

**PROPRIEDADES
GEOMÉTRICAS DE
PERFIS
DIMENSIONAMENTO
DE PERFIS
TRACIONADOS**

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS: MÉTODOS DE OBTENÇÃO:

Método 1 – TABELAS DE PERFIS

Método 2 – Manualmente

Método 3 – Utilizando um software CAD

Método 4 – Utilizando CameliaX (para perfis dobrados).

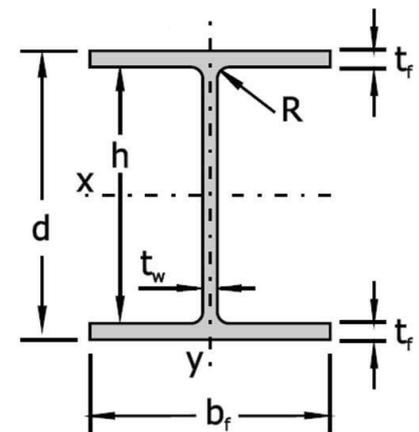
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

ÁREA DE SEÇÃO TRANSVERSAL:

Representa a quantidade de material existente num perfil.

Expressos em cm^2 , geralmente encontra-se em todas as tabelas de perfis.

IMPORTANTE NO CÁLCULO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

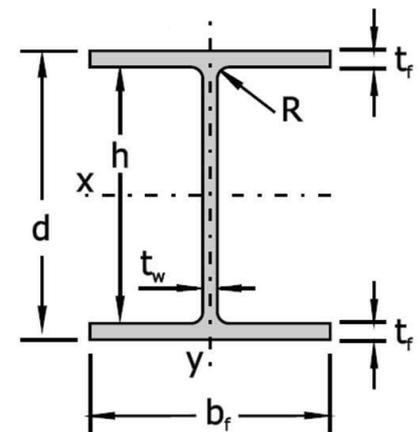


PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

Centro de Gravidade (CG):

Representa o ponto de convergência das forças gravitacionais numa figura geométrica qualquer.

Importante para extrair outras propriedades



PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

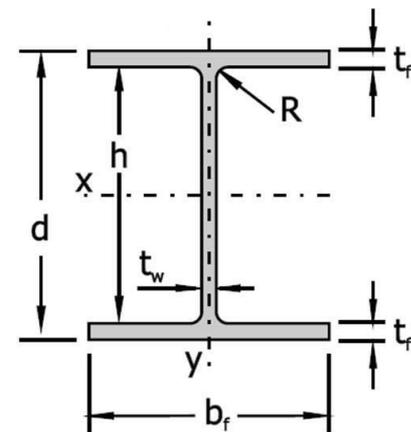
Momento de inércia I_x e I_y

Representa a quantidade de material que se deposita fora do centro de gravidade.

Quanto mais material longe do centro de gravidade, maior o momento de inércia

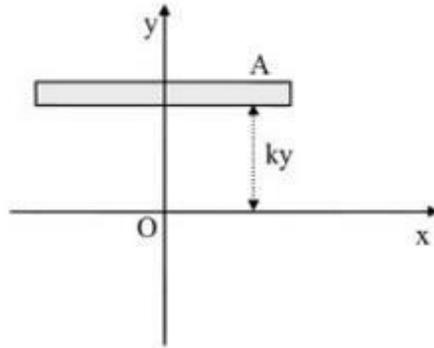
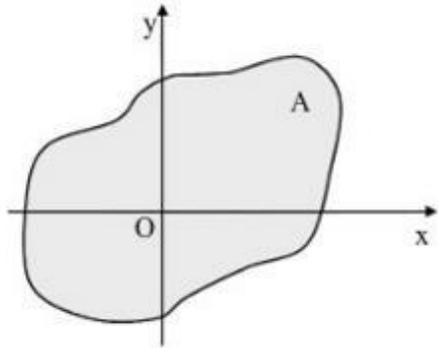
$$I_x = \int_A y^2 dA \quad I_y = \int_A x^2 dA$$

IMPORTANTE NO CÁLCULO DE FLECHAS



PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

Raio de Giração r_x e r_y



$$I_x = k_x^2 \cdot A \quad \therefore \quad k_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \quad \text{analogamente} \quad k_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad e \quad k_o = \sqrt{\frac{J_o}{A}} \quad (\text{polar})$$

$$\text{Como } J_o = I_x + I_y \quad \text{temos} \quad k_o^2 = k_x^2 + k_y^2$$

Imagem por: <http://www.gdace.uem.br/romel/MDidatico/Estatica/JoaoDirceu/>

IMPORTANTE NOS ESTUDOS DE FLAMBAGEM E PEÇAS COMPRIMIDAS

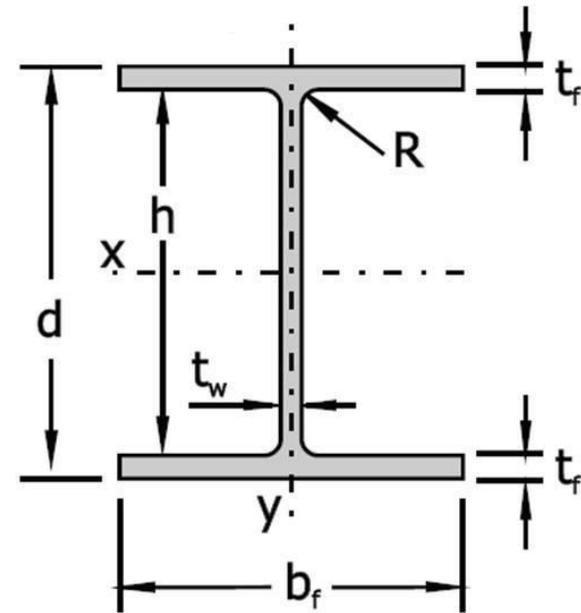
Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

Momento resistente Elástico W_x e W_y

$$W_x = \frac{I_x}{d/2}$$

$$W_y = \frac{I_y}{b_f/2}$$



USADO NO CÁLCULO DA RESISTÊNCIA DOS PERFIS AO MOMENTO FLETOR

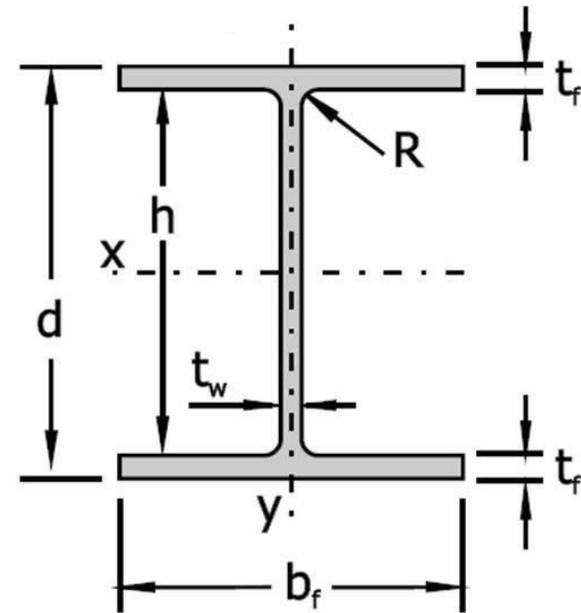
Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS:

Momento resistente Plástico Z_x e Z_y

$$Z_x = \int_A y dA$$

$$Z_y = \int_A x dA$$



DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:

5.2.2 Força axial resistente de cálculo

A força axial de tração resistente de cálculo, $N_{t,Rd}$, a ser usada no dimensionamento, exceto para barras redondas com extremidades rosqueadas e barras ligadas por pinos, é o menor dos valores obtidos, considerando-se os estados-limites últimos de escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida, de acordo com as expressões indicadas a seguir:

a) para escoamento da seção bruta

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}}$$

b) para ruptura da seção líquida

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}}$$

onde:

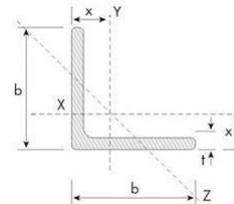
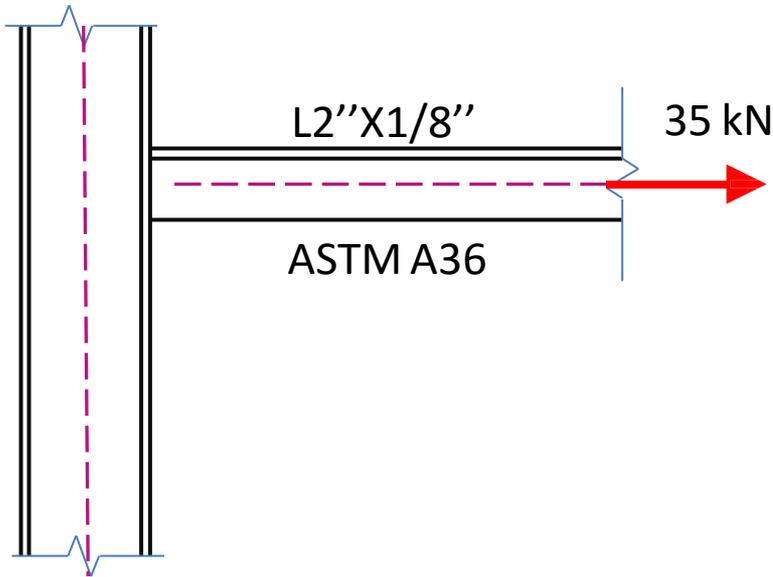
A_g é a área bruta da seção transversal da barra;

A_e é a área líquida efetiva da seção transversal da barra, determinada conforme 5.2.3;

f_y é a resistência ao escoamento do aço;

f_u é a resistência à ruptura do aço.

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



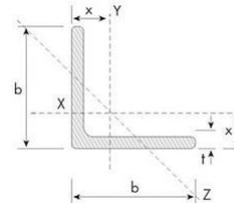
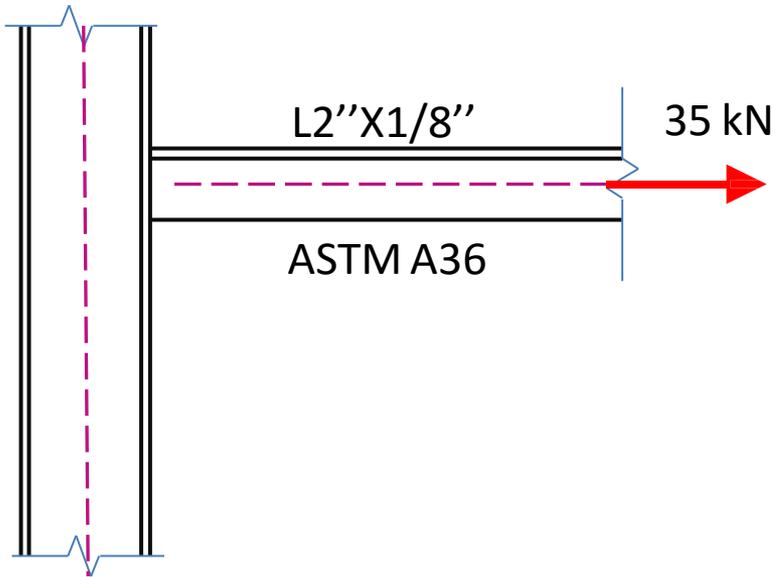
Passo 1: extrair propriedades necessárias

