

Aula 3

Peças Tracionadas

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas

Verificação 1: Limitação do índice de esbeltez (opcional)

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).

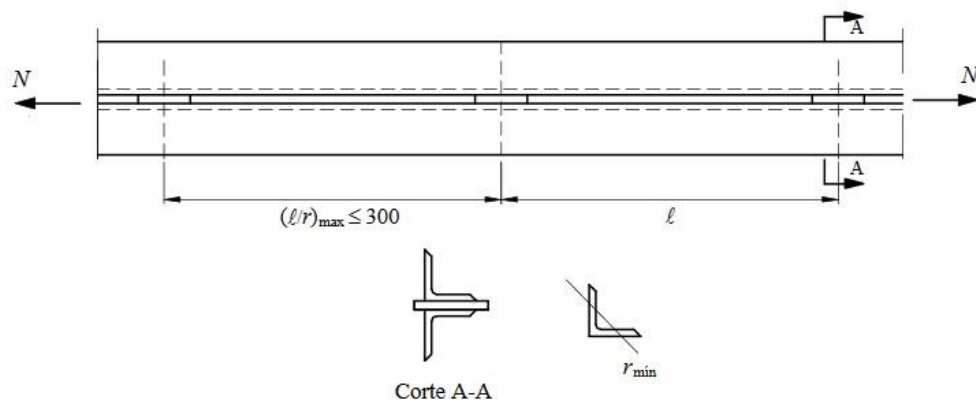


Figura 10 — Barra composta tracionada

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.

Verificações de Resistência:

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

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad \text{Ex. } \frac{N_{tRd}}{A_g} = \frac{F_y}{1,1} \rightarrow \sigma_{Sd} \cdot 1,45 = \frac{25}{1,1} \rightarrow \sigma_{Sd} = \frac{25}{1,595} = 15,67 \text{ kN/cm}^2$$

b) para ruptura da seção líquida

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} \quad \text{Ex. } \frac{N_{tRd}}{A_e} = \frac{F_u}{1,35} \rightarrow \sigma_{Sd} \cdot 1,45 = \frac{40}{1,35} \rightarrow \sigma_{Sd} = \frac{40}{1,957} = 20,44 \text{ kN/cm}^2$$

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:

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:

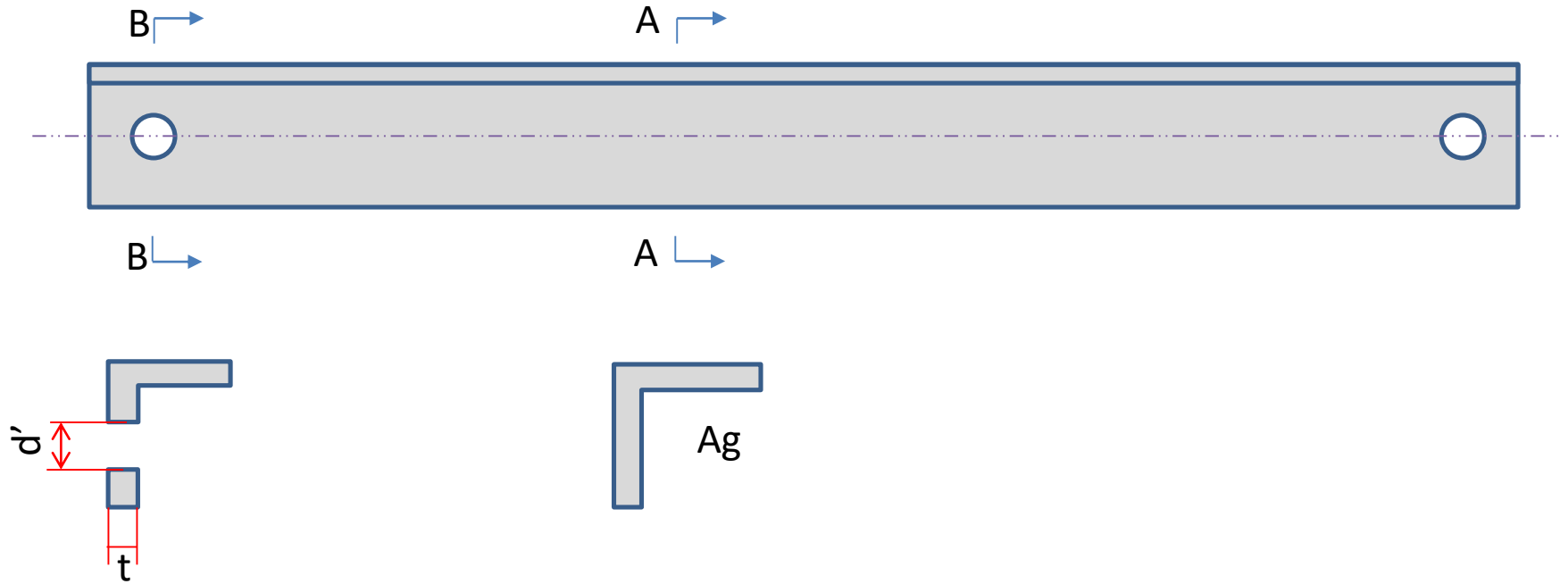
A_n é a área líquida da barra, determinada conforme 5.2.4;

