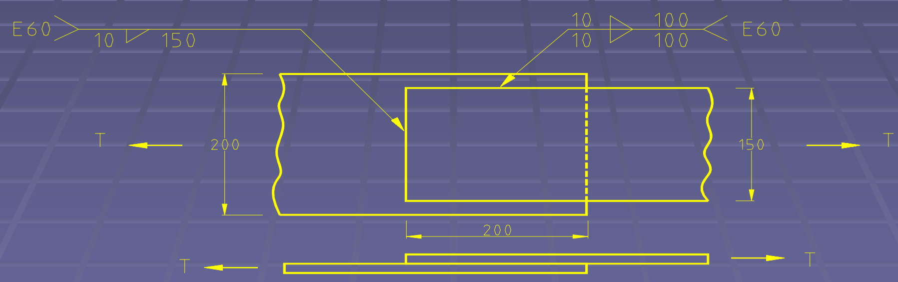
$\boxed{F = 1296\text{kN}}$

6

14. Exemplos

3. Determinar a resistência da ligação abaixo

Dados: $F_y = 250$ MPa e $F_w = 415$ MPa



7

PGECIV FEN

14. Exemplos

$t_w = 0{,}707 \cdot 10 = 7{,}07\ mm$

$l_w = 2 \times 100 + 150 = 350\ mm$

$A_w = 7{,}07 \times 350 = 2474{,}5\ mm^2 \quad , \quad A_m = 10 \times 350 = 3500\ mm^2$

$\phi\, A_m\, F_y \cdot 0{,}67 = 0{,}67 \times 3500 \times 0{,}25 \times 0{,}9 = 527\ kN$

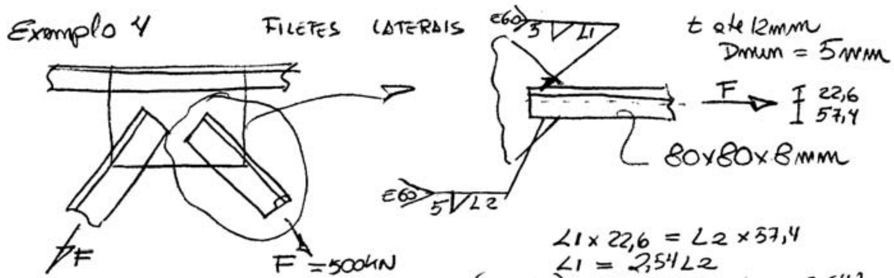
$\phi_w\, A_w\, X_u \cdot 0{,}67 = 0{,}67 \times 0{,}67 \times 0{,}415 \times 2474{,}5 = 460{,}98$ → controla

8

PGECIV FEN

14. Exemplos

Exemplo 4 Filetes laterais



$L_1 \times 22{,}6 = L_2 \times 57{,}4$

$L_1 = 2{,}54\, L_2$

$L_w = (L_1 + L_2) = 2{,}54\, L_2 + L_2 = 3{,}54\, L_2$

$F = 500\ kN$

$\phi\, A_m\, F_y \cdot 0{,}67 = 0{,}67 \times 0{,}9 \times 0{,}25 \times 5 \times 3{,}54\, L_2 = 2{,}67\, L_2$

$\phi_w\, A_w\, X_u \cdot 0{,}67 = 0{,}67 \times 0{,}67 \times 0{,}415 \times \underbrace{5 \times 0{,}707}_{t_w} \times 3{,}54\, L_2 = 2{,}33\, L_2$

controla

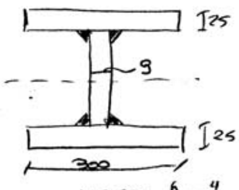
$2{,}33\, L_2 = 500 \quad \therefore \quad L_2 = 214{,}18 \approx 215\ mm \approx 22\ mm$

$L_1 = 2{,}54\, L_2 = 544{,}77 \approx 545\ mm \approx 55\ mm$

9

PGECIV FEN

EXEMPLO 5



$I_x = 14750 \times 10^6 \, mm^4$

t = 5mm

Aço MR-250

$V_d = 800kN$

E 70XX
$X_u = 495$ MPa

fluxo na junção mesa x alma

$$q = \frac{VQ}{I} = \frac{800 \times 25 \times 300 \times (700 - 25/2)}{14750 \times 10^6}$$