Área da seção transversal (A_g) = 3,10 cm²

F_y = 25 kN/cm² (ASTM A 36)

bf	Peso Nominal	tf	Área	Jx=Jy	Wx=Wy	rx=ry	rz mín.	x		
pol	mm	Kg/m	pol	cm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm	
5/8"	15,880	0,57		0,250						
3/4"	19,050	0,71		0,250						
1/2"	12,700	0,55	1/8"	0,317	0,70	0,10	0,11	0,37	0,25	0,43
5/8"	15,880	0,71	1/8"	0,317	0,90	0,20	0,19	0,47	0,32	0,51
3/4"	19,050	0,87	1/8"	0,317	1,11	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59
7/8"	22,200	1,04	1/8"	0,317	1,32	0,58	0,38	0,66	0,46	0,66
1"	25,400	1,19	1/8"	0,317	1,48	0,83	0,49	0,79	0,48	0,76
		1,73	3/16"	0,476	2,19	1,25	0,66	0,76	0,48	0,81
1.1/4"	31,750	2,22	1/4"	0,635	2,84	1,66	0,98	0,76	0,48	0,86
		1,50	1/8"	0,317	1,93	1,67	0,82	0,97	0,64	0,89
1.1/2"	38,100	2,20	3/16"	0,476	2,77	2,50	1,15	0,97	0,61	0,97
		2,86	1/4"	0,635	3,62	3,33	1,47	0,94	0,61	1,02
1.3/4"	44,450	1,83	1/8"	0,317	2,32	3,33	1,15	1,17	0,76	1,07
		2,68	3/16"	0,476	3,42	4,58	1,64	1,17	0,74	1,12
		3,48	1/4"	0,635	4,45	5,83	2,13	1,15	0,74	1,19
2"	50,800	2,14	1/8"	0,317	2,71	5,41	1,64	1,40	0,89	1,22
		3,15	3/16"	0,476	4,00	7,50	2,30	1,37	0,89	1,30
		4,12	1/4"	0,635	5,22	9,57	3,13	1,35	0,86	1,35
2.1/2"	63,500	2,46	1/8"	0,317	3,10	7,91	2,13	1,60	1,02	1,40
		3,63	3/16"	0,476	4,58	11,70	3,13	1,58	1,02	1,45
		4,74	1/4"	0,635	6,06	14,60	4,10	1,55	0,99	1,50
		5,83	5/16"	0,794	7,42	17,50	4,91	1,53	0,99	1,55
3"	76,200	6,99	3/8"	0,952	8,76	20,00	5,73	1,50	0,99	1,63
		4,57	3/16"	0,476	5,80	23,00	4,91	1,98	1,24	1,75
		6,10	1/4"	0,635	7,67	29,00	6,40	1,96	1,24	1,83
		7,44	5/16"	0,794	9,48	35,00	7,87	1,93	1,24	1,88
3.1/2"	88,900	8,78	3/8"	0,952	11,16	41,00	9,35	1,91	1,22	1,93
		5,52	3/16"	0,476	7,03	40,00	7,21	2,39	1,50	2,08
		7,29	1/4"	0,635	9,29	50,00	9,50	2,36	1,50	2,13
		9,07	5/16"	0,794	11,48	62,00	11,60	2,34	1,50	2,21
4"	101,600	10,71	3/8"	0,952	13,81	75,00	13,60	2,31	1,47	2,26
		14,00	1/2"	1,270	17,74	91,00	18,00	2,29	1,47	2,36
		8,56	1/4"	0,635	10,90	83,70	13,00	2,77	1,76	2,46
		10,59	5/16"	0,794	13,50	102,00	16,00	2,75	1,75	2,52
5"	127,000	12,58	3/8"	0,952	16,00	121,00	19,20	2,75	1,75	2,58
		9,81	1/4"	0,635	12,51	125,00	16,40	3,17	2,00	2,77
		12,19	5/16"	0,794	15,48	154,00	21,30	3,15	2,00	2,84
		14,57	3/8"	0,952	18,45	183,00	24,60	3,12	2,00	2,90
		16,80	7/16"	1,111	21,35	208,00	29,50	3,12	1,98	2,95
		19,03	1/2"	1,270	24,19	233,00	32,80	3,10	1,98	3,00
6"	152,400	12,34	1/4"	0,635	15,73	251,63	27,09	4,00	2,53	3,41
		15,31	5/16"	0,794	19,50	308,00	33,40	3,97	2,53	3,47
		18,30	3/8"	0,952	23,29	362,00	39,50	3,94	2,51	3,53
		24,10	1/2"	1,270	30,64	470,00	52,50	3,91	2,49	3,63
		29,80	5/8"	1,588	37,80	566,00	64,00	3,86	2,46	3,76
8"	203,200	23,52	7/16"	1,111	26,96	416,68	45,71	3,93	2,50	3,58
		22,20	3/8"	0,952	28,10	641,00	57,40	4,78	3,02	4,17
		29,20	1/2"	1,270	37,09	828,00	75,40	4,72	3,00	4,27
		36,00	5/8"	1,588	45,86	1.007,00	93,50	4,67	2,97	4,39
8"	203,200	42,70	3/4"	1,905	54,44	1.173,00	109,90	4,65	2,97	4,52
		48,70	5/8"	1,588	62,90	2.472,40	168,90	6,31	4,01	5,66
		57,90	3/4"	1,905	73,81	2.901,10	199,90	6,27	3,99	5,79

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



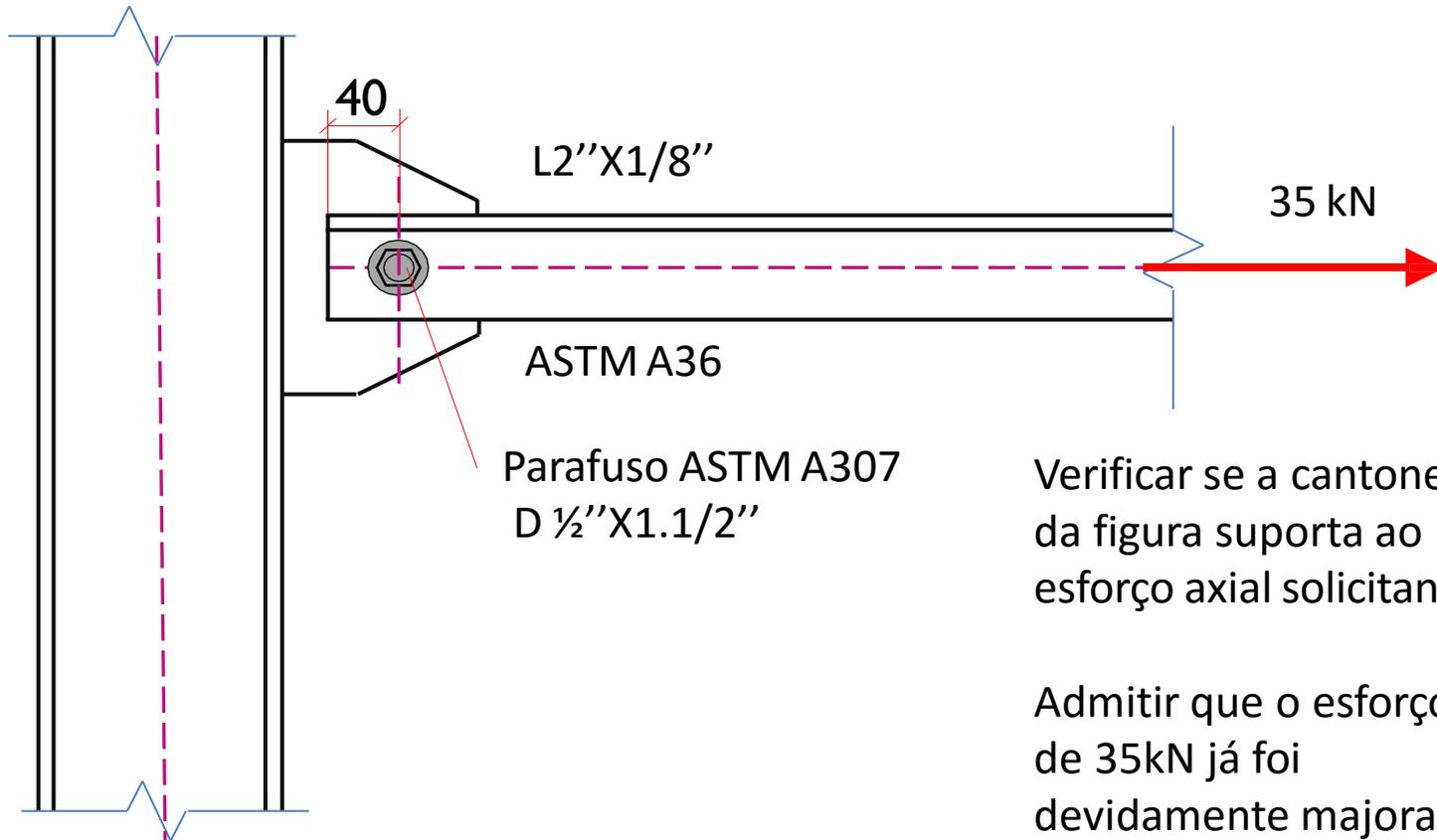
bf	Peso Nominal	tf	Área	Jx=Jy	Wx=Wy	rx=ry	rz mín.	x		
pol	mm	Kg/m	pol	cm	cm²	cm⁴	cm³	cm	cm	
5/8"	15,880	0,57		0,250						
3/4"	19,050	0,71		0,250						
1/2"	12,700	0,55	1/8"	0,317	0,70	0,10	0,11	0,37	0,25	0,43
5/8"	15,880	0,71	1/8"	0,317	0,90	0,20	0,19	0,47	0,32	0,51
3/4"	19,050	0,87	1/8"	0,317	1,11	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59
7/8"	22,200	1,04	1/8"	0,317	1,32	0,58	0,38	0,66	0,46	0,66
1"	25,400	1,19	1/8"	0,317	1,48	0,83	0,49	0,79	0,48	0,76
		1,73	3/16"	0,476	2,19	1,25	0,66	0,76	0,48	0,81
		2,22	1/4"	0,635	2,84	1,66	0,98	0,76	0,48	0,86
1.1/4"	31,750	1,50	1/8"	0,317	1,93	1,67	0,82	0,97	0,64	0,89
		2,20	3/16"	0,476	2,77	2,50	1,15	0,97	0,61	0,97
		2,86	1/4"	0,635	3,62	3,33	1,47	0,94	0,61	1,02
1.1/2"	38,100	1,83	1/8"	0,317	2,32	3,33	1,15	1,17	0,76	1,07
		2,68	3/16"	0,476	3,42	4,58	1,64	1,17	0,74	1,12
		3,48	1/4"	0,635	4,45	5,83	2,13	1,15	0,74	1,19
1.3/4"	44,450	2,14	1/8"	0,317	2,71	5,41	1,64	1,40	0,89	1,22
		3,15	3/16"	0,476	4,00	7,50	2,30	1,37	0,89	1,30
		4,12	1/4"	0,635	5,22	9,57	3,13	1,35	0,86	1,35
2"	50,800	2,46	1/8"	0,317	3,10	7,91	2,13	1,60	1,02	1,40
		3,63	3/16"	0,476	4,58	11,70	3,13	1,58	1,02	1,45
		4,74	1/4"	0,635	6,06	14,60	4,10	1,55	0,99	1,50
		5,83	5/16"	0,794	7,42	17,50	4,91	1,53	0,99	1,55
		6,99	3/8"	0,952	8,76	20,00	5,73	1,50	0,99	1,63
2.1/2"	63,500	4,57	3/16"	0,476	5,80	23,00	4,91	1,98	1,24	1,75
		6,10	1/4"	0,635	7,67	29,00	6,40	1,96	1,24	1,83
		7,44	5/16"	0,794	9,48	35,00	7,87	1,93	1,24	1,88
		8,78	3/8"	0,952	11,16	41,00	9,35	1,91	1,22	1,93
3"	76,200	5,52	3/16"	0,476	7,03	40,00	7,21	2,39	1,50	2,08
		7,29	1/4"	0,635	9,29	50,00	9,50	2,36	1,50	2,13
		9,07	5/16"	0,794	11,48	62,00	11,60	2,34	1,50	2,21
		10,71	3/8"	0,952	13,61	75,00	13,60	2,31	1,47	2,26
		14,00	1/2"	1,270	17,74	91,00	18,00	2,29	1,47	2,36
3.1/2"	88,900	8,56	1/4"	0,635	10,90	83,70	13,00	2,77	1,76	2,46
		10,59	5/16"	0,794	13,50	102,00	16,00	2,75	1,75	2,52
		12,58	3/8"	0,952	16,00	121,00	19,20	2,75	1,75	2,58
4"	101,600	9,81	1/4"	0,635	12,51	125,00	16,40	3,17	2,00	2,77
		12,19	5/16"	0,794	15,48	154,00	21,30	3,15	2,00	2,84
		14,57	3/8"	0,952	18,45	183,00	24,60	3,12	2,00	2,90
		16,80	7/16"	1,111	21,35	208,00	29,50	3,12	1,98	2,95
		19,03	1/2"	1,270	24,19	233,00	32,80	3,10	1,98	3,00
5"	127,000	12,34	1/4"	0,635	15,73	251,63	27,09	4,00	2,53	3,41
		15,31	5/16"	0,794	19,50	308,00	33,40	3,97	2,53	3,47
		18,30	3/8"	0,952	23,29	362,00	39,50	3,94	2,51	3,53
		24,10	1/2"	1,270	30,64	470,00	52,50	3,91	2,49	3,63
		29,80	5/8"	1,588	37,80	566,00	64,00	3,86	2,46	3,76
		23,52	7/16"	1,111	26,96	416,68	45,71	3,93	2,50	3,58
6"	152,400	22,20	3/8"	0,952	28,10	641,00	57,40	4,78	3,02	4,17
		29,20	1/2"	1,270	37,09	828,00	75,40	4,72	3,00	4,27
		36,00	5/8"	1,588	45,86	1.007,00	93,50	4,67	2,97	4,39
		42,70	3/4"	1,905	54,44	1.173,00	109,90	4,65	2,97	4,52
8"	203,200	48,70	5/8"	1,588	62,90	2.472,40	168,90	6,31	4,01	5,66
		57,90	3/4"	1,905	73,81	2.901,10	199,90	6,27	3,99	5,79