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

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:

- a) 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);

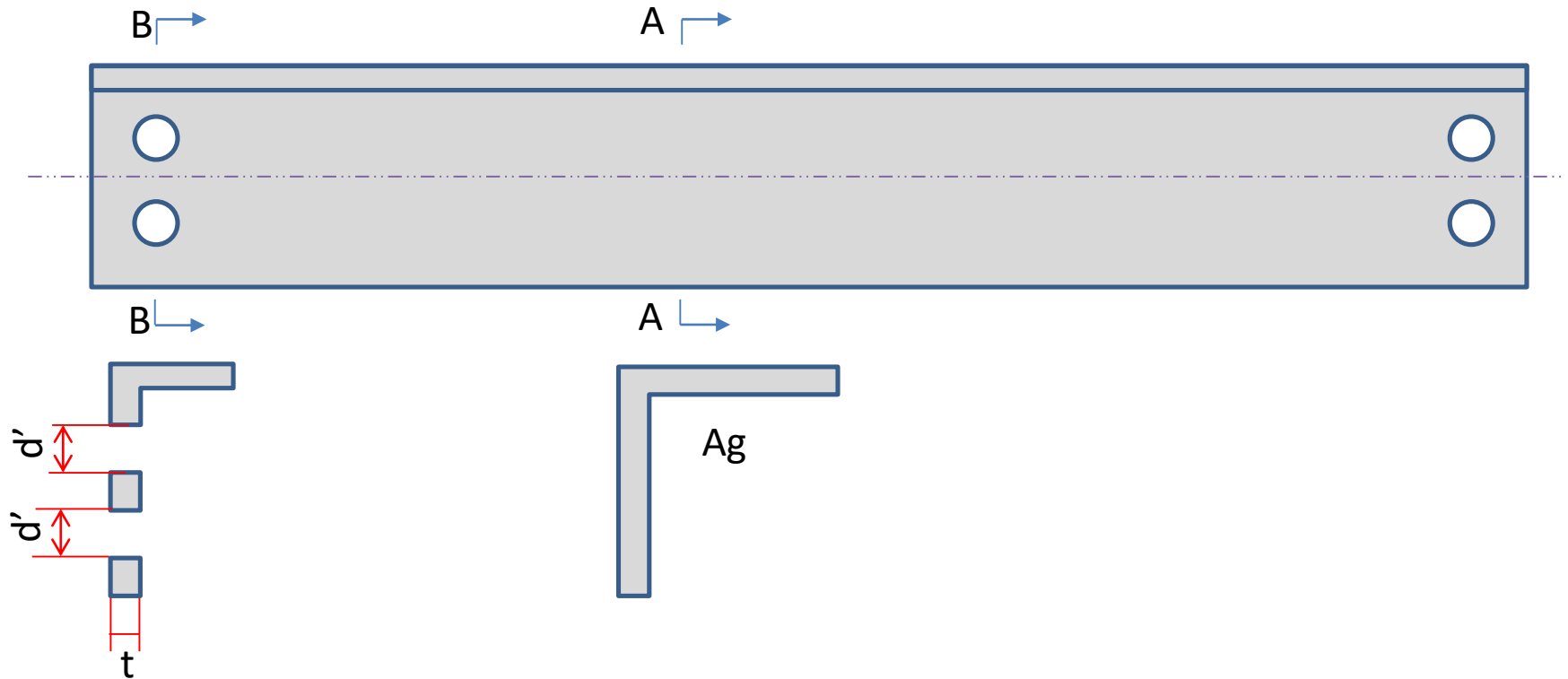
Área Líquida (A_n):



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

$$d' = D_p + 1,5_{mm} + 2_{mm}$$

Área Líquida (A_n):



$$A_n = A_g - 2 \cdot (d' \cdot t)$$

$$d' = D_p + 1,5mm + 2mm$$

Área Líquida (A_n):



