

ESTRUTURAS EM AÇO

05 – Barras Tracionadas

(ABNT NBR 8800:2024)

5.2 - Barras prismáticas submetidas a força axial de tração.

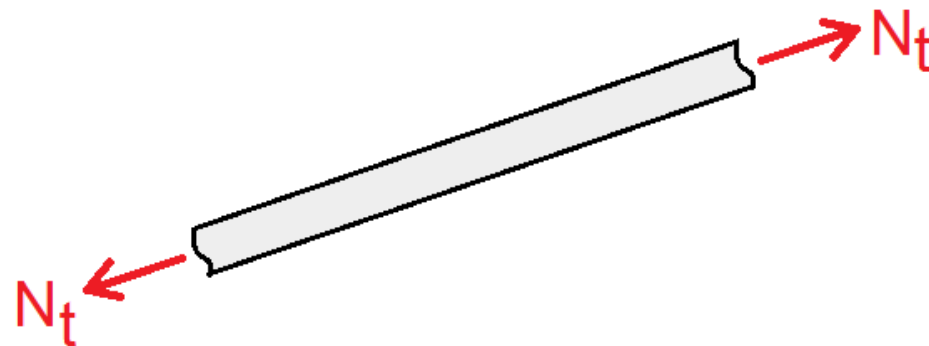
No dimensionamento, deve ser atendida a condição:

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd}$$

onde:

$N_{t,Sd}$: é a força axial de tração solicitante de cálculo;

$N_{t,Rd}$: é a força axial de tração resistente de cálculo.



5.2.2 - Força axial resistente de cálculo

(exceto para barras redondas com extremidades rosqueadas e barras ligadas por pinos)

$N_{t,Rd}$ é o menor dos valores obtidos, considerando-se:

a) ELU para escoamento da seção bruta:
$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

b) ELU para ruptura da seção líquida:
$$N_{t,Rd} = \frac{A_e \cdot f_u}{\gamma_{a2}}$$

onde:

A_g é a área bruta da seção transversal da barra;

A_e é a área líquida efetiva da seção transversal da barra (ver 5.2.3);

f_y é a resistência ao escoamento do aço;

f_u é resistência do aço à ruptura;

γ_{a1} e γ_{a2} são os coeficientes de ponderação das resistências.

5.2.3 - Área líquida efetiva (A_e):

$$A_e = C_t \cdot A_n$$

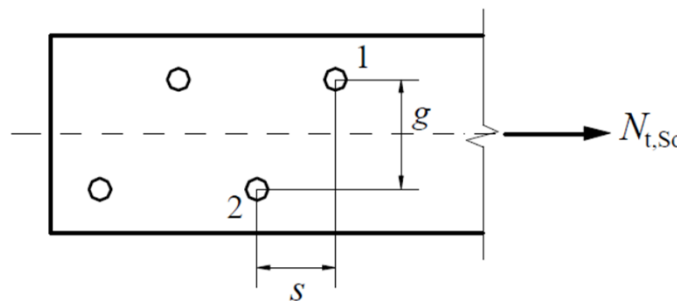
onde:

A_n é a área líquida da barra;

C_t é um coeficiente de redução da área líquida.