Passo 2: por se tratar de verificação de resistência de perfil à tração, sem furos, verifica-se o escoamento na seção bruta

$$N_t, R_d = \frac{A_g \cdot F_y}{\gamma_1} = \frac{3,10 \cdot 25}{1,1} = 70,45 \text{ kN} > 35 \text{ kN} \text{ OK!}$$

Perfil está sendo submetido a 50% de sua capacidade nominal de projeto

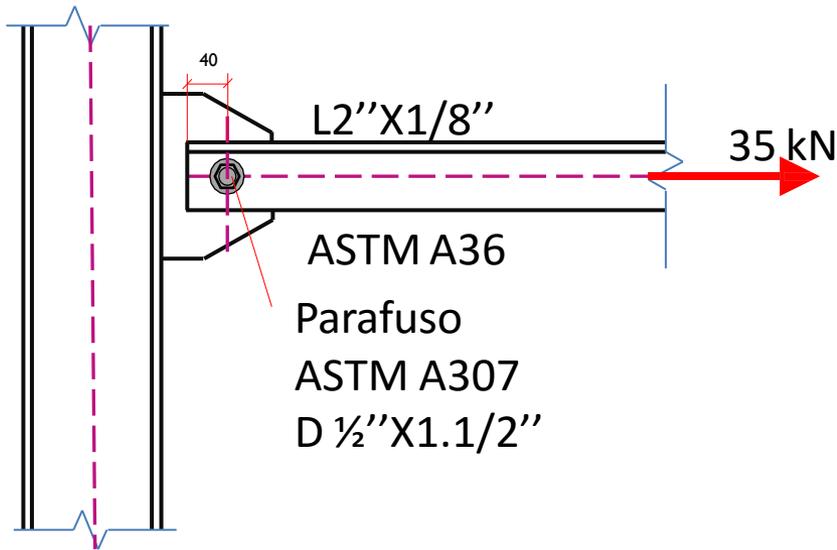
DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Verificar se a cantoneira da figura suporta ao esforço axial solicitante

Admitir que o esforço axial de 35kN já foi devidamente majorado de acordo com os Estados Limites Últimos

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Nesse caso devemos calcular a área efetiva da peça.

Subtrai-se da área bruta o diâmetro de todos os furos padrão + 2mm multiplicados pela espessura

Tabela 12 — Dimensões máximas de furos para parafusos e barras redondas rosqueadas

	Diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada d_b	Diâmetro do furo-padrão	Diâmetro do furo alargado	Dimensões do furo pouco alongado	Dimensões do furo muito alongado
Dimensões em milímetros	≤ 24	$d_b + 1,5$	$d_b + 5$	$(d_b + 1,5) \times (d_b + 6)$	$(d_b + 1,5) \times 2,5 d_b$
	27	28,5	33	28,5 \times 35	28,5 \times 67,5
	≥ 30	$d_b + 1,5$	$d_b + 8$	$(d_b + 1,5) \times (d_b + 9,5)$	$(d_b + 1,5) \times 2,5 d_b$
Dimensões em polegadas	$\leq 7/8$	$d_b + 1/16$	$d_b + 3/16$	$(d_b + 1/16) \times (d_b + 1/4)$	$(d_b + 1/16) \times 2,5 d_b$
	1	1 1/16	1 1/4	1 1/16 \times 1 5/16	1 1/16 \times 2 1/2
	$\geq 1 1/8$	$d_b + 1/16$	$d_b + 5/16$	$(d_b + 1/16) \times (d_b + 3/8)$	$(d_b + 1/16) \times 2,5 d_b$

$$d' = 12,7 + 1,5 + 2,00 = 16,2mm$$

$$A_n = A_g - d' \cdot t$$

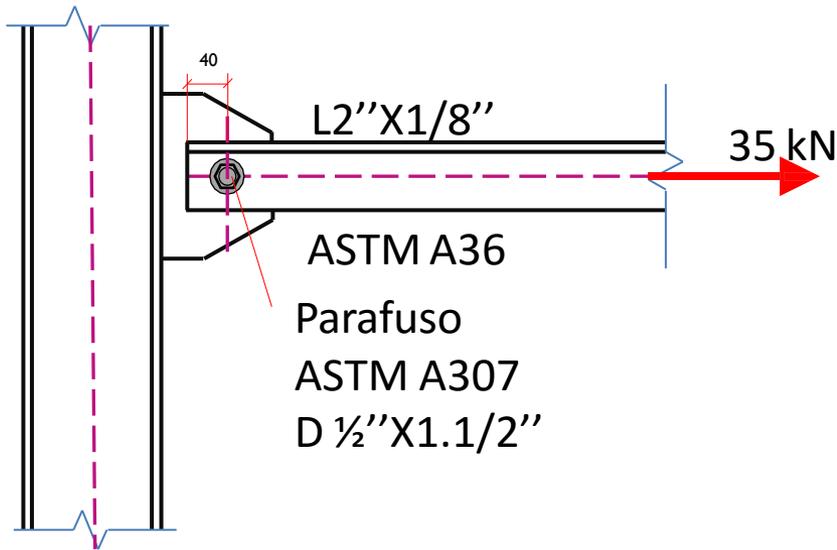
$$A_n = 3,10 - 1,62 \cdot 0,318$$

$$A_n = 3,10 - 1,62 \cdot 0,318$$

$$A_n = 3,10 - 0,5152$$

$$A_n = 2,58cm^2$$

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Quando há furos, fazemos duas verificações, uma para a região dos furos (à ruptura) e outra para a região sem furos (ao escoamento)

Seleciona-se o valor mais crítico

Verificação da seção líquida à ruptura

$$N_t, R_d = \frac{A_n \cdot F_u}{\gamma_2} = \frac{2,58 \cdot 40}{1,35} = 76,44 \text{ kN} > 35 \text{ kN} \text{ OK!}$$

Verificação da seção bruta ao escoamento

$$N_t, R_d = \frac{A_g \cdot F_y}{\gamma_1} = \frac{3,10 \cdot 25}{1,1} = 70,45 \text{ kN} > 35 \text{ kN} \text{ OK!}$$

Valor crítico (Resistência nominal do perfil à tração)

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

LEMBRETE

Tabela 3 — Valores dos coeficientes de ponderação das resistências γ_m

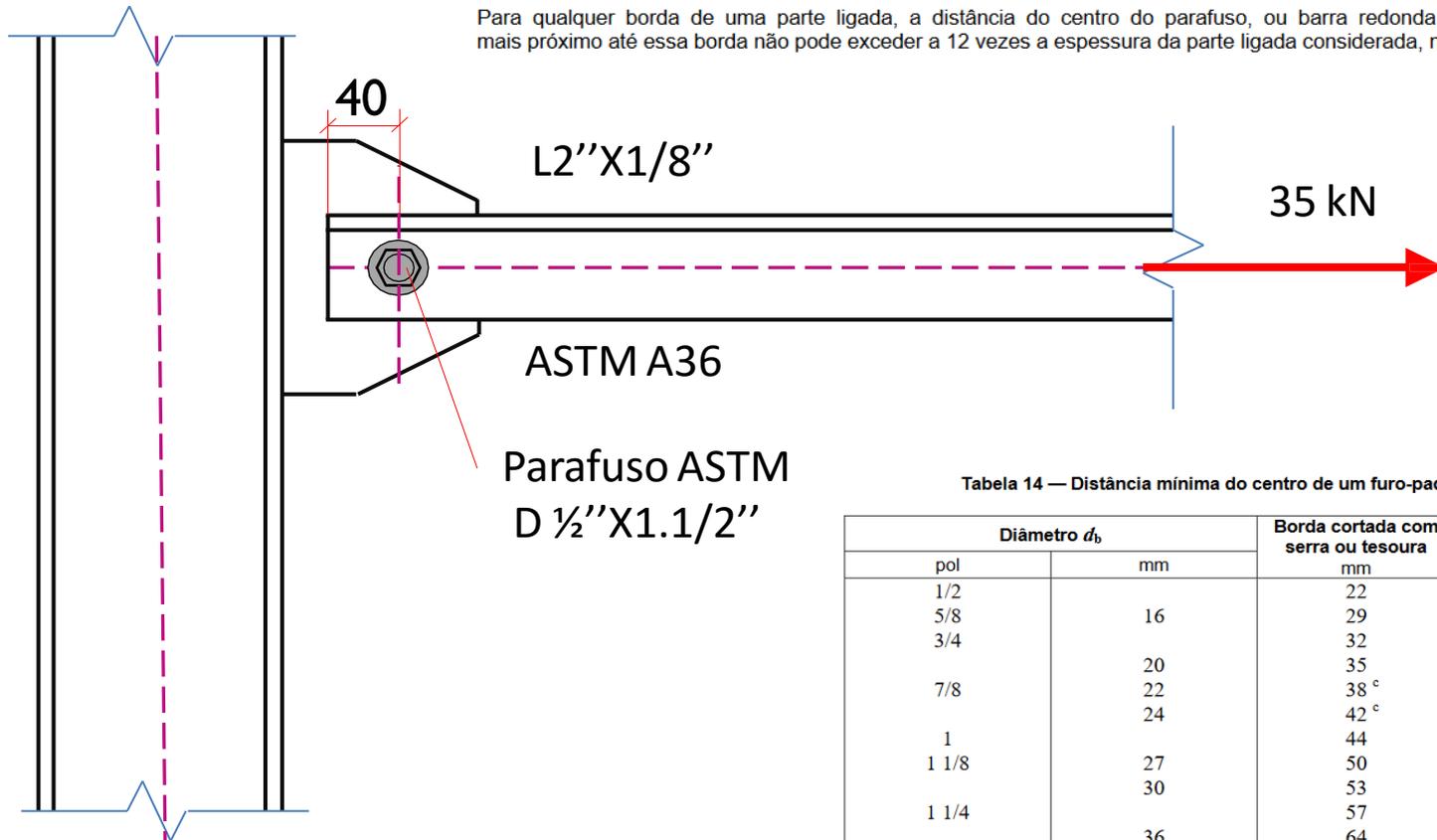
Combinações	Aço estrutural ^a		Concreto γ_c	Aço das armaduras γ_s
	γ_a			
	Escoamento, flambagem e instabilidade γ_{a1}	Ruptura γ_{a2}		
Normais	1,10	1,35	1,40	1,15
Especiais ou de construção	1,10	1,35	1,20	1,15
Excepcionais	1,00	1,15	1,20	1,00

^a Inclui o aço de fôrma incorporada, usado nas lajes mistas de aço e concreto, de pinos e parafusos.