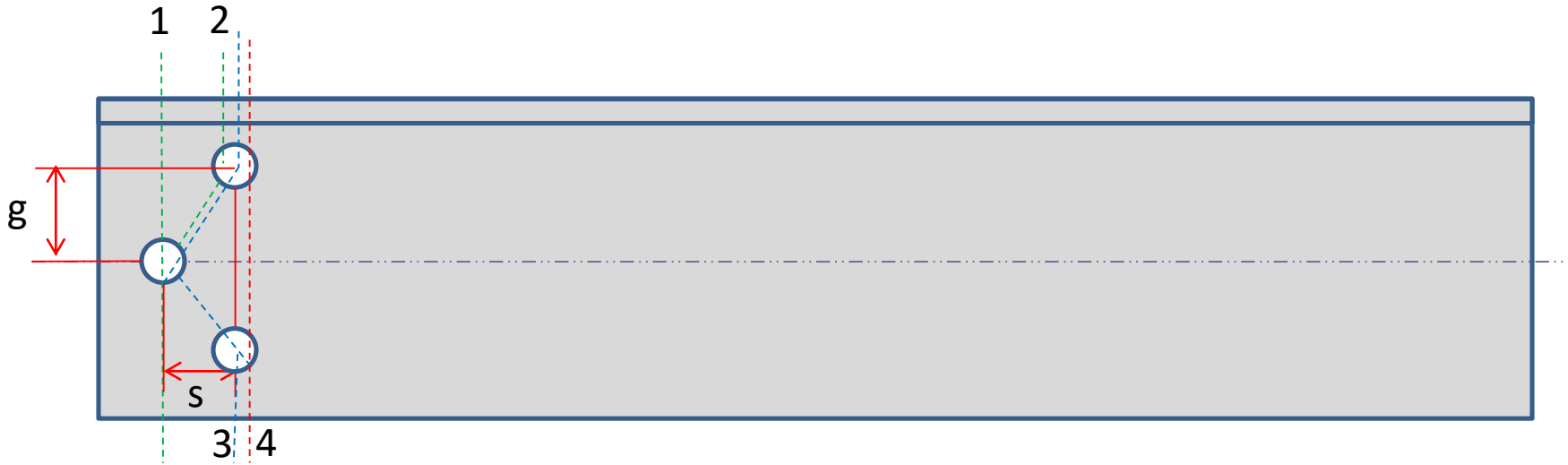
Escolhemos a menor das áreas líquidas

$$A_n = A_g - d' \cdot t \text{ (Caminho 1)}$$

$$A_n = A_g - \left(2 \cdot d' + \frac{s^2}{4g}\right) \cdot t \text{ (Caminho 2)}$$

- b) 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);
- c) 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;

Área Líquida (A_n):



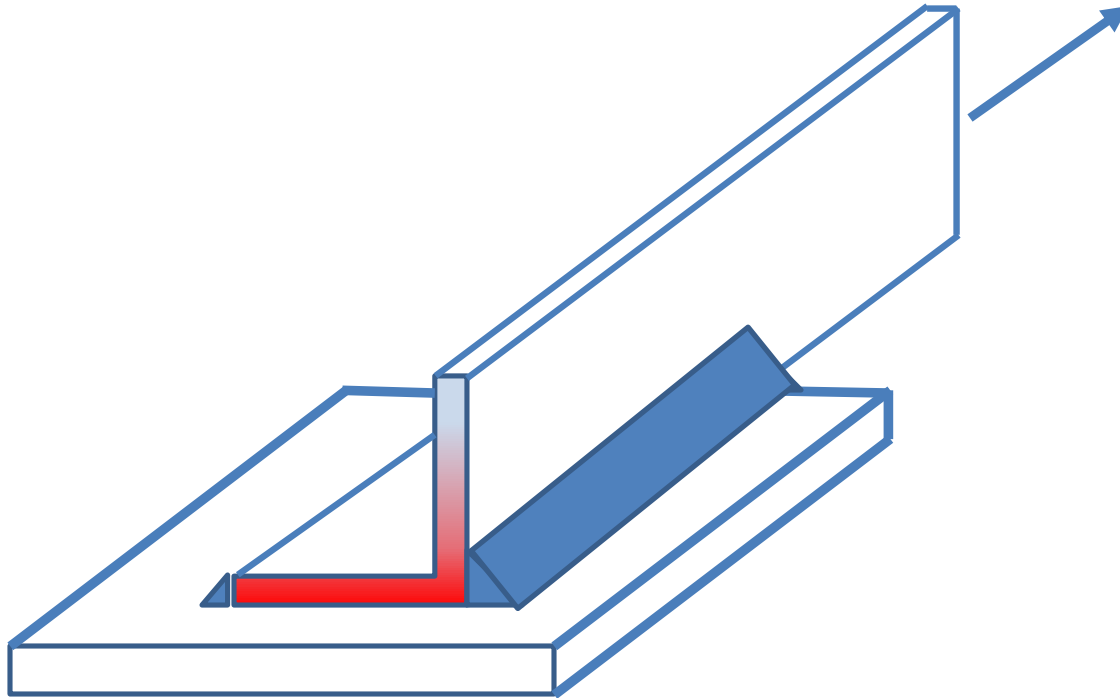
$$A_n = A_g - d' \cdot t \text{ (Caminho 1)}$$

$$A_n = A_g - \left(2 \cdot d' + \frac{s^2}{4g}\right) \cdot t \text{ (Caminho 2)}$$

$$A_n = A_g - \left(3 \cdot d' + 2 \cdot \frac{s^2}{4g}\right) \cdot t \text{ (Caminho 3)}$$

$$A_n = A_g - 2 \cdot d' \cdot t \text{ (Caminho 4)}$$

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



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);