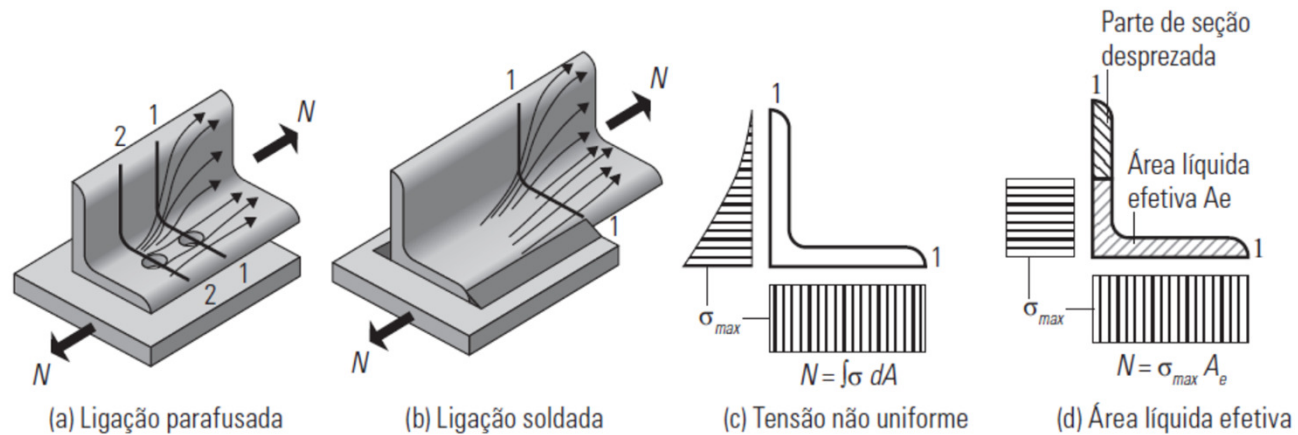
5.2.4 - Área líquida (A_n): Em regiões com furos, feitos para ligação ou para qualquer outra finalidade.

$$A_n = \left[b - \sum (\varphi + 1,5 + 2,0) + \sum (s^2 / 4g) \right] t$$



5.2.5 - Coeficiente de redução (C_t)

Uma barra tracionada ligada por apenas alguns dos elementos componentes da seção transversal, fica submetida a uma distribuição de tensão não uniforme na região da ligação.



Fonte: FAKURY, SILVA e CALDAS (2016).

a) quando a força de tração for transmitida diretamente para cada um dos elementos da seção transversal da barra, por soldas ou parafusos:

$$C_t = 1,00$$

b) quando a força de tração for transmitida somente por soldas transversais:

$$C_t = \frac{A_c}{A_g}$$

onde:

A_c é a área da seção transversal dos elementos conectados;

A_g é a área bruta da seção transversal.



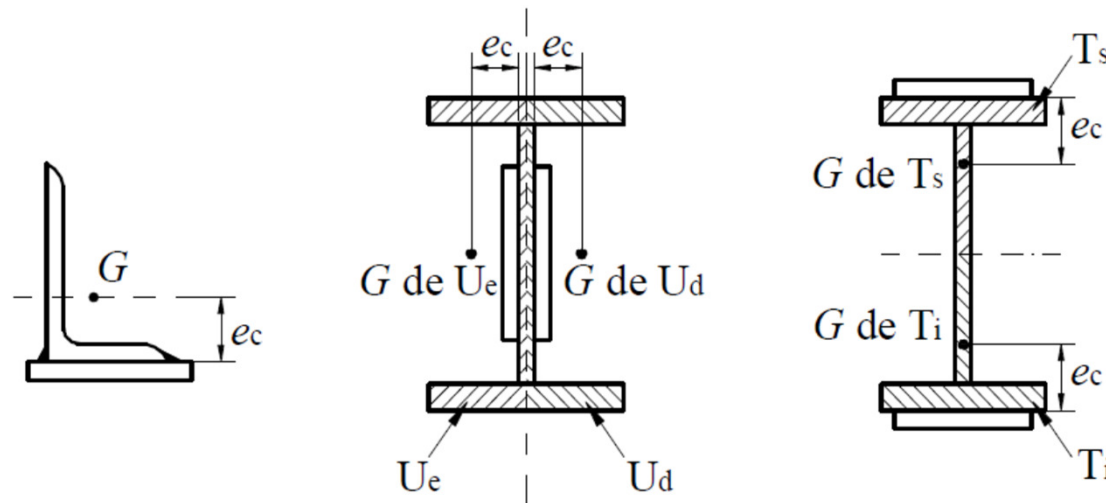
c) nas barras com seções transversais abertas, quando a força de tração for transmitida somente por parafusos ou somente por soldas longitudinais ou ainda por uma combinação de soldas longitudinais e transversais para alguns (não todos) elementos da seção transversal:

$$C_t = 1 - \frac{e_c}{l_c}$$

onde:

e_c é a excentricidade da ligação;

l_c é o comprimento efetivo da ligação.