$q = 0,28$ kN/mm

$V_r = 0,67 \times 0,9 \times 5 \cdot 1 \cdot 0,25 = 0,75$ kN/mm ← controla

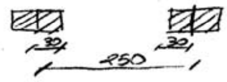
$V_r = 0,67 \; 0,67 \times 5 \times 0,707 \cdot 1 \times 0,495 = 0,79$ kN/mm

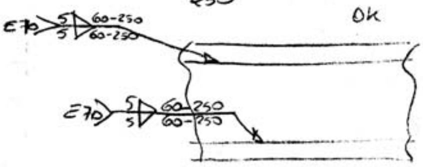
Tentado 2x soldas $l_w = 60$ mm espaçados de 250 mm

$l_{min} \geq$ 4D 40 mm $4 \times 5 = 20$ mm

$q = 0,75 \times \frac{60}{250} \times 2 = 0,36 > 0,28$

ok



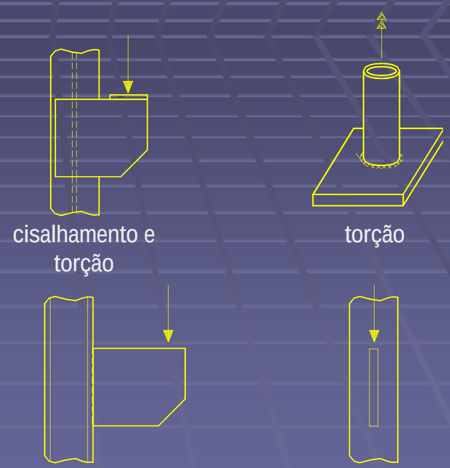


10

PGECIV FEN

15. Carregamento Excêntrico

- Se a relação força por comprimento de solda *versus* deslocamento for admitida linear → princípio de superposição é válido e o cálculo das ligações sujeitas a cisalhamento, torção e flexão combinados, pode ser feito isoladamente



11

15. Carregamento Excêntrico

- Taxa de força devido ao cortante V

$$q_V = \frac{V}{L}$$

- Taxa de força devido ao momento fletor M

$$q_m = \frac{M\,.\,c}{\bar{I}}$$

I é o momento de inércia do cordão de solda em relação ao eixo de flexão e c a distância deste eixo ao ponto da solda

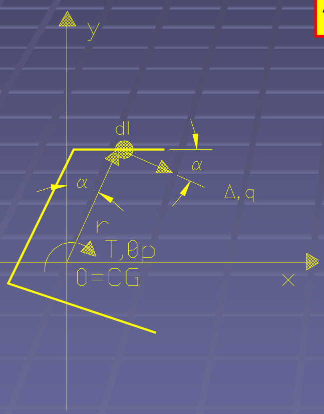
- Taxa de força devido ao torsor T

$$q_t = \frac{T\,.\,r}{\bar{I}_p}$$

Ip é o momento polar de inércia da solda em relação ao seu centro geométrico, e r é a distância deste centro ao ponto da solda em consideração

12

15. Carregamento Excêntrico



$$\Delta = \theta_p \text{ x } r$$

$$q_t = k \text{ x } \Delta = k \text{ x } \theta_p \text{ x } r$$

fluxo / cordão de solda

$$T = \int_0^L q_t\,.\,r\,.\,dL = k\,.\,\theta_p \int_0^L r^2 dL =$$

$$T = k\,.\,\theta_p\,.\bar{I}_p$$

13

15. Carregamento Excêntrico

$$q_t = \frac{T}{\bar{I}_p} r$$

$$q_{tx} = \frac{T}{I_p} r \,.\cos\alpha = \frac{T}{I_p} y$$

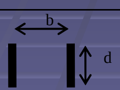
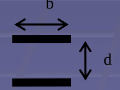
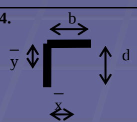
$$q_{ty} = \frac{T}{I_p} r \,.\,\text{sen}\,\alpha = \frac{T}{I_p} x$$

Roteiro:

1. t_w → seção geométrica
2. sistema de coordenadas no CG da solda
3. cisalhamento, flexão e torção na solda
4. carga / comprimento de solda → resistências
5. combinação vetorial → resistência final da solda