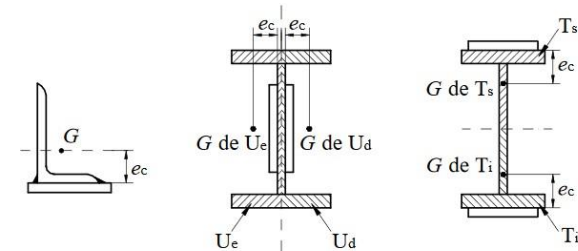


Figura 5 — Ilustração dos valores de e_c em seções abertas

EUROCÓDIGO 3 EM-1993-1-8:2005 3.10.1

- (2) A single angle in tension connected by a single row of bolts in one leg, see Figure 3.9, may be treated as concentrically loaded over an effective net section for which the design ultimate resistance should be determined as follows:

with 1 bolt:
$$N_{u,Rd} = \frac{2,0(e_2 - 0,5d_0)t f_u}{\gamma_{M2}} \quad \dots (3.11)$$

with 2 bolts:
$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad \dots (3.12)$$

with 3 or more bolts:
$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad \dots (3.13)$$

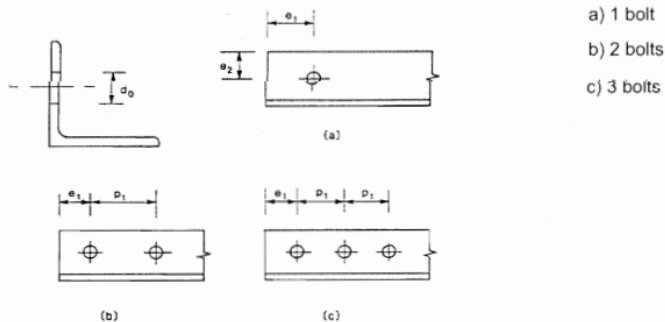
where:

β_2 and β_3 are reduction factors dependent on the pitch p_1 as given in Table 3.8. For intermediate values of p_1 the value of β may be determined by linear interpolation;

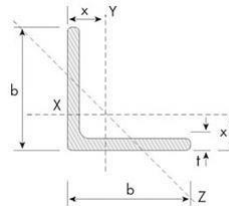
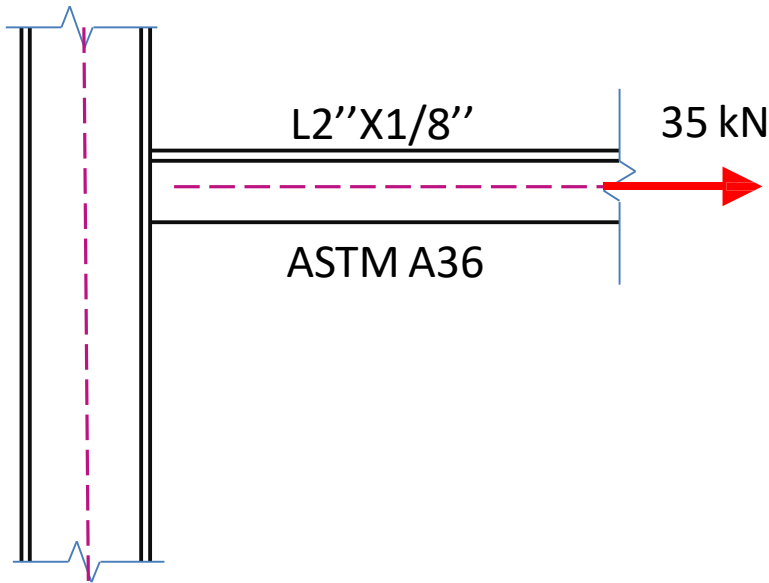
A_{net} is the net area of the angle. For an unequal-leg angle connected by its smaller leg, A_{net} should be taken as equal to the net section area of an equivalent equal-leg angle of leg size equal to that of the smaller leg.

Table 3.8: Reduction factors β_2 and β_3

Pitch	p_1	$\leq 2,5 d_0$	$\geq 5,0 d_0$
2 bolts	β_2	0,4	0,7
3 bolts or more	β_3	0,5	0,7



DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



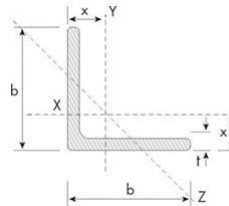
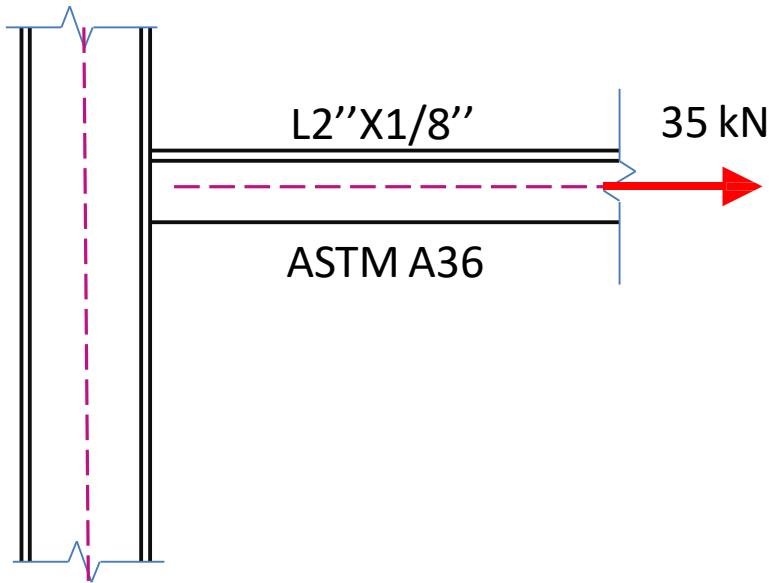
Passo 1: extrair propriedades necessárias