d) nas chapas planas, quando a força de tração for transmitida somente por soldas longitudinais ao longo de ambas as suas bordas:

$$C_t = \frac{3l_c^2}{3l_c^2 + b^2} \left(1 - \frac{t}{2l_c} \right)$$

onde:

l_w é o comprimento dos cordões de solda;

b é a largura da chapa (distância entre as soldas situadas nas duas bordas);

t é a espessura da chapa.

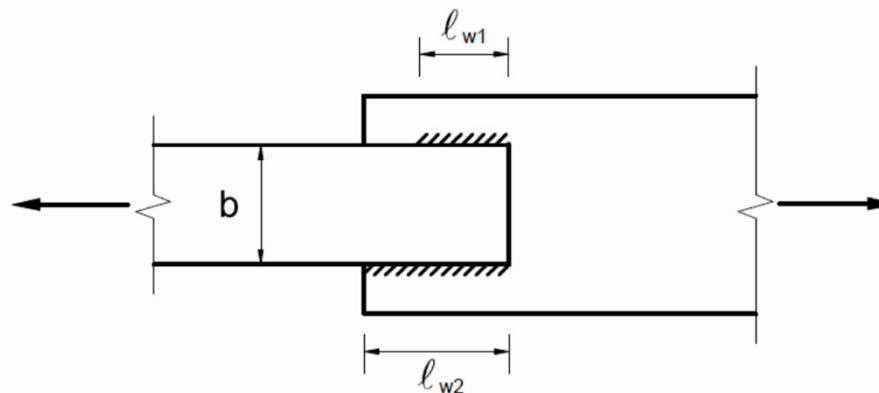


Figura 5 – Chapa plana com força de tração transmitida por soldas longitudinais

5.2.6 Chapas ligadas por pino

A força axial de tração resistente de cálculo de uma chapa ligada por pino é o menor valor, considerando os seguintes estados-limite:

a) escoamento da seção bruta por tração:
$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

b) resistência à pressão de contato na área projetada do pino;

c) ruptura da seção líquida por tração:
$$N_{t,Rd} = \frac{2 \cdot t \cdot b_{ef} \cdot f_u}{\gamma_{a2}}$$

d) ruptura da seção líquida por cisalhamento:
$$N_{t,Rd} = \frac{0,60 \cdot A_{sf} \cdot f_u}{\gamma_{a2}}$$