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:

6.3.12 Distância máxima de um parafuso ou barra rosqueada às bordas

Para qualquer borda de uma parte ligada, a distância do centro do parafuso, ou barra redonda rosqueada, mais próximo à essa borda não pode exceder a 12 vezes a espessura da parte ligada considerada, nem 150 mm.



Distância máxima: $12 \times 3,18 = 38,16 \text{ mm} \sim 40 \text{ mm}$ - pode se considerar OK

Tabela 14 — Distância mínima do centro de um furo-padrão à borda ^{a)}

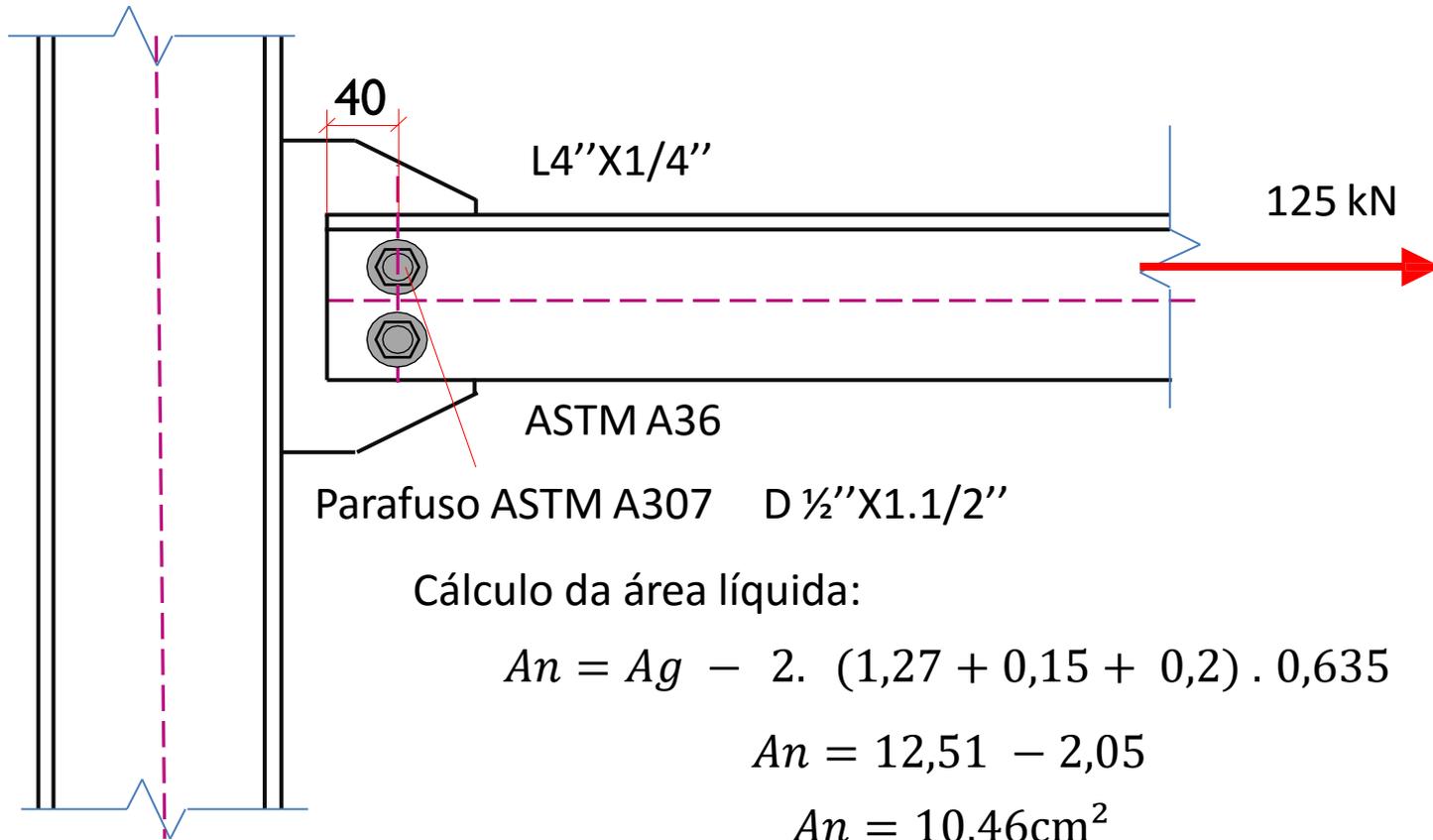
Diâmetro d_b		Borda cortada com serra ou tesoura mm	Borda laminada ou cortada a maçarico ^{b)} mm
pol	mm		
1/2		22	19
5/8	16	29	22
3/4		32	26
	20	35	27
7/8	22	38 ^{c)}	29
	24	42 ^{c)}	31
1		44	32
1 1/8	27	50	38
	30	53	39
1 1/4		57	42
	36	64	46
> 1 1/4	> 36	$1,75 d_b$	$1,25 d_b$

^{a)} São permitidas distâncias inferiores às desta Tabela, desde que a equação aplicável de 6.3.3.3 seja satisfeita.

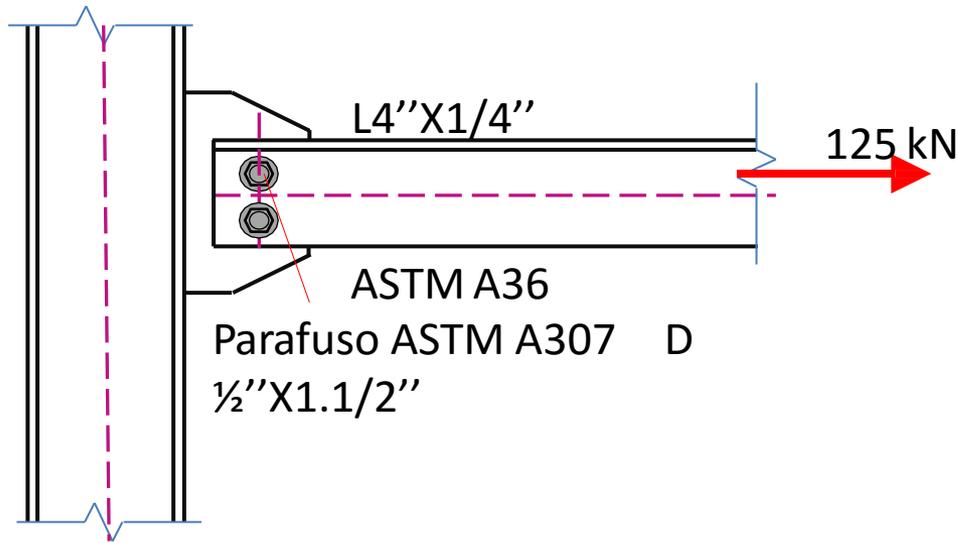
^{b)} Nesta coluna, as distâncias podem ser reduzidas de 3 mm, quando o furo está em um ponto onde a força solicitante de cálculo não exceda 25 % da força resistente de cálculo.

^{c)} Nas extremidades de cantoneiras de ligação de vigas e de chapas de extremidade para ligações flexíveis, esta distância pode ser igual a 32 mm.

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Verificação da seção líquida à ruptura

$$N_t, R_d = \frac{A_n \cdot F_u}{\gamma_2} = \frac{10,46 \cdot 40}{1,35} = 309,92 \text{ kN} > 125 \text{ kN} \text{ OK!}$$

Verificação da seção bruta ao escoamento

$$N_t, R_d = \frac{A_g \cdot F_y}{\gamma_1} = \frac{12,51 \cdot 25}{1,1} = 284,3 \text{ kN} > 125 \text{ kN} \text{ OK!}$$

Valor crítico (Resistência nominal do perfil à tração)

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:

5.2.7 Barras redondas com extremidades rosqueadas

A força axial de tração resistente de cálculo, $N_{t,Rd}$, das barras redondas com extremidades rosqueadas, é o menor dos valores, considerando os estados-limites últimos de escoamento da seção bruta e de ruptura da parte rosqueada. Tais valores devem ser obtidos de acordo com 5.2.2a) e 6.3.3.1, respectivamente.

5.2.8 Limitação do índice de esbeltez

5.2.8.1 Recomenda-se que o índice de esbeltez das barras tracionadas, tomado como a maior relação entre o comprimento destravado e o raio de giração correspondente (L/r), excetuando-se tirantes de barras redondas pré-tensionadas ou outras barras que tenham sido montadas com pré-tensão, não supere 300 (ver 5.2.8.3).

5.2.8.2 Recomenda-se que perfis ou chapas, separados uns dos outros por uma distância igual à espessura de chapas espaçadoras, sejam interligados através dessas chapas espaçadoras, de modo que o maior índice de esbeltez de qualquer perfil ou chapa, entre essas ligações, não ultrapasse 300, conforme exemplifica a Figura 10 (ver 5.2.8.3).

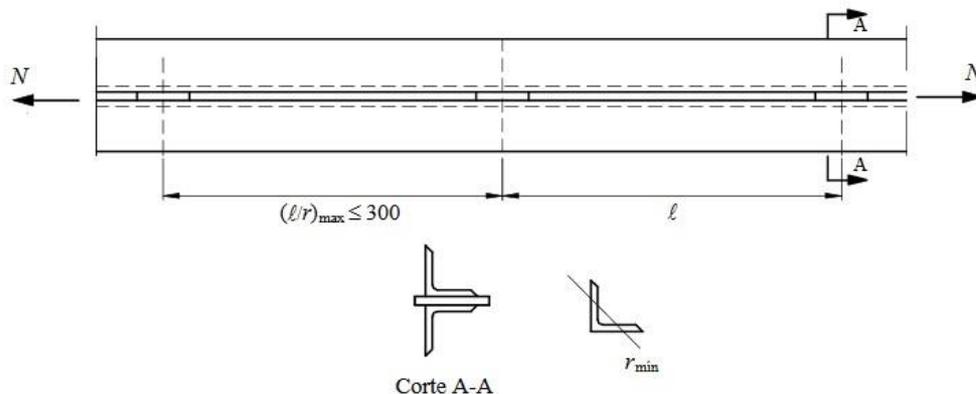
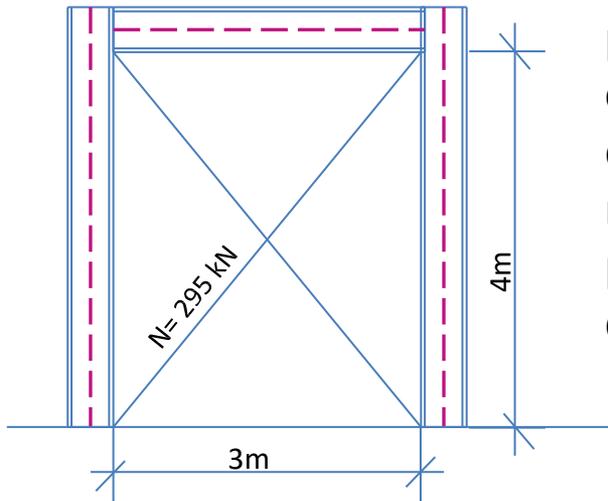


Figura 10 — Barra composta tracionada

5.2.8.3 No caso das recomendações de 5.2.8.1 ou 5.2.8.2 não serem adotadas, o responsável técnico pelo projeto estrutural deve estabelecer novos limites para garantir que as barras tracionadas tenham um comportamento adequado em condições de serviço.