Área da seção transversal(A_g) = $3,10\text{cm}^2$

$F_y = 25\text{kN/cm}^2$ (ASTM A 36)

bf		Peso Nominal	tf		Área	Jx=Jy	Wx=Wy	rx=ry	rz min.	x
pol	mm	Kg/m	pol	cm	cm²	cm⁴	cm³	cm	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	0,38	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
6"	152,400	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:



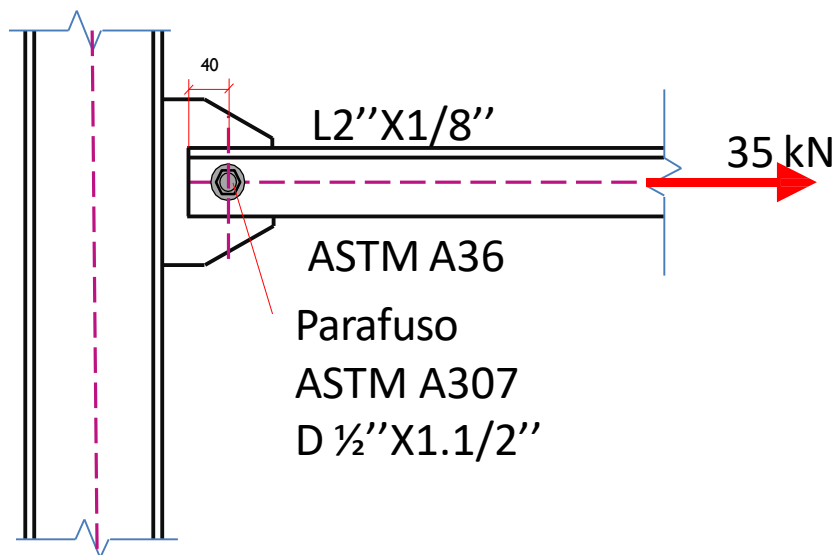
Passo 2: por se tratar de verificação de resistência de perfil à tração, sem furos, verifica-se o escoamento na seção bruta

$$N_t, R_d = \frac{A_g \cdot F_y}{\gamma_1} = \frac{3,10.25}{1,1} = 70,45kN > 35kN \text{ OK!}$$

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

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

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



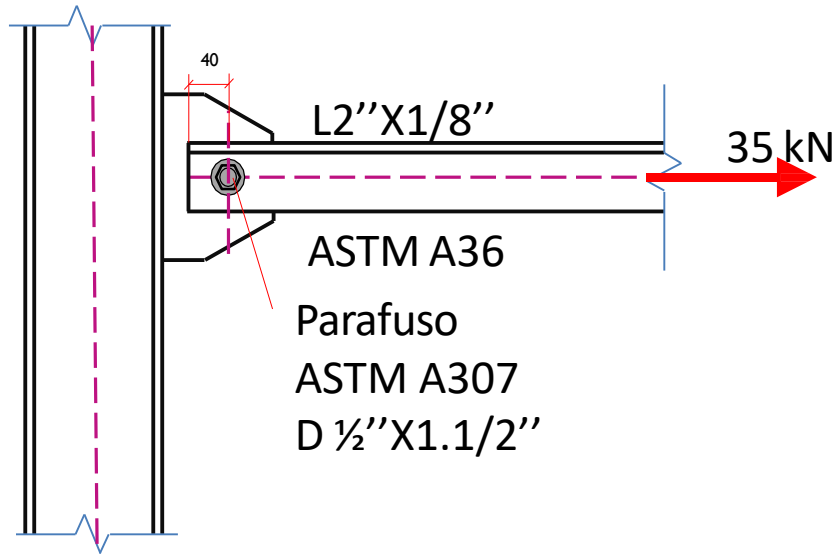
Calcular o diâmetro efetivo do furo

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

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	$1 \ 1/16$	$1 \ 1/4$	$1 \ 1/16 \times 1 \ 5/16$	$1 \ 1/16 \times 2 \ 1/2$
	$\geq 1 \ 1/8$	$d_b + 1/16$	$d_b + 5/16$	$(d_b + 1/16) \times (d_b + 3/8)$	$(d_b + 1/16) \times 2,5 d_b$