$$A_{sf} = 2 \cdot t \cdot (a + d_p/2)$$

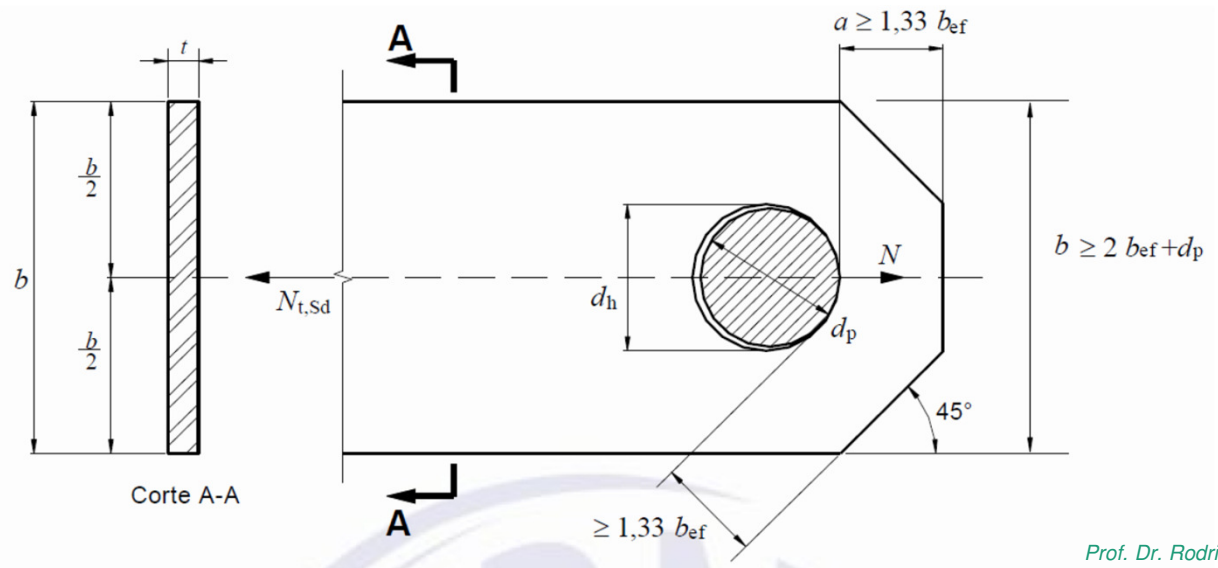
onde

t é a espessura da chapa ligada pelo pino;

b_{ef} é uma largura efetiva, igual a $2t+16$ mm, mas não maior que a distância real da borda do furo à borda mais próxima da peça medida na direção perpendicular à força axial atuante;

a é a menor distância da borda do furo à extremidade da barra medida na direção paralela à força axial atuante;

d_p é o diâmetro do pino.



5.2.7 - Barras redondas com extremidades rosqueadas

A força de tração resistente de cálculo, $N_{t,Rd}$, das barras redondas com extremidades rosqueadas, é o menor dos valores:

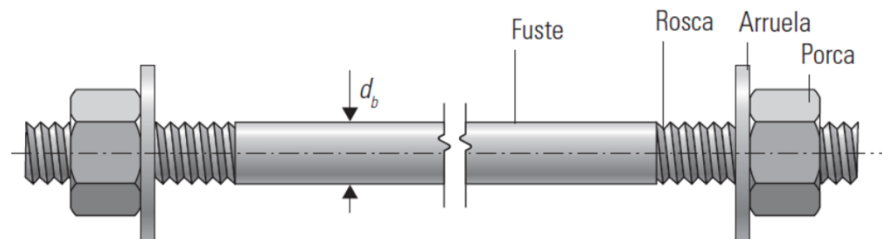
$$N_{t,Rd} = \frac{A_b \cdot f_{yb}}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_{be} \cdot f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

sendo A_{be} é a área efetiva:

$$A_{be} = 0,75 \cdot A_b$$

$$A_b = \frac{\pi \cdot d_b^2}{4}$$



Fonte: FAKURY, SILVA e CALDAS (2016).