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Selecionar um perfil de cantoneira laminada adequado para suportar o esforço de tração de um pórtico contraventado conforme a figura. Considerar utilização de AÇO ASTM A36. as duas barras do contraventamento não são conectadas no encontro dos nós. Considerar perfil simples. Não há furos na ligação. Cargas já estão devidamente majoradas.

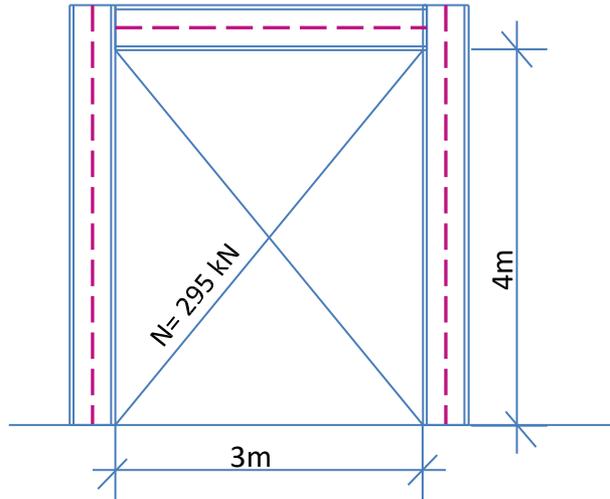
Passo 1. Descobrir o raio de giração (r) necessário:

$$L^2 = 3^2 + 4^2 = 5m$$

$$\lambda_{max} = 300$$

$$\lambda_{peça} = \frac{L}{r} \quad 300 = \frac{500}{r} \quad r = \frac{500}{300} \quad r = 1,67cm$$

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Já sabemos que o raio de giração mínimo é

$$r = 1,67 \text{ cm}$$

Agora precisamos descobrir qual a área mínima para resistir ao esforço axial de tração:

$$N_t, R_d = \frac{A_g \cdot F_y}{\gamma_1}$$

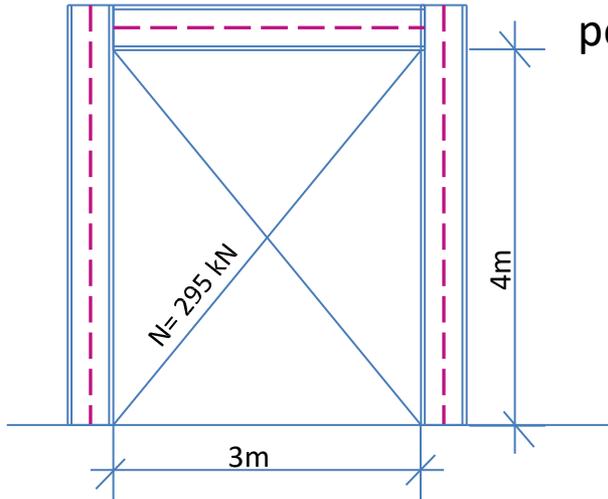
$$295 = \frac{A_g \cdot 25}{1,1}$$

$$A_g = \frac{295 \cdot 1,1}{25}$$

$$A_g = 12,98 \text{ cm}^2$$

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:

Selecionar esse por ser mais comum e seu peso não é tão elevado



Mais leve, porém exótico

Buscar na tabela de cantoneiras um perfil que atenda às duas restrições:

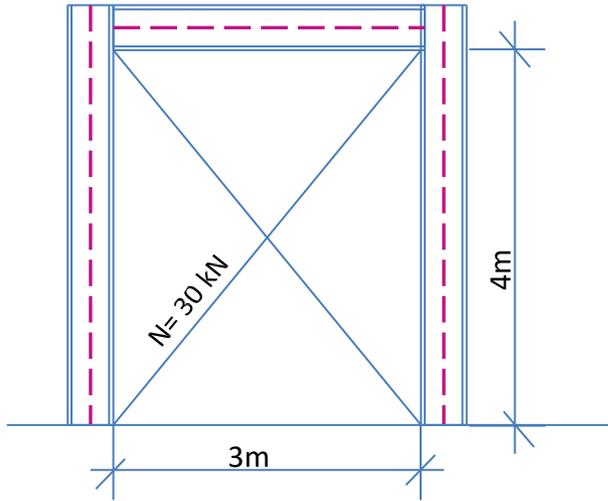
$R > 1,67\text{cm}$
 $A_g > 12,98\text{cm}^2$

Critérios para seleção

- 1 mais leve
- 2 Disponível no mercado
- 3 Possível e fácil de montar

bf	Peso Nominal	tf	Área	Jx=Jy	Wx=Wy	rx=ry	rz mín.	x		
pol	mm	kg/m	pol	cm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm	
5/8"	15,880	0,57		0,250						
3/4"	19,050	0,71		0,250						
1/2"	12,700	0,55	1/8"	0,317	0,70	0,10	0,11	0,37	0,25	0,43
5/8"	15,880	0,71	1/8"	0,317	0,90	0,20	0,19	0,47	0,32	0,51
3/4"	19,050	0,87	1/8"	0,317	1,11	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59
7/8"	22,200	1,04	1/8"	0,317	1,32	0,58	0,38	0,66	0,46	0,66
		1,19	1/8"	0,317	1,48	0,83	0,49	0,79	0,48	0,76
1"	25,400	1,73	3/16"	0,476	2,19	1,25	0,66	0,76	0,48	0,81
		2,22	1/4"	0,635	2,84	1,66	0,98	0,76	0,48	0,86
		1,50	1/8"	0,317	1,93	1,67	0,82	0,97	0,64	0,89
1.1/4"	31,750	2,20	3/16"	0,476	2,77	2,50	1,15	0,97	0,61	0,97
		2,86	1/4"	0,635	3,62	3,33	1,47	0,94	0,61	1,02
		1,83	1/8"	0,317	2,32	3,33	1,15	1,17	0,76	1,07
1.1/2"	38,100	2,68	3/16"	0,476	3,42	4,58	1,64	1,17	0,74	1,12
		3,48	1/4"	0,635	4,45	5,83	2,13	1,15	0,74	1,19
		2,14	1/8"	0,317	2,71	5,41	1,64	1,40	0,89	1,22
1.3/4"	44,450	3,15	3/16"	0,476	4,00	7,50	2,30	1,37	0,89	1,30
		4,12	1/4"	0,635	5,22	9,57	3,13	1,35	0,86	1,35
		2,46	1/8"	0,317	3,10	7,91	2,13	1,60	1,02	1,40
2"	50,800	3,63	3/16"	0,476	4,58	11,70	3,13	1,58	1,02	1,45
		4,74	1/4"	0,635	6,06	14,60	4,10	1,55	0,99	1,50
		5,83	5/16"	0,794	7,42	17,50	4,91	1,53	0,99	1,55
		6,99	3/8"	0,952	8,76	20,00	5,73	1,50	0,99	1,63
		4,57	3/16"	0,476	5,80	23,00	4,91	1,98	1,24	1,75
2.1/2"	63,500	6,10	1/4"	0,635	7,67	29,00	6,40	1,96	1,24	1,83
		7,44	5/16"	0,794	9,48	35,00	7,87	1,93	1,24	1,88
		8,78	3/8"	0,952	11,16	41,00	9,35	1,91	1,22	1,93
		5,52	3/16"	0,476	7,03	40,00	7,21	2,39	1,50	2,08
3"	76,200	7,29	1/4"	0,635	9,29	50,00	9,50	2,36	1,50	2,13
		9,07	5/16"	0,794	11,48	62,00	11,60	2,34	1,50	2,21
		10,71	3/8"	0,952	13,81	75,00	13,60	2,31	1,47	2,26
		14,00	1/2"	1,270	17,74	91,00	18,00	2,29	1,47	2,36
		8,56	1/4"	0,635	10,90	83,70	13,00	2,77	1,76	2,46
3.1/2"	88,900	10,59	5/16"	0,794	13,50	102,00	16,00	2,75	1,75	2,52
		12,58	3/8"	0,952	16,00	121,00	19,20	2,75	1,75	2,58
		9,81	1/4"	0,635	12,51	125,00	16,40	3,17	2,00	2,77
4"	101,600	12,19	5/16"	0,794	15,48	154,00	21,30	3,15	2,00	2,84
		14,57	3/8"	0,952	18,45	183,00	24,60	3,12	2,00	2,90
		16,80	7/16"	1,111	21,35	208,00	29,50	3,12	1,98	2,95
		19,03	1/2"	1,270	24,19	233,00	32,80	3,10	1,98	3,00
		12,34	1/4"	0,635	15,73	251,63	27,09	4,00	2,53	3,41
5"	127,000	15,31	5/16"	0,794	19,50	308,00	33,40	3,97	2,53	3,47
		18,30	3/8"	0,952	23,29	362,00	39,50	3,94	2,51	3,53
		24,10	1/2"	1,270	30,64	470,00	52,50	3,91	2,49	3,63
		29,80	5/8"	1,588	37,80	566,00	64,00	3,86	2,46	3,76
		23,52	7/16"	1,111	26,96	416,68	45,71	3,93	2,50	3,58
		22,20	3/8"	0,952	28,10	641,00	57,40	4,78	3,02	4,17
6"	152,400	29,20	1/2"	1,270	37,09	828,00	75,40	4,72	3,00	4,27
		36,00	5/8"	1,588	45,86	1.007,00	93,50	4,67	2,97	4,39
		42,70	3/4"	1,905	54,44	1.173,00	109,90	4,65	2,97	4,52
8"	203,200	48,70	5/8"	1,588	62,90	2.472,40	168,90	6,31	4,01	5,66
		57,90	3/4"	1,905	73,81	2.901,10	199,90	6,27	3,99	5,79

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Já sabemos que o raio de giração mínimo é
 $r = 1,67cm$

No caso estudado, a área de seção transversal “mandou” no dimensionamento, e isso reflete diretamente no peso da peça. Nesse caso nada adiantaria tentar trabalhar com composição de peças para obter um raio de giração maior.