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Verificação da seção líquida à ruptura

$$N_{t,Rd} = \frac{2(e_2 - 0,5d') \cdot t \cdot F_u}{1,35}$$

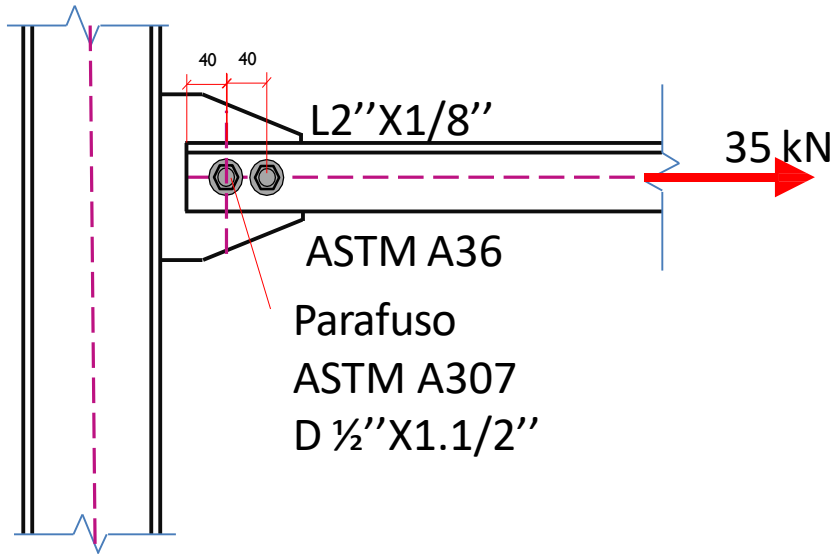
$$N_{t,Rd} = \frac{2(2,54 - 0,5 \cdot 1,62) \cdot 0,318 \cdot 40}{1,35}$$

$$N_{t,Rd} = 32,60 \text{ (NÃO OK!)}$$

Verificação da seção Bruta ao Escoamento

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot F_y}{1,1} = \frac{3,10 \cdot 25}{1,1} = 70,45 \text{ kN OK}$$

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Verificação da seção líquida à ruptura

$$d' = 12,7 + 1,5 + 2,00 = 16,2\text{mm}$$

$$A_n = A_g - d' \cdot t = 3,10 - 1,62 \cdot 0,318$$

$$A_n = 2,58\text{ cm}^2$$

$$C_t = 1 - \frac{e_c}{L_c} = 1 - \frac{1,40}{4} = 0,65$$

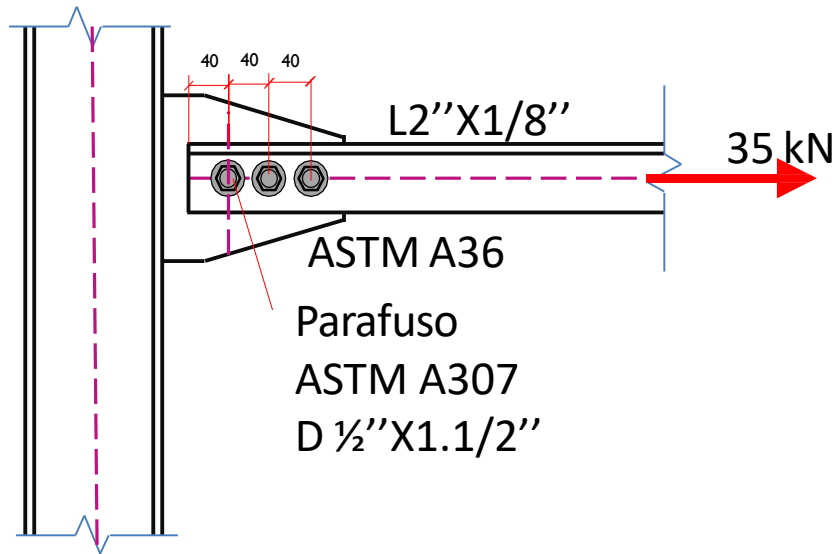
$$A_e = C_t \cdot A_n = 2,58 \cdot 0,65 = 1,677\text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e \cdot F_u}{1,35} = \frac{1,677 \cdot 40}{1,35} = 49,68\text{ kN} \text{ OK!}$$

Verificação da seção bruta ao escoamento

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

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Verificação da seção líquida à ruptura

$$d' = 12,7 + 1,5 + 2,00 = 16,2 \text{ mm}$$

$$A_n = A_g - d' \cdot t = 3,10 - 1,62 \cdot 0,318$$

$$A_n = 2,58 \text{ cm}^2$$

$$C_t = 1 - \frac{e_c}{L_c} = 1 - \frac{1,40}{8} = 0,82$$

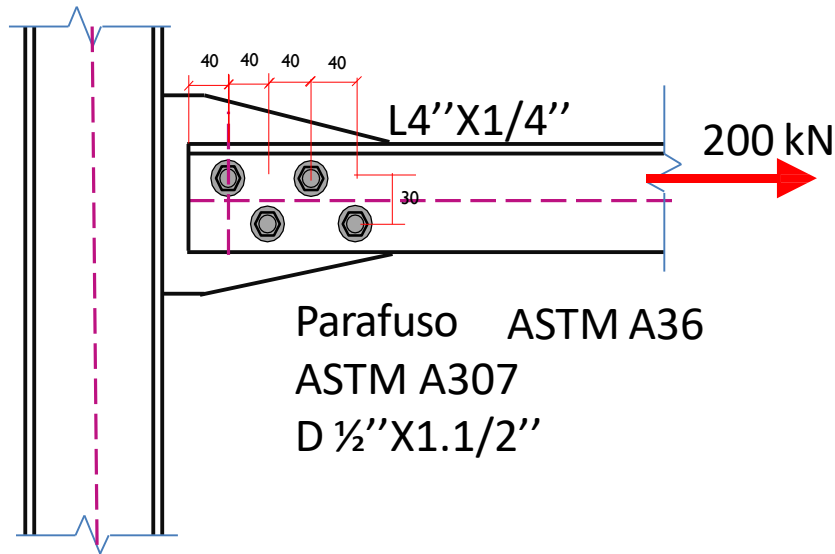
$$A_e = C_t \cdot A_n = 2,58 \cdot 0,82 = 2,12 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e \cdot F_u}{1,35} = \frac{2,12 \cdot 40}{1,35} = 62,31 \text{ kN OK!}$$