Prof. Dr. Rodrigo Bordignon

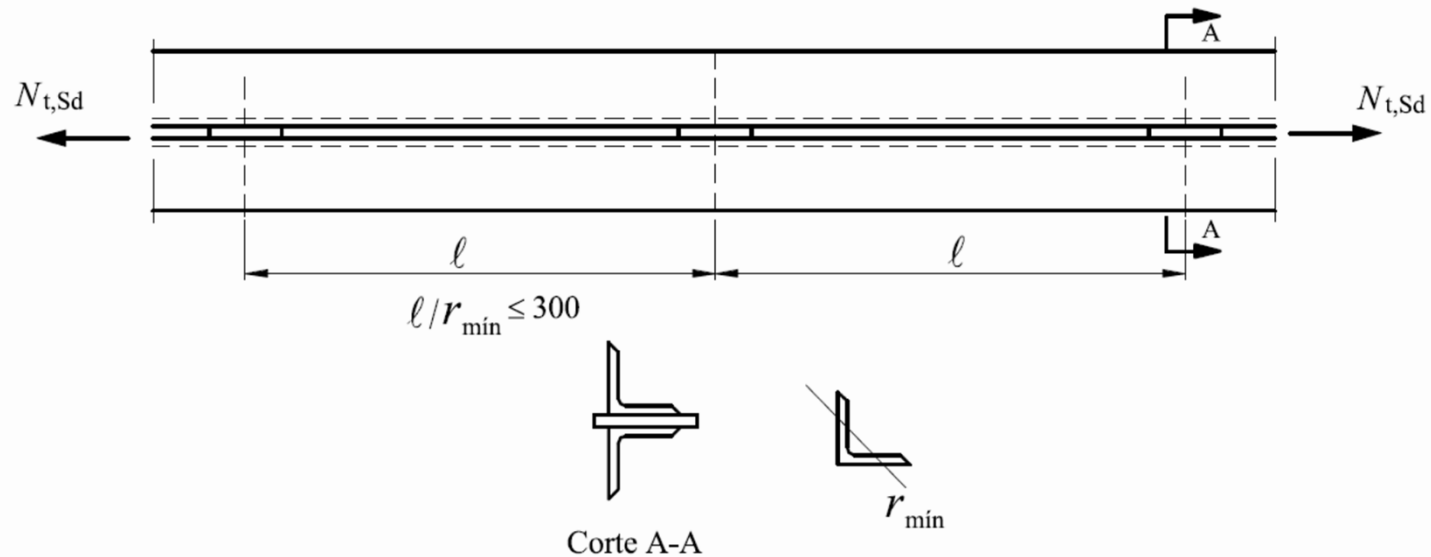


5.2.8 Limitação do índice de esbeltez e requisito para barras compostas

Recomenda-se que o índice de esbeltez das barras tracionadas não supere 300; (exceto tirantes de barras redondas ou outras barras com pré-tensão)

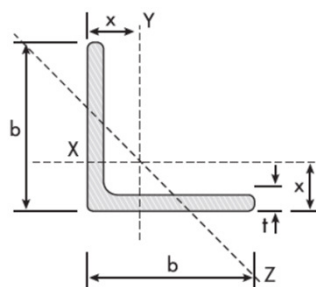
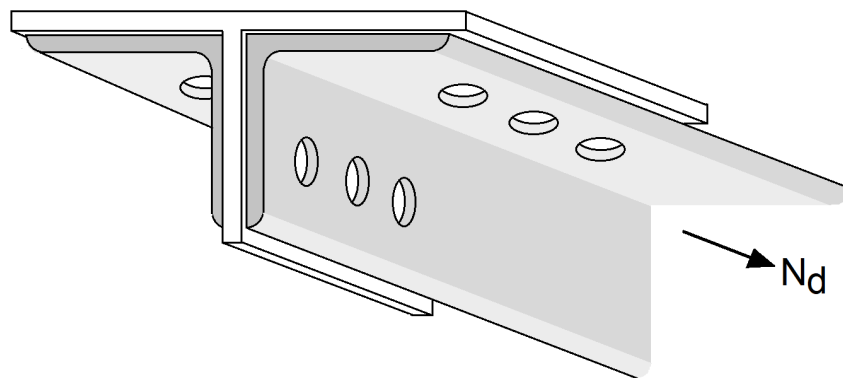
Recomenda-se que nas barras compostas formadas por dois ou mais perfis, o índice de esbeltez de qualquer perfil componente, entre duas ligações adjacentes, não seja superior a 300.

$$\left(\frac{L}{r}\right)_{max} \leq 300$$



Exemplo 01 – Um tirante formado por duas cantoneiras laminadas L 3x3/16”, em aço A36, será usado em um projeto. Considerando o diâmetro dos parafusos 5/8”, determinar:

- o valor da força axial de tração resistente de cálculo;
- o comprimento máximo permitido;
- a necessidade de espaçadores.