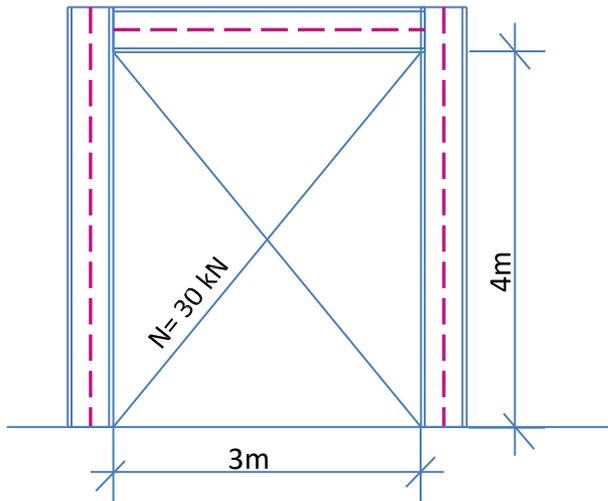
Agora considere o mesmo caso com uma carga menor.

$$30 = \frac{A_g \cdot 25}{1,1}$$

$$A_g = \frac{30 \cdot 1,1}{25}$$

$$A_g = 1,32cm^2$$

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



$$r = 1,67\text{cm}$$

$$A_g = 1,32\text{cm}^2$$

bf	Peso Nominal	tf	Área	Jx=Jy	Wx=Wy	ix=iy	rz mín.	x		
pol	mm	kg/m	pol	cm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm	
5/8"	15,880	0,57		0,250						
3/4"	19,050	0,71		0,250						
1/2"	12,700	0,55	1/8"	0,317	0,70	0,10	0,11	0,37	0,25	0,43
5/8"	15,880	0,71	1/8"	0,317	0,90	0,20	0,19	0,47	0,32	0,51
3/4"	19,050	0,87	1/8"	0,317	1,11	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59
7/8"	22,200	1,04	1/8"	0,317	1,32	0,58	0,38	0,66	0,46	0,66
		1,19	1/8"	0,317	1,48	0,83	0,49	0,79	0,48	0,76
		1,73	3/16"	0,476	2,19	1,25	0,66	0,76	0,48	0,81
		2,22	1/4"	0,635	2,84	1,66	0,98	0,76	0,48	0,86
		1,50	1/8"	0,317	1,93	1,67	0,82	0,97	0,64	0,89
		2,20	3/16"	0,476	2,77	2,50	1,15	0,97	0,61	0,97
		2,86	1/4"	0,635	3,62	3,33	1,47	0,94	0,61	1,02
		1,83	1/8"	0,317	2,32	3,33	1,15	1,17	0,76	1,07
		2,68	3/16"	0,476	3,42	4,58	1,64	1,17	0,74	1,12
		3,48	1/4"	0,635	4,45	5,83	2,13	1,15	0,74	1,19
		2,14	1/8"	0,317	2,71	5,41	1,64	1,40	0,89	1,22
		3,15	3/16"	0,476	4,00	7,50	2,30	1,37	0,89	1,30
		4,12	1/4"	0,635	5,22	9,57	3,13	1,35	0,86	1,35
		2,46	1/8"	0,317	3,10	7,91	2,13	1,60	1,02	1,40
		3,63	3/16"	0,476	4,58	11,70	3,13	1,58	1,02	1,45
		4,74	1/4"	0,635	6,06	14,60	4,10	1,55	0,99	1,50
		5,83	5/16"	0,794	7,42	17,50	4,91	1,53	0,99	1,55
		6,99	3/8"	0,952	8,76	20,00	5,73	1,50	0,99	1,63
		4,57	3/16"	0,476	5,80	23,00	4,91	1,98	1,24	1,75
		6,10	1/4"	0,635	7,67	29,00	6,40	1,96	1,24	1,83
		7,44	5/16"	0,794	9,48	35,00	7,87	1,93	1,24	1,88
		8,78	3/8"	0,952	11,16	41,00	9,35	1,91	1,22	1,93
		5,52	3/16"	0,476	7,03	40,00	7,21	2,39	1,50	2,08
		7,29	1/4"	0,635	9,29	50,00	9,50	2,36	1,50	2,13
		9,07	5/16"	0,794	11,48	62,00	11,60	2,34	1,50	2,21
		10,71	3/8"	0,952	13,81	75,00	13,60	2,31	1,47	2,26
		14,00	1/2"	1,270	17,74	91,00	18,00	2,29	1,47	2,36
		8,56	1/4"	0,635	10,90	83,70	13,00	2,77	1,76	2,46
		10,59	5/16"	0,794	13,50	102,00	16,00	2,75	1,75	2,52
		12,58	3/8"	0,952	16,00	121,00	19,20	2,75	1,75	2,58
		9,81	1/4"	0,635	12,51	125,00	16,40	3,17	2,00	2,77
		12,19	5/16"	0,794	15,48	154,00	21,30	3,15	2,00	2,84
		14,57	3/8"	0,952	18,45	183,00	24,60	3,12	2,00	2,90
		16,80	7/16"	1,111	21,35	208,00	29,50	3,12	1,98	2,95
		19,03	1/2"	1,270	24,19	233,00	32,80	3,10	1,98	3,00
		12,34	1/4"	0,635	15,73	251,63	27,09	4,00	2,53	3,41
		15,31	5/16"	0,794	19,50	308,00	33,40	3,97	2,53	3,47
		18,30	3/8"	0,952	23,29	362,00	39,50	3,94	2,51	3,53
		24,10	1/2"	1,270	30,64	470,00	52,50	3,91	2,49	3,63
		29,80	5/8"	1,588	37,80	566,00	64,00	3,86	2,46	3,76
		23,52	7/16"	1,111	26,96	416,68	45,71	3,93	2,50	3,58
		22,20	3/8"	0,952	28,10	641,00	57,40	4,78	3,02	4,17
		29,20	1/2"	1,270	37,09	828,00	75,40	4,72	3,00	4,27
		36,00	5/8"	1,588	45,86	1.007,00	93,50	4,67	2,97	4,39
		42,70	3/4"	1,905	54,44	1.173,00	109,90	4,65	2,97	4,52
		48,70	5/8"	1,588	62,90	2.472,40	168,90	6,31	4,01	5,66
		57,90	3/4"	1,905	73,81	2.901,10	199,90	6,27	3,99	5,79

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:

5.2.4 Área líquida

5.2.4.1 Em regiões com furos, feitos para ligação ou para qualquer outra finalidade, a área líquida, A_n , de uma barra é a soma dos produtos da espessura pela largura líquida de cada elemento, calculada como segue:

- em ligações parafusadas, a largura dos furos deve ser considerada 2,0 mm maior que a dimensão máxima desses furos, definida em 6.3.6, perpendicular à direção da força aplicada (alternativamente, caso se possa garantir que os furos sejam executados com broca, pode-se usar a largura igual à dimensão máxima);
- no caso de uma série de furos distribuídos transversalmente ao eixo da barra, em diagonal a esse eixo ou em ziguezague, a largura líquida dessa parte da barra deve ser calculada deduzindo-se da largura bruta a soma das larguras de todos os furos em cadeia, e somando-se para cada linha ligando dois furos a quantidade $s^2/(4g)$, sendo s e g , respectivamente, os espaçamentos longitudinal e transversal (gabarito) entre esses dois furos (Figura 4);
- a largura líquida crítica daquela parte da barra será obtida pela cadeia de furos que produza a menor das larguras líquidas, para as diferentes possibilidades de linhas de ruptura;
- para cantoneiras, o gabarito g dos furos em abas opostas deve ser considerado igual à soma dos gabaritos, medidos a partir da aresta da cantoneira, subtraída de sua espessura;
- na determinação da área líquida de seção que compreenda soldas de tampão ou soldas de filete em furos, a área do metal da solda deve ser desprezada.

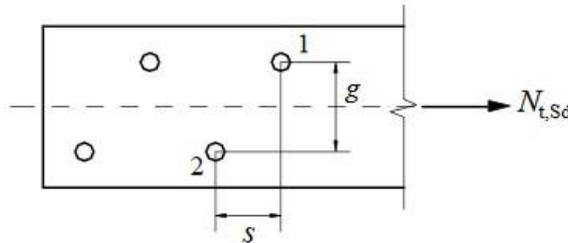
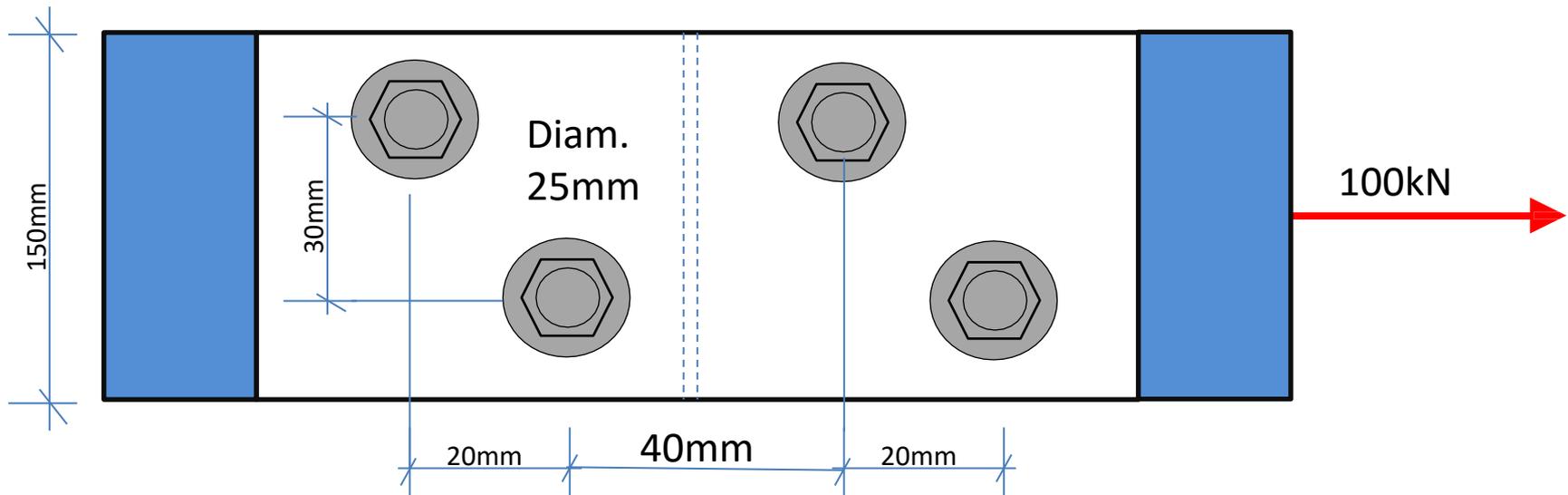


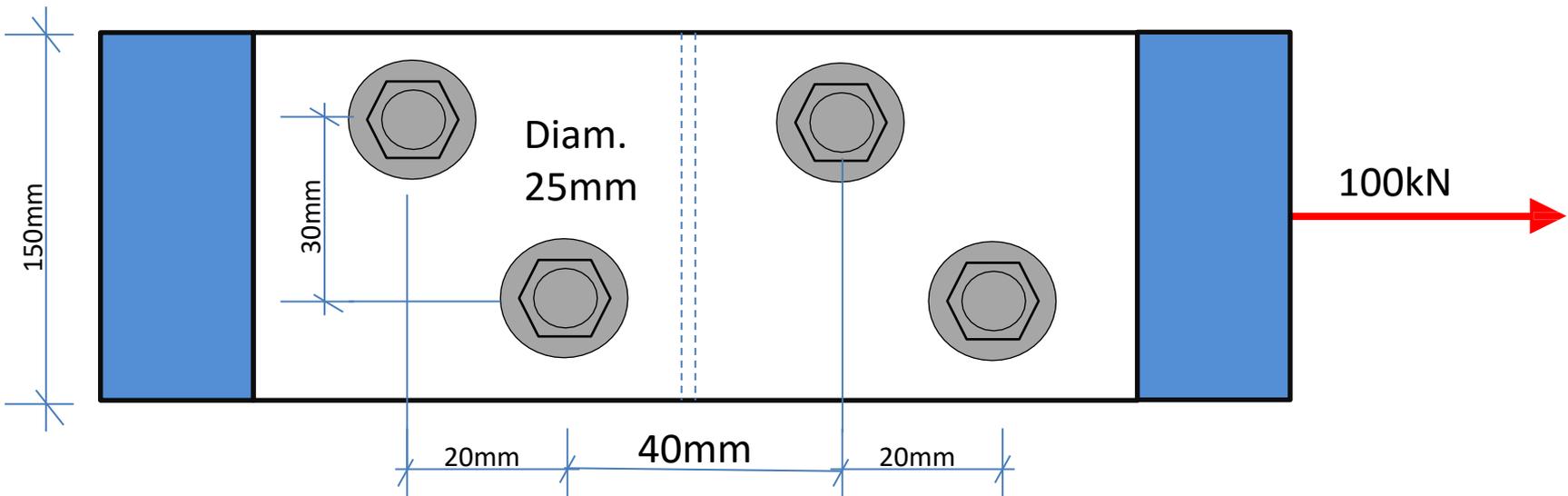
Figura 4 — Ilustração dos espaçamentos s e g entre os furos 1 e 2