14

15. Carregamento Excêntrico

Seção b = largura e d = altura	$\bar{x}$ e $\bar{y}$	Módulo da seção $I_x / \bar{y}$	Momento Polar de Inércia em relação ao centro geométrico
1.  d		$W = \frac{d^2}{6}$	$\bar{I}_p = \frac{d^3}{12}$
2.  b d		$W = \frac{d^2}{3}$	$\bar{I}_p = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
3.  b d		$W = b\,d$	$\bar{I}_p = \frac{b(3d^2 + b^2)}{6}$
4.  b d $\bar{y}$ $\bar{x}$	$\bar{y} = \frac{d^2}{2(b+d)}$ $\bar{x} = \frac{b^2}{2(b+d)}$	$W = \frac{4bd + d^2}{6}$	$\bar{I}_p = \frac{(b+d)^2 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$

15

15. Carregamento Excêntrico

5. b, d, x	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$	$W = bd + \frac{d^2}{6}$	$\bar{I}_p = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d}$
6. b, $\bar{y}$, d	$\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$	$W = \frac{2bd + d^2}{3}$	$\bar{I}_p = \frac{b^3 + 6b^2d + 8d^3}{12} - \frac{d^4}{2d+b}$
7. b, d		$W = bd + \frac{d^2}{3}$	$\bar{I}_p = \frac{(b+d)^3}{6}$
8. b, $\bar{y}$, d	$\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$	$W = \frac{2bd + d^2}{3}$	$\bar{I}_p = \frac{b^3 + 8d^3}{12} - \frac{d^4}{b+2d}$
9. b, d		$W = bd + \frac{d^2}{3}$	$\bar{I}_p = \frac{b^3 + 3bd^2 + d^3}{6}$
10. x, r, x		$W = \pi r^2$	$\bar{I}_p = 2\pi r^3$

16

15. Carregamento Excêntrico

- Processo de dimensionamento alternativo

$$\left(\frac{P}{P_0}\right)^2 + \left(\frac{M}{M_0}\right)^2 + \left(\frac{T}{T_0}\right)^2 + 2\left(\frac{T}{T_0}\right)\left(\frac{P}{P_0}\right)^2 \cos\varphi = 1$$

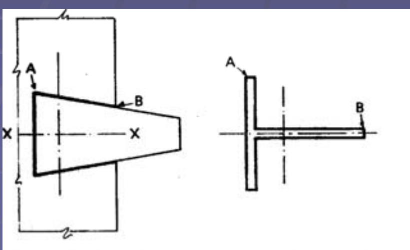


Figure 8.13 Examples of weld groups that do not conform to a conventional interaction relationship. A – critical points for moment about XX; B – critical points for torsion

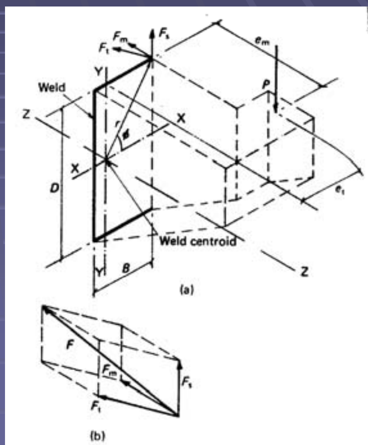
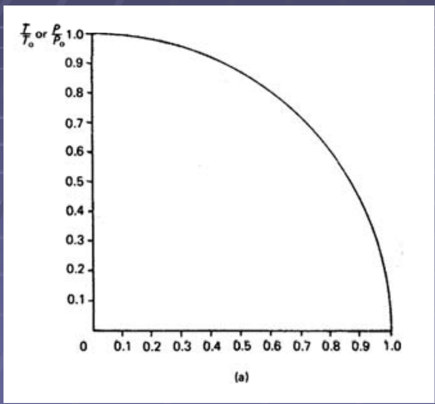


Figure 8.10 Weld group under combined shear torsion and moment. (a) Overall analysis; (b) vector summation

17

15. Carregamento Excêntrico



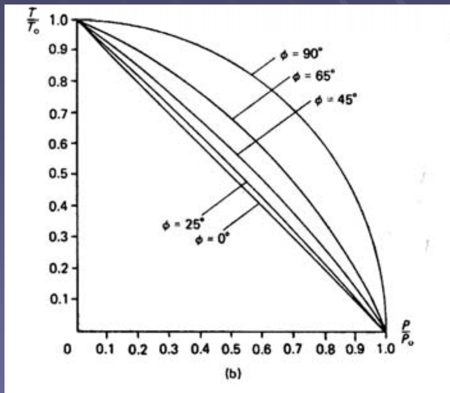
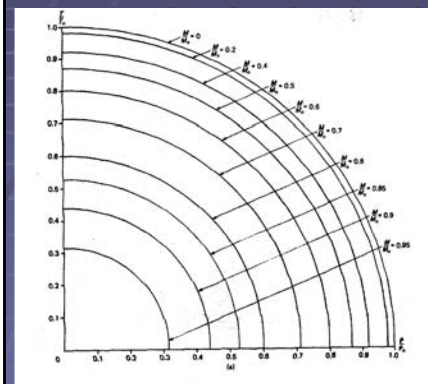