Cantoneira em Polegadas										
b		Peso Nominal	t		Área	$I_x=I_y$	$W_x=W_y$	$r_x=r_y$	r_z min.	x
pol	mm	kg/m	pol	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm
3"	76,20	5,52	3/16"	4,76	7,03	40,00	7,21	2,39	1,50	2,08
		7,29	1/4"	6,35	9,29	50,00	9,50	2,36	1,50	2,13
		9,07	5/16"	7,94	11,48	62,00	11,60	2,34	1,50	2,21
		10,71	3/8"	9,52	13,61	75,00	13,60	2,31	1,47	2,26
		14,00	1/2"	2,7	17,74	91,00	18,00	2,29	1,47	2,36

ELU para escoamento da seção bruta:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{(2 \cdot 703) \text{ mm}^2 \cdot 250 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 319,55 \text{ kN}$$

ELU para ruptura da seção líquida:

$$A_n = 2 \cdot [A_g - 2 \cdot (\varphi + 1,5 + 2,0) \cdot t]$$

$$A_n = 2 \cdot [703 - 2 \cdot (16 + 1,5 + 2,0) \cdot 4,76] = 1034,72 \text{ mm}^2$$

$$A_e = C_t \cdot A_n$$

$$A_e = 1,0 \cdot 1034,72 = 1034,72 \text{ mm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e \cdot f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{1034,72 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2}{1,35} = 306,58 \text{ kN}$$



Comprimento máximo permitido:

OBS: o raio de giração mínimo da cantoneira dupla é igual ao raio de giração em relação aos eixos x e y de uma cantoneira de abas iguais ($r_x = r_y$).

$$\left(\frac{L}{r_x}\right)_{\text{máx}} \leq 300 \rightarrow L \leq 300 \cdot 23,9 \text{ mm} \rightarrow L \leq 7170 \text{ mm}$$

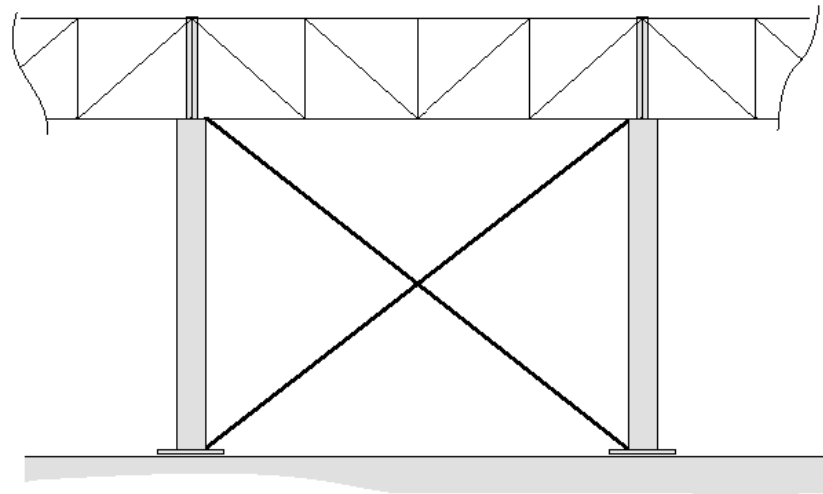
Necessidade de espaçadores:

OBS: raio de giração mínimo de uma cantoneira isolada é igual ao raio de giração em relação ao eixo z (r_z mín).

$$\left(\frac{l}{r_z}\right)_{\text{máx}} \leq 300 \rightarrow l \leq 300 \cdot 15,0 \text{ mm} \rightarrow l \leq 4500 \text{ mm}$$