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Calcular a resistência à tração da barra chata de espessura 10mm ligada pela chapa de ligação (cobrejunta) de espessura 12mm

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



$$A_g = 15\text{cm} \cdot 1,0\text{cm} = 15\text{cm}^2$$

Cálculo da largura efetiva

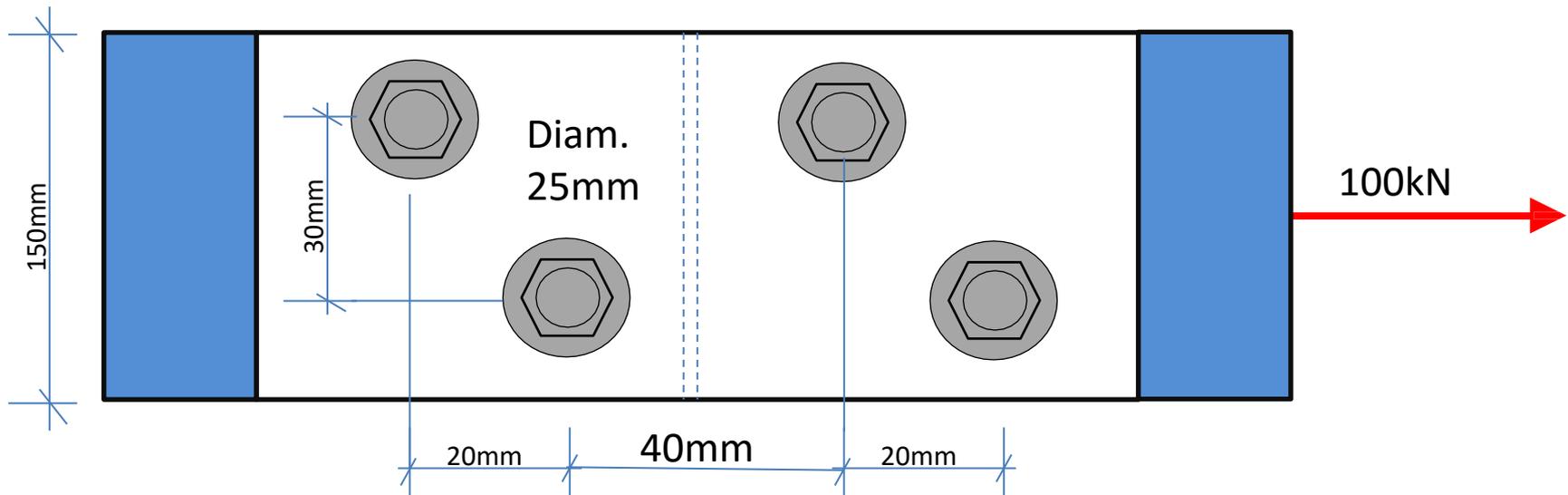
$$h_n = 150 - 2 \cdot (25 + 1,5 + 2) = 93\text{mm} \text{ ou } 9,3\text{cm}$$

$$\text{Área efetiva: } A_n = h_n \cdot t + \frac{3^2}{4 \cdot 2} \cdot t$$

$$A_n = 9,3 \cdot 1,0 + 1,12 \cdot 1,0$$

$$A_n = 10,42\text{cm}^2$$

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Verificação da seção líquida à ruptura

$$N_t, R_d = \frac{A_n \cdot F_u}{\gamma_2} = \frac{10,42 \cdot 40}{1,35} = 308,74 \text{ kN} > 100 \text{ kN} \text{ OK!}$$

Verificação da seção bruta ao escoamento

$$N_t, R_d = \frac{A_g \cdot F_y}{\gamma_1} = \frac{15 \cdot 25}{1,1} = 340 \text{ kN} > 100 \text{ kN} \text{ OK!}$$

Valor crítico (Resistência nominal do perfil à tração)

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:

5.2.3 Área líquida efetiva

A área líquida efetiva de uma barra, A_e , é dada por:

$$A_e = C_t A_n$$

onde:

A_n é a área líquida da barra, determinada conforme 5.2.4;

C_t é um coeficiente de redução da área líquida, determinado conforme 5.2.5.

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:

5.2.5 Coeficiente de redução

O coeficiente de redução da área líquida, C_t , tem os seguintes valores:

- 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;

- 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 (devendo, no entanto, ser usado 0,90 como limite superior, e não se permitindo o uso de ligações que resultem em um valor inferior a 0,60):

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

onde:

e_c é a excentricidade da ligação, igual à distância do centro geométrico da seção da barra, G , ao plano de cisalhamento da ligação (em perfis com um plano de simetria, a ligação deve ser simétrica em relação a ele e são consideradas, para cálculo de C_t , duas barras fictícias e simétricas, cada uma correspondente a um plano de cisalhamento da ligação, por exemplo, duas seções T no caso de perfis I ou H ligados pelas mesas ou duas seções U, no caso desses perfis serem ligados pela alma - ver Figura 5);

ℓ_c é o comprimento efetivo da ligação (esse comprimento, nas ligações soldadas, é igual ao comprimento da solda na direção da força axial; nas ligações parafusadas é igual a distância do primeiro ao último parafuso da linha de furação com maior número de parafusos, na direção da força axial);

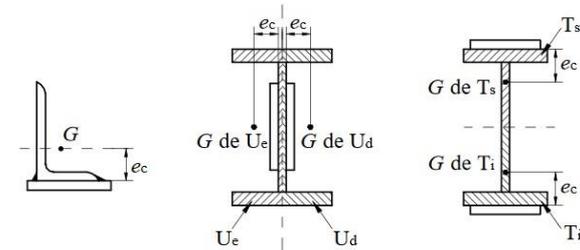


Figura 5 — Ilustração dos valores de e_c em seções abertas

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:

- d) nas chapas planas, quando a força de tração for transmitida somente por soldas longitudinais ao longo de ambas as suas bordas, conforme a Figura 6 (ver 6.2.6.2.3):

$$C_t = 1,00, \text{ para } l_w \geq 2b$$

$$C_t = 0,87, \text{ para } 2b > l_w \geq 1,5b$$

$$C_t = 0,75, \text{ para } 1,5b > l_w \geq b$$

onde:

l_w é o comprimento dos cordões de solda;

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

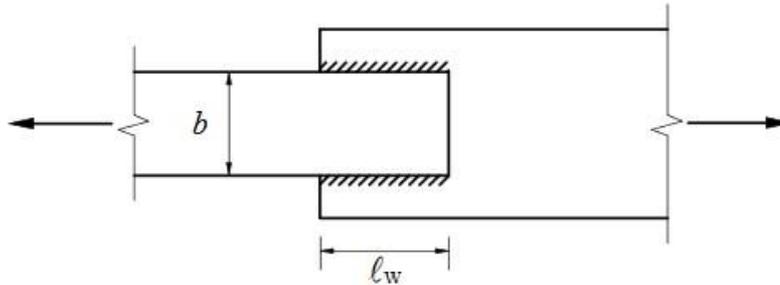


Figura 6 — Chapa plana com força de tração transmitida por solda longitudinal

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:

- e) como na alínea c), nas barras com seções tubulares retangulares, quando a força de tração for transmitida por meio de uma chapa de ligação concêntrica ou por chapas de ligação em dois lados opostos da seção, desde que o comprimento da ligação, ℓ_c , não seja inferior à dimensão da seção na direção paralela à(s) chapa(s) de ligação (Figura 7);

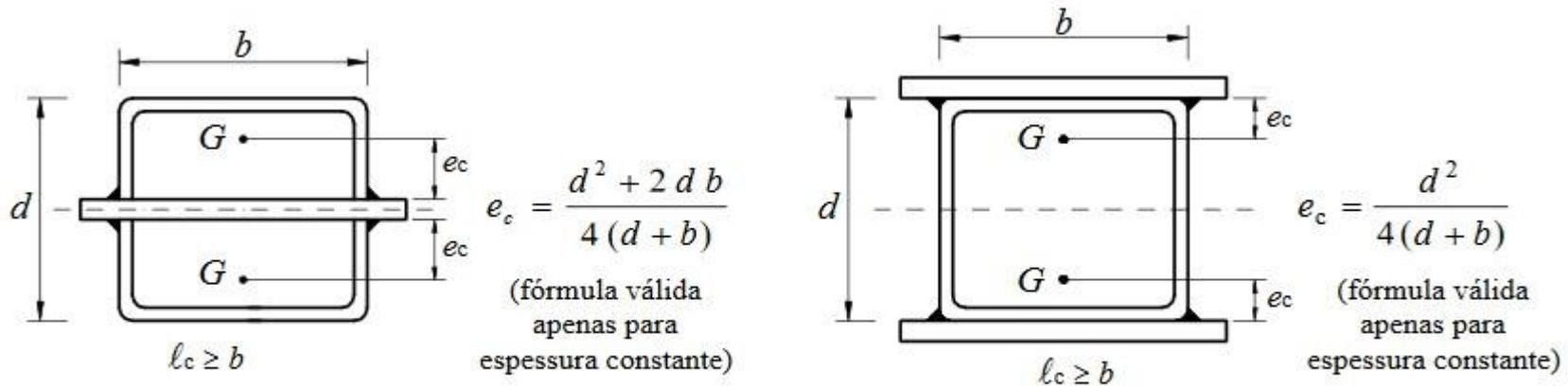


Figura 7 — Ilustração do valor de e_c em seção tubular retangular

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:

- f) nas barras com seções tubulares circulares, quando a força de tração for transmitida por meio de uma chapa de ligação concêntrica (Figura 8):
- se o comprimento da ligação, ℓ_c , for superior ou igual a 1,30 do diâmetro externo da barra: $C_t = 1,00$;
 - como na alínea c), se o comprimento da ligação for superior ou igual ao diâmetro externo da barra e menor que 1,30 vez esse diâmetro.