Figure 8.14 Interaction diagrams for weld groups. (a) P/P_0 or $T/T_0 = 0$; (b) $M/M_0 = 0$

18

15. Carregamento Excêntrico

- ϕ = 90º e ϕ = 65º



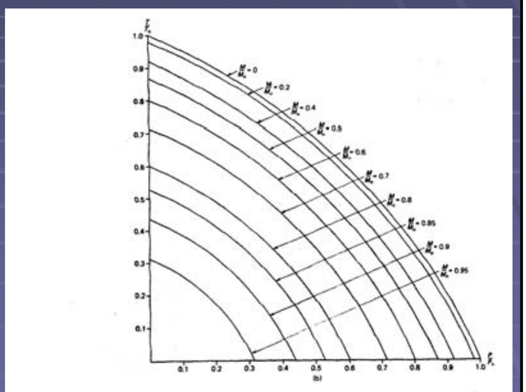
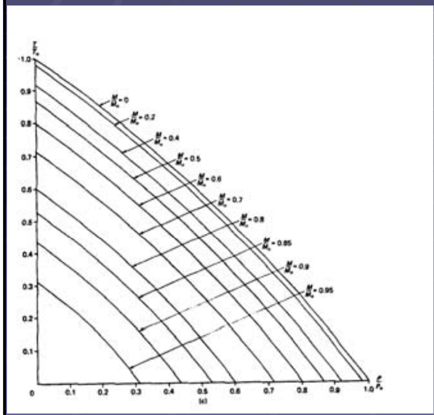


Figure 8.15 Interaction diagrams for weld groups. (a) $\varphi = 90°$; (b) $\varphi = 65°$;