Verificação da seção bruta ao escoamento

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

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Verificação da seção líquida à ruptura

$$d' = 12,7 + 1,5 + 2,00 = 16,2 \text{ mm}$$

$$A_n = A_g - d' \cdot t = 12,51 - 1,62 \cdot 0,318$$

$$A_n = 11,99 \text{ cm}^2 \text{ (Caminho 1)}$$

$$A_n = A_g - \left(2 \cdot d' + \frac{s^2}{4g}\right) \cdot t \text{ (Caminho 2)}$$

$$A_n = 12,51 - \left(2 \cdot 1,62 + \frac{4^2}{4 \cdot 3}\right) \cdot 0,635$$

$$\underline{A_n = 9,60 \text{ cm}^2}$$

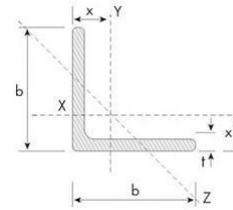
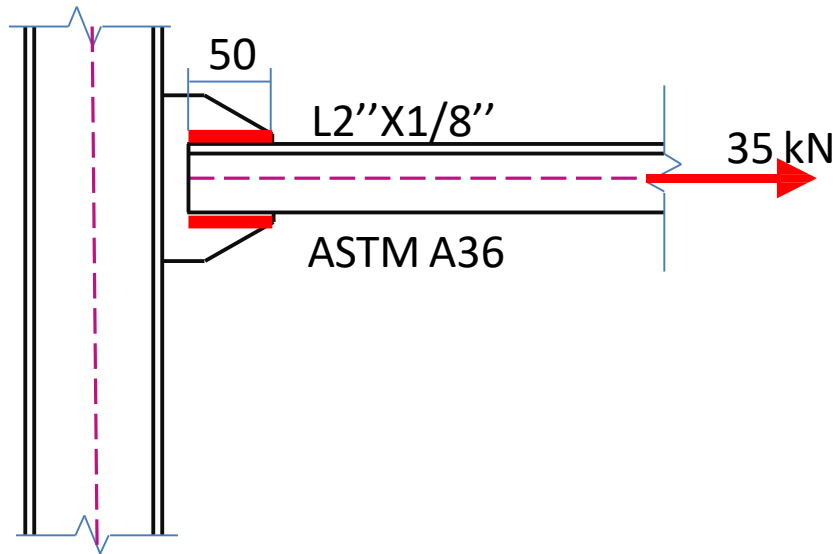
$$C_t = 1 - \frac{e_c}{L_c} = 1 - \frac{2,77}{12} = 0,77$$

$$A_e = C_t \cdot A_n = 0,77 \cdot 9,60 = 7,39 \text{ cm}^2 \quad N_t, R_d = \frac{A_e \cdot F_u}{1,35} = \frac{7,39 \cdot 40}{1,35} = 218,96 \text{ kN} \text{ OK!}$$

Verificação da seção bruta ao escoamento

$$N_t, R_d = \frac{A_g \cdot F_y}{\gamma_1} = \frac{12,51 \cdot 25}{1,1} = 284,32 \text{ kN} > 200 \text{ kN} \text{ OK!}$$

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



$$ec = 1,40mm$$

Cálculo da Área líquida efetiva:

$$Ae = Ct \cdot An$$
$$Ct = 1 - \frac{1,40}{5}$$
$$Ct = 0,72$$

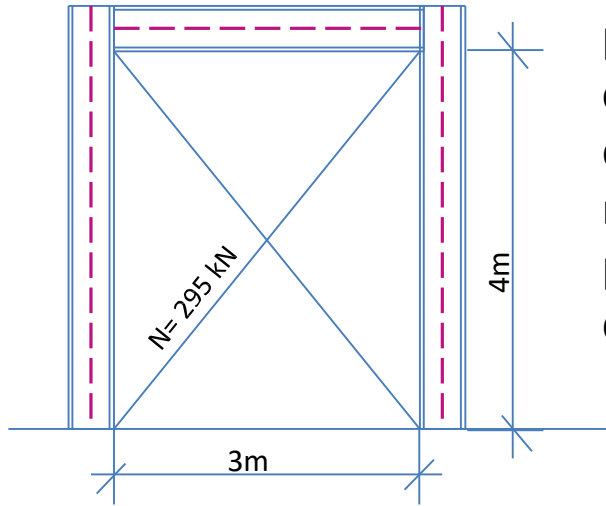
Verificação do escoamento da seção bruta