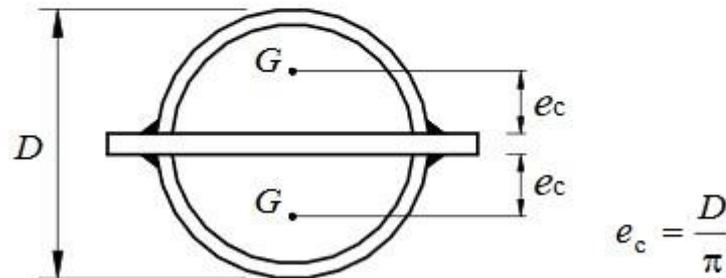
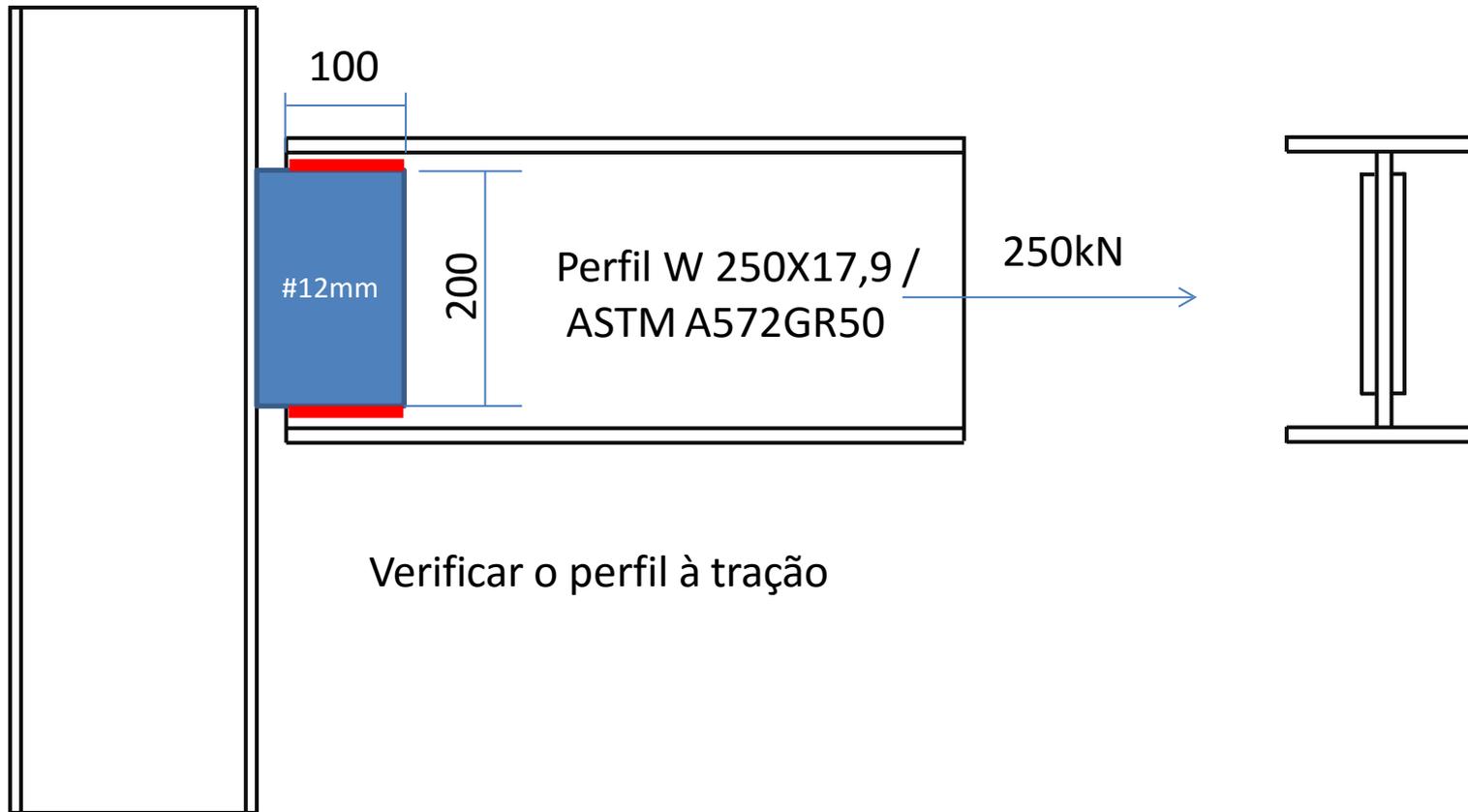
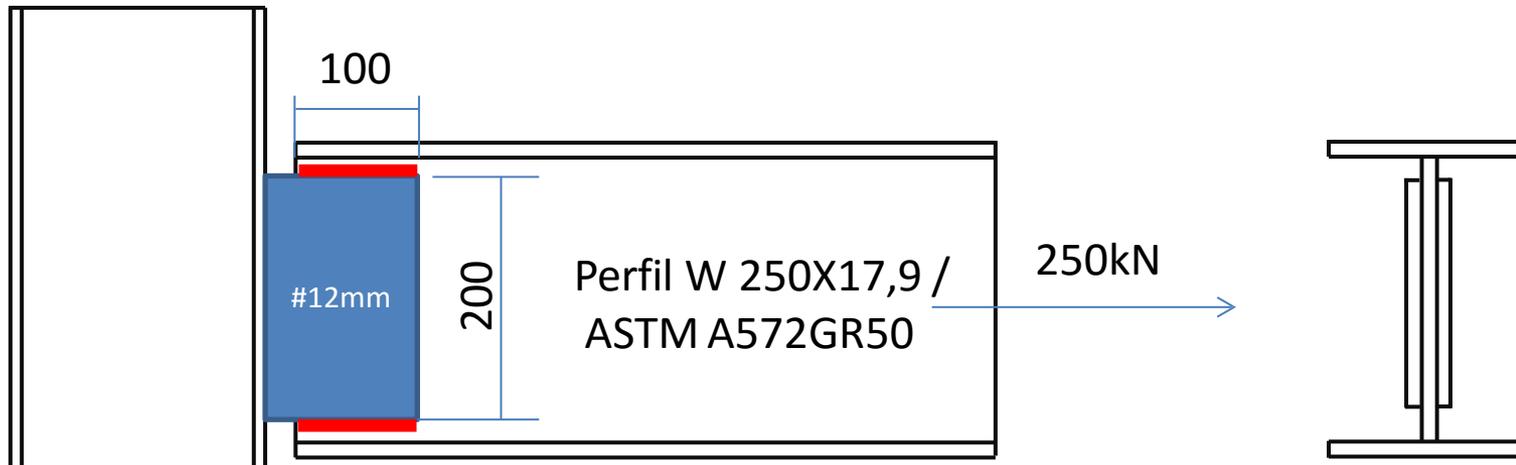


Figura 8 — Ilustração do valor de e_c em seção tubular circular

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Cálculo da Área líquida efetiva:

$$A_e = C_t \cdot A_n$$

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

$$e_c = 12,26\text{mm}$$

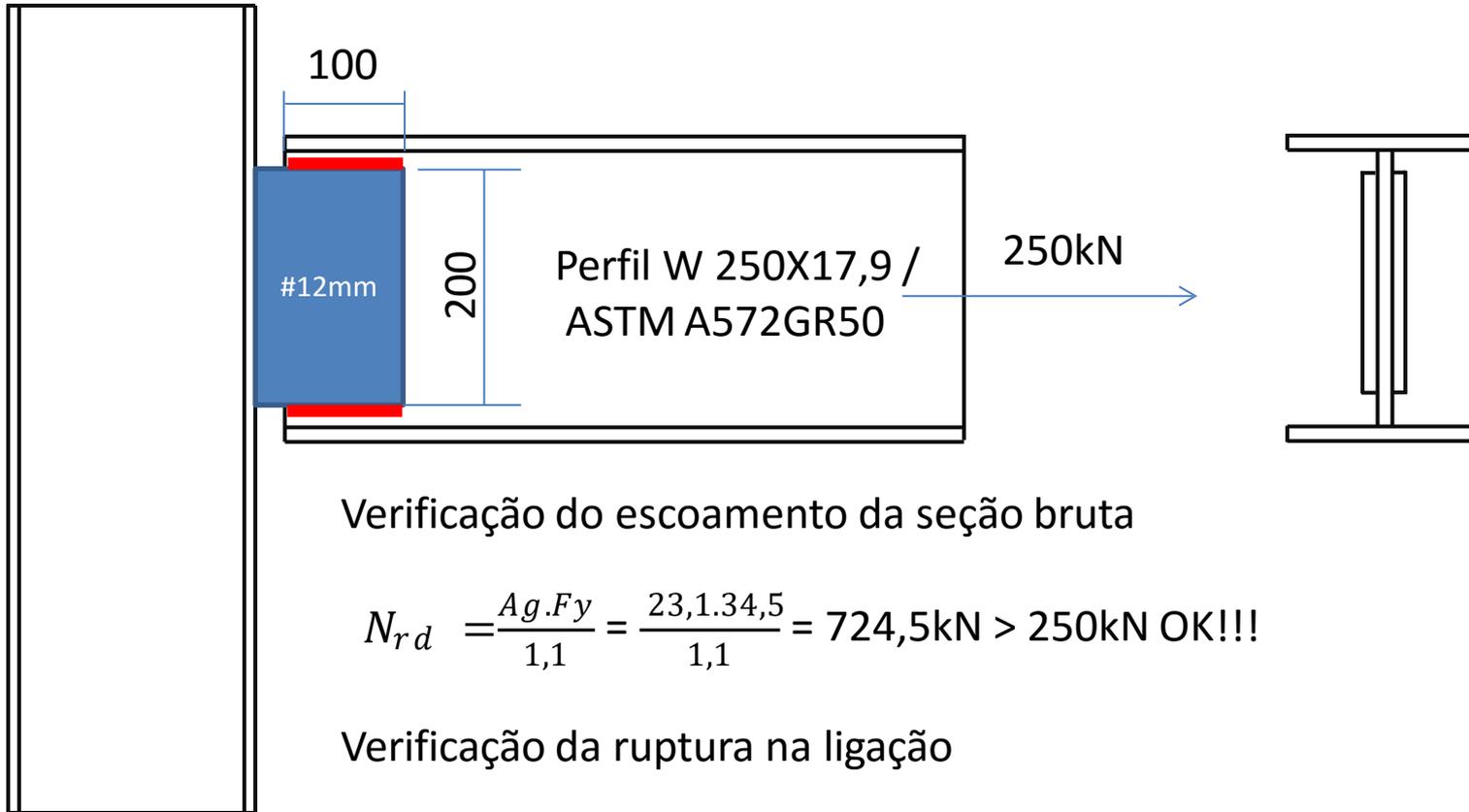
$$C_t = 1 - \frac{12,26}{100}$$

$$C_t = 0,8774$$

Se C_t for maior que 0,9, adotar 0,9

Se C_t for menor que 0,6, rejeitar ligação

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



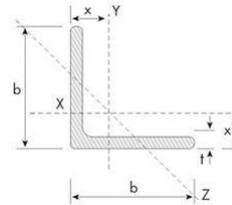
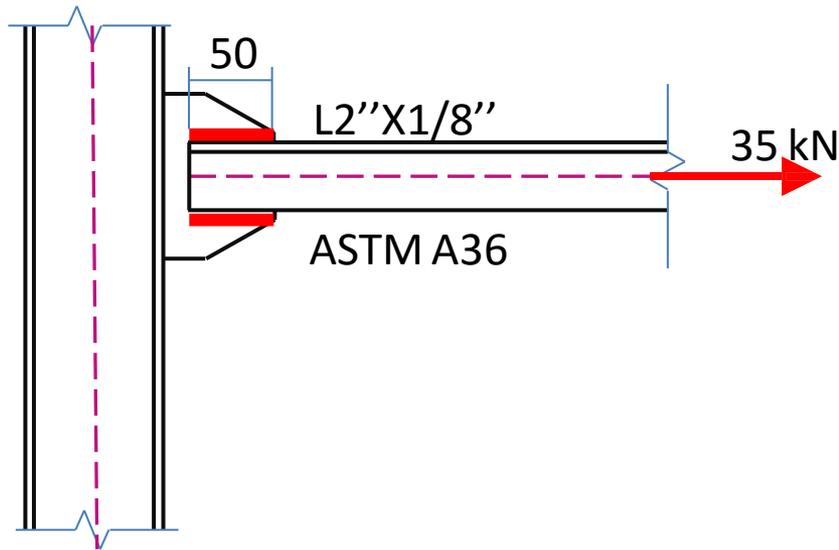
Verificação do escoamento da seção bruta

$$N_{rd} = \frac{A_g \cdot F_y}{1,1} = \frac{23,1 \cdot 31,5}{1,1} = 724,5 \text{ kN} > 250 \text{ kN OK!!!}$$

Verificação da ruptura na ligação

$$N_{rd} = \frac{c \cdot t \cdot A_n \cdot F_u}{1,35} = \frac{0,88 \cdot 23,1 \cdot 40}{1,35} = 602,31 \text{ kN} > 250 \text{ kN OK!!!}$$

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



$$ec = 13,64mm$$

Cálculo da Área líquida efetiva:

$$Ae = Ct \cdot An$$
$$Ct = 1 - \frac{13,64}{50}$$
$$Ct = 0,73$$

Verificação do escoamento da seção bruta

$$N_{rd} = \frac{3,10 \cdot 25}{1,1} = 70,45 > 35 \text{ kN OK!!!}$$

Verificação da ruptura na ligação

$$N_{rd} = \frac{ct \cdot An \cdot Fu}{1,35} = \frac{0,73 \cdot 3,1 \cdot 40}{1,35} = 67,05 > 35 \text{ kN OK!!!}$$