19

15. Carregamento Excêntrico

- $\phi = 45^{o}$ e $\phi = 25^{o}$ e 0^{o}



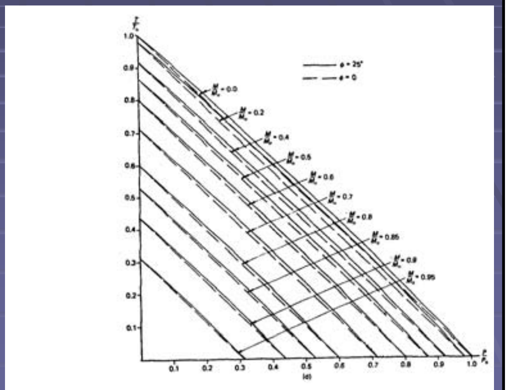


Figure 8.15 (cont.) (c) φ = 45°; (d) φ = 25° and 0°

20

15. Carregamento Excêntrico

- Cargas no Plano

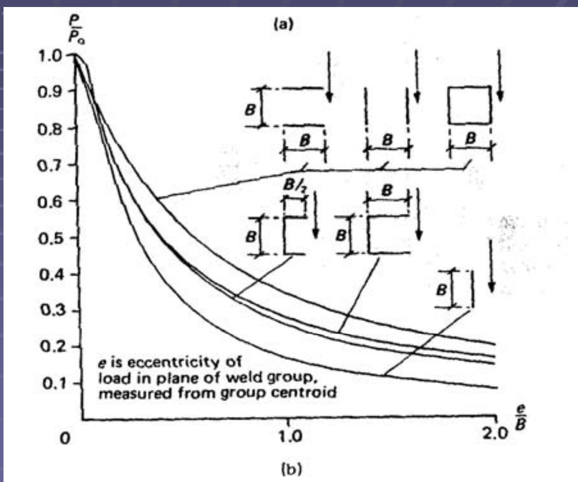


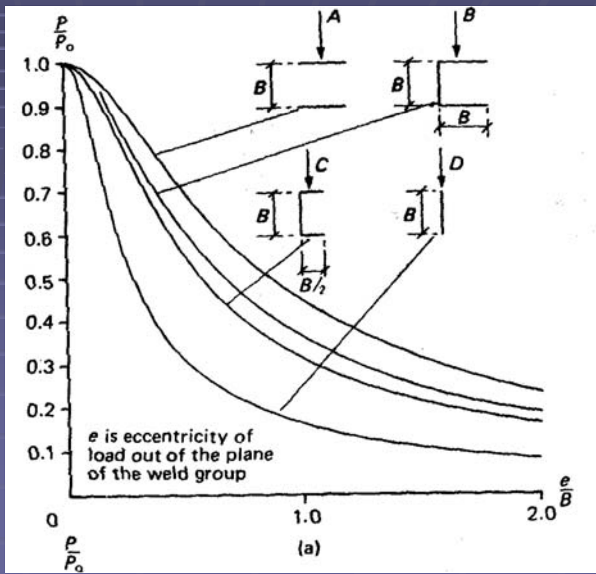
Figure 8.16 Interaction diagrams for weld groups. (a) Shear/moment diagrams, with no torsion: (b) shear/torsion diagrams, with no moment

21

PGECIV FEN

15. Carregamento Excêntrico

- Cargas fora do Plano



22

PGECIV FEN

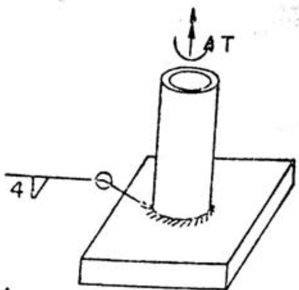
16. Exemplos com Cargas Excêntricas

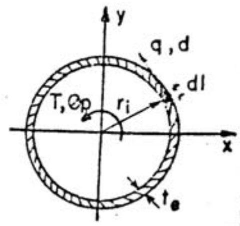
EXEMPLO 6

DETERMINE O TORSOR DE PROJETO MÁXIMO DA LIGAÇÃO ABAIXO

E60XX $X_u = 415$ MPa , $F_y = 250$ MPa , $F_u = 400$ MPa

RAIO = 240 mm





$t_w = 0{,}707\,D = 0{,}707 \times 4 = 2{,}83$ mm

- Esforços

$q_t = \frac{T\,r}{I_p}$ $\qquad \underbrace{I_p \cong 2\pi r^3}_{\text{cordão de solda unitário}} = 2 \cdot \pi \cdot 240^3 = 8{,}69 \times 10^7\ N\,mm^3$

$q_t = \frac{T_d}{I_p} r = \frac{T_d \cdot 240}{8{,}69 \times 10^7} = 2{,}76 \times 10^{-6}\, T_d$

23

16. Exemplos com Cargas Excêntricas

- Resistência

$A_w = t_w \cdot x \, 1\,mm = 2{,}83\,mm^2$, $A_m = 4 \times 1 = 4\,mm^2$

$0{,}67\,\phi_w\,A_w\,X_u = 0{,}67 \times 0{,}67 \times 2{,}83 \times 415 = 527{,}21\,N/mm^2 \rightarrow$ controla

$0{,}67\,\phi\,A_m\,F_y = 0{,}67 \times 0{,}9 \times 4 \times 250 = 603{,}0\,N/mm^2$

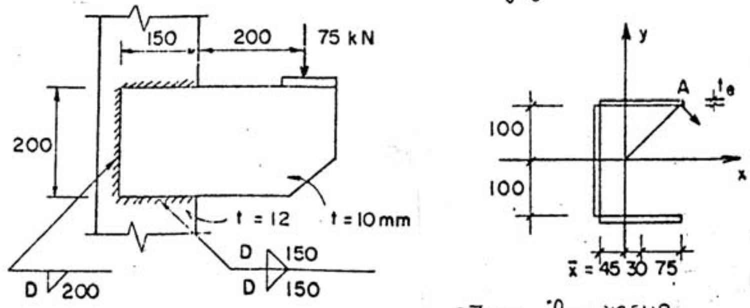
$R_d = 0{,}527\,kN/mm^2$

$R_d \geq q_d \qquad 0{,}527 \geq T_d \cdot 2{,}76 \times 10^{-6} \quad \therefore \quad T_d \leq 1{,}91 \times 10^5\,kN\,mm$

24

16. Exemplos com Cargas Excêntricas

EXEMPLO 7 Dimensione a solda da figura abaixo



$l = (2 \times 150 + 200) = 500\,mm$

$\bar{x} = \dfrac{2 \times 150 \times 75}{500}$

$\bar{x} = 45\,mm$

E70XX $f_w = 485\,MPa$
(HR-250)