Exemplo 02 – Barras redondas rosqueadas em aço ASTM A36 são usadas como elemento de contenção lateral (contraventamento vertical) em um sistema estrutural, como mostra a figura abaixo. Determine o diâmetro mínimo da peça capaz de resistir a uma força de tração de cálculo $N_{sd}=108,84$ kN.



$$N_{t,Sd} \leq \frac{A_b \cdot f_{yb}}{\gamma_{a1}} \rightarrow A_b \geq \frac{N_{t,Sd} \cdot \gamma_{a1}}{f_{yb}} \rightarrow A_b \geq \frac{108840 \text{ N} \cdot 1,1}{250 \text{ N/mm}^2} \rightarrow A_b \geq 478,90 \text{ mm}^2$$

$$N_{t,Sd} \leq \frac{A_{be} \cdot f_{ub}}{\gamma_{a2}} \rightarrow A_{be} \geq \frac{N_{t,Sd} \cdot \gamma_{a2}}{f_{ub}} \rightarrow 0,75 \cdot A_b \geq \frac{108840 \text{ N} \cdot 1,35}{400 \text{ N/mm}^2} \rightarrow A_b \geq 489,78 \text{ mm}^2$$

$$A_b = \frac{\pi \cdot d_b^2}{4} \rightarrow d_{b,\text{mín}} = 24,97 \text{ mm} \cong 25 \text{ mm}$$



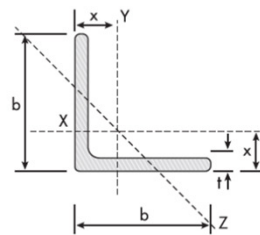
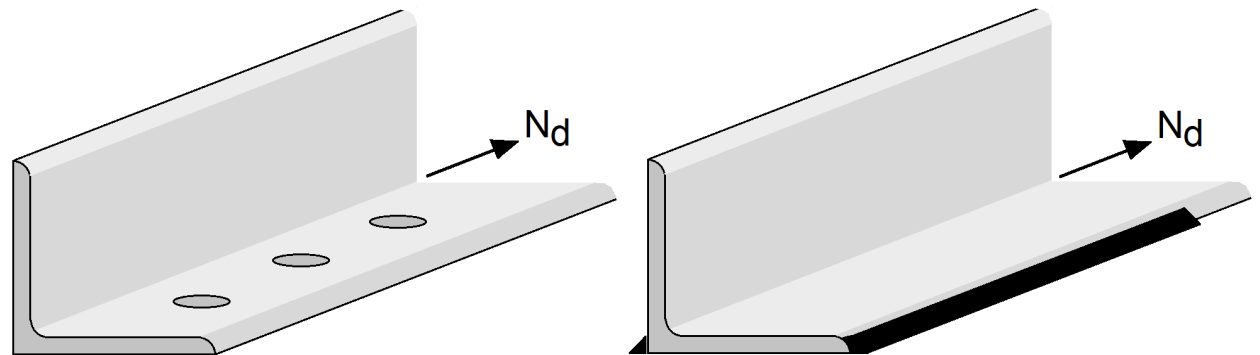
Exemplo 03 – Uma cantoneira L 4x3/8”, em aço ASTM A36, está ligada a outra peça por uma linha com três parafusos de 3/4” de diâmetro em uma das abas, conforme a figura abaixo.

Determinar:

- (a) o valor da força axial de tração resistente de cálculo;
- (b) o valor dessa força, supondo a ligação soldada em uma das abas da cantoneira, com dois filetes longitudinais de 120 mm.

Dados:

$A_g = 18,45 \text{ mm}^2$;
 $d_b = 19,05 \text{ mm}$;
 $e = 80 \text{ mm}$;
 $g_a = 65 \text{ mm}$;
 $l_w = 120 \text{ mm}$.