25

PGECIV FEN

16. Exemplos com Cargas Excêntricas

$$I_p = I_x + I_y \quad , \quad I_y = \frac{2 \times 150^3}{12} + 2 \times 150 \times 30^2 + 200 \times 45^2 + \left(\frac{200}{12}\right) = 1{,}24 \times 10^6$$

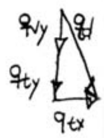
$$I_x = \frac{200^3}{12} + \left(2 \times \frac{150}{12}\right) + 2 \times 150 \times 100^2 = 3{,}67 \times 10^6 \, mm^4 \; \therefore \; I_p = 4{,}91 \times 10^6 \, mm^4$$

- Esforços

$$q_{vy} = \frac{75}{500} = 0{,}15 \, kN/mm \; (\downarrow) \quad , \quad T = 75(\overset{e}{200} + \overset{(L-\bar{x})}{105}) = 22{,}9 \times 10^3 \, kN/mm$$

$$q_{tx} = \frac{T y}{I_p} = \frac{22{,}9 \times 10^3 \times 100}{4{,}91 \times 10^6} = 0{,}466 \, kN/mm \; (\rightarrow)$$

$$q_{ty} = \frac{T x}{I_p} = \frac{22{,}9 \times 10^3 \times 105}{4{,}91 \times 10^6} = 0{,}490 \, kN/mm \; (\downarrow)$$



$$q_d = \sqrt{(0{,}466 + 0)^2 + (0{,}490 + 0{,}15)^2} = 0{,}791 \, kN/mm$$

26

PGECIV FEN

16. Exemplos com Cargas Excêntricas

- Resistência

$$A_w = 0{,}707 \, D \cdot 1 = 0{,}707 \, D$$
$$A_m = D \cdot 1 = D$$

$$0{,}67 \, \phi_w \, A_w \, X_u = 0{,}67 \cdot 0{,}67 \cdot 0{,}707 D \cdot 0{,}485 = 0{,}154 \, D \; kN/mm$$

$$0{,}67 \, \phi \, A_m \, F_y = 0{,}67 \; 0{,}9 \; D \cdot 0{,}25 = 0{,}151 \, D \; kN/mm \rightarrow \text{controla}$$

$$q_r = 0{,}151 D \; kN/mm$$

$$q_r \geq q_d$$

$$0{,}151 D \geq 0{,}791 \quad \therefore \; D \geq 5{,}25 \, mm$$

$$t = 12 \, mm \qquad D_{min} = 5 \, mm$$

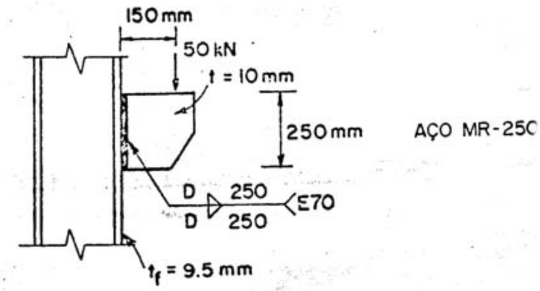
$$\text{use} \quad D = 6 \, mm$$

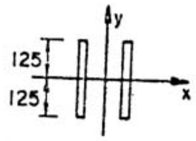
27

![PGECIV] ![FEN]

16. Exemplos com Cargas Excêntricas

EXEMPLO 8   Dimensione a ligação da figura abaixo





$\ell = 2 \times 250 = 500\ mm$

$$I_x = \frac{2 \times 250^3}{12} = 260 \times 10^4\ mm^4$$

28

16. Exemplos com Cargas Excêntricas

– Esforços

$$q_{vy} = \frac{P}{\ell} = \frac{50}{500} = 0,1\ KN/mm$$

$$q_{mz} = \frac{Mc}{I_x} = \frac{(50 \times 150) \times 125}{260 \times 10^4} = 360\ N/mm = 0,360\ KN/mm$$

$$q_d = \sqrt{(0,1)^2 + (0,36)^2} = 0,374\ KN/mm$$

Do exemplo 7 $q_r = 0,151\ D$

$0,151\ D \geq 0,374 \quad \therefore \quad D \geq 2,48\ mm$

$t = 10\ mm$ (Chapa + espessura) $\rightarrow D_{min} = 5\ mm$

Usar $D = 5\ mm$