Cantoneira em Polegadas										
b		Peso Nominal	t		Área	$I_x=I_y$	$W_x=W_y$	$r_x=r_y$	$r_z \text{ mín.}$	x
pol	mm	kg/m	pol	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm
4"	101,60	9,81	1/4"	6,35	12,51	125,00	16,40	3,17	2,00	2,77
		12,19	5/16"	7,94	15,48	154,00	21,30	3,15	2,00	2,84
		14,57	3/8"	9,52	18,45	183,00	24,60	3,12	2,00	2,90
		16,80	7/16"	11,11	21,35	208,00	29,50	3,12	1,98	2,95
		19,03	1/2"	12,7	24,19	233,00	32,80	3,10	1,98	3,00

ELU para escoamento da seção bruta:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{1845 \text{ mm}^2 \cdot 250 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 419,32 \text{ kN}$$

(a) ELU para ruptura da seção líquida (parafusada):

$$A_n = [A_g - (\varphi + 1,5 + 2,0) \cdot t]$$

$$A_n = [1845 - (19,05 + 1,5 + 2,0) \cdot 9,52] = 1630,32 \text{ mm}^2$$

$$C_t = 1 - \frac{e_c}{l_c} = 1 - \frac{29}{160} = 0,82$$

$$A_e = C_t \cdot A_n$$

$$A_e = 0,82 \cdot 1630,32 = 1336,86 \text{ mm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e \cdot f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{1336,86 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2}{1,35} = 396,11 \text{ kN}$$



(b) ELU para ruptura da seção líquida (soldada):

$$C_t = 1 - \frac{e_c}{l_c} = 1 - \frac{29}{120} = 0,76 \rightarrow ok!$$

$$A_e = C_t \cdot A_n$$

$$A_e = 0,76 \cdot 1845,00 = 1402,20 \text{ mm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e \cdot f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{1402,20 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2}{1,35} = 415,46 \text{ kN}$$



- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. **ANSI/AISC 360-16**: Specification for Structural Steel Buildings. Chicago: AISC, 2016.
- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. **Steel Construction Manual**, 15 ed. Chicago: AISC, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5884**: Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico - Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.
- BAIÃO F. O. T.; SILVA, A. C. V.; QUEIROZ, G.. **Ligações para Estruturas de Aço** – Guia Prático para Estruturas com Perfis Laminados. 3 ed. São Paulo: Gerdau Açominas, 2006.
- BORDIGNON, R. **Modelo momento-rotação de ligações parafusadas entre viga e coluna em aço com dupla cantoneira de alma**. 2022. 212 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2022.
- CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Manual de Construção em Aço**: Galpões para usos gerais. 4 ed. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2010.
- CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Manual de Construção em Aço**: Ligações em estruturas metálicas. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2017.
- CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Manual de Construção em Aço**: Uso fácil: ABNT NBR 8800. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2022.
- CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Manual de Construção em Aço**: Transporte e montagem. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2005.
- CHAMBERLAIN PRAVIA, Z. M.; FICANHA R.; FABEANE R. **Projeto e cálculo de estruturas de aço**: Edifício industrial detalhado. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- FAKURY, R. H.; CASTRO E SILVA, A. L. R.; CALDAS, R. B. **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. São Paulo: Pearson, 2016.
- FISHER, J. M.; KLOIBER, L. A. **Steel Design Guide 1**: Base plate and anchor rod design. 2 ed. Ed. Chicago: AISC, 2006.
- LEET, K. M.; UANG, C.; e GILBERT, A. M **Fundamentos da análise estrutural**. Porto Alegre: AMGH, 2010.
- PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de aço**: dimensionamento prático de acordo com a NBR8800:2008. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- RCSC. **Specification for structural joints using high strength bolts**. Research Council on Structural Connections, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, 2020.





EDUCAÇÃO
PÚBLICA
100%
GRATUITA

MUITO OBRIGADO

Prof. Rodrigo Bordignon
Engenheiro Civil, Dr.

*www.ifsul.edu.br
rodrigobordignon@ifsul.edu.br*