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

Verificação da ruptura na ligação

$$N_{rd} = \frac{ct \cdot An \cdot Fu}{1,35} = \frac{0,72 \cdot 3,1 \cdot 40}{1,35} = 66,13 > 35 \text{ kN OK!!!}$$

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:

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

$$\lambda_{max} = 300$$

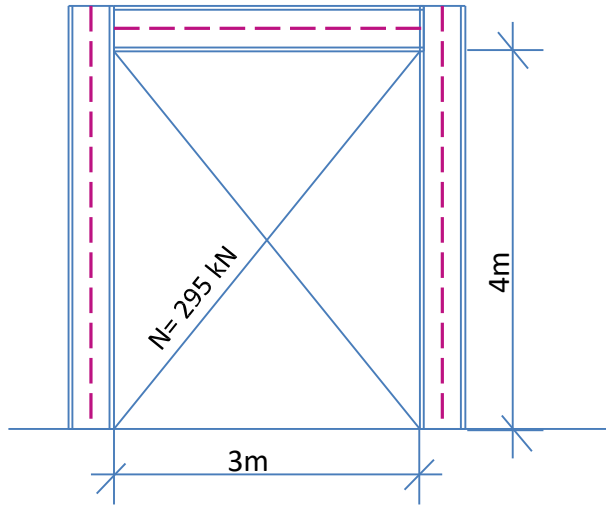
$$300 = \frac{500}{r} \quad r = \frac{500}{300} \quad r = 1,67cm$$

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:



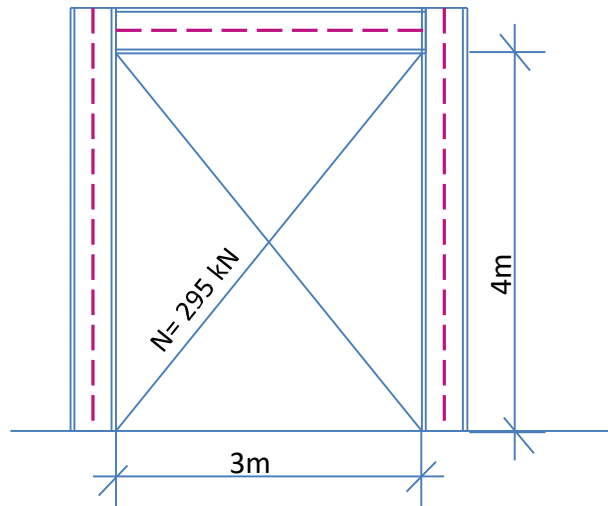
$$N_t, R_d = \frac{A_g \cdot F_y}{\gamma_1}$$

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

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

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

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



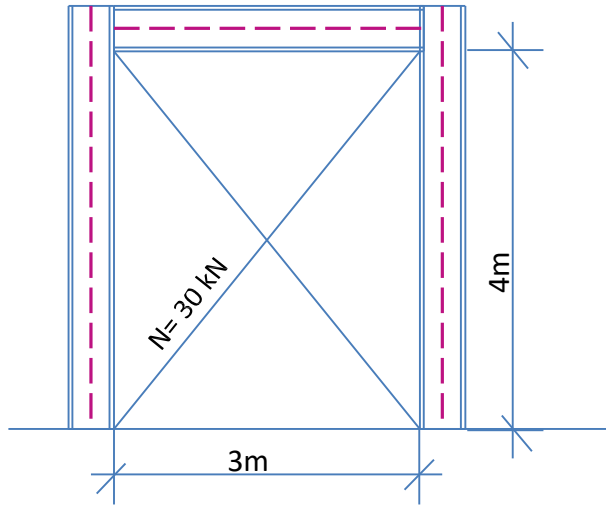
Buscar na tabela de cantoneiras um perfil que
Atenda às duas restrições:

$$R > 1,67\text{cm}$$

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

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	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	0,38	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

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Agora considere o mesmo caso com uma carga menor.

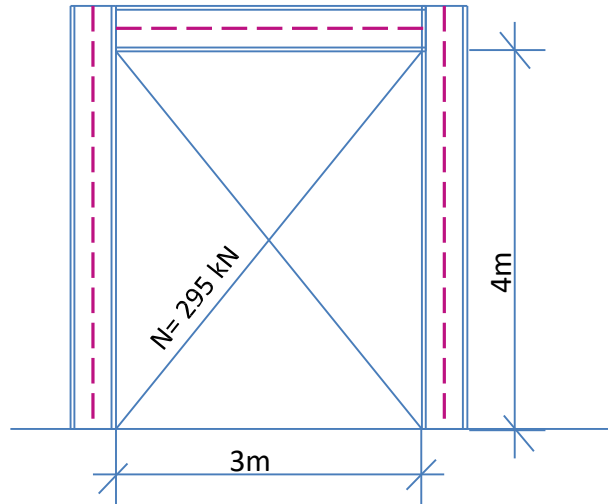
Já sabemos que o raio de giração mínimo é
 $r = 1,67 \text{ cm}$

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

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

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

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Mais leve

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

$$R > 1,67\text{cm}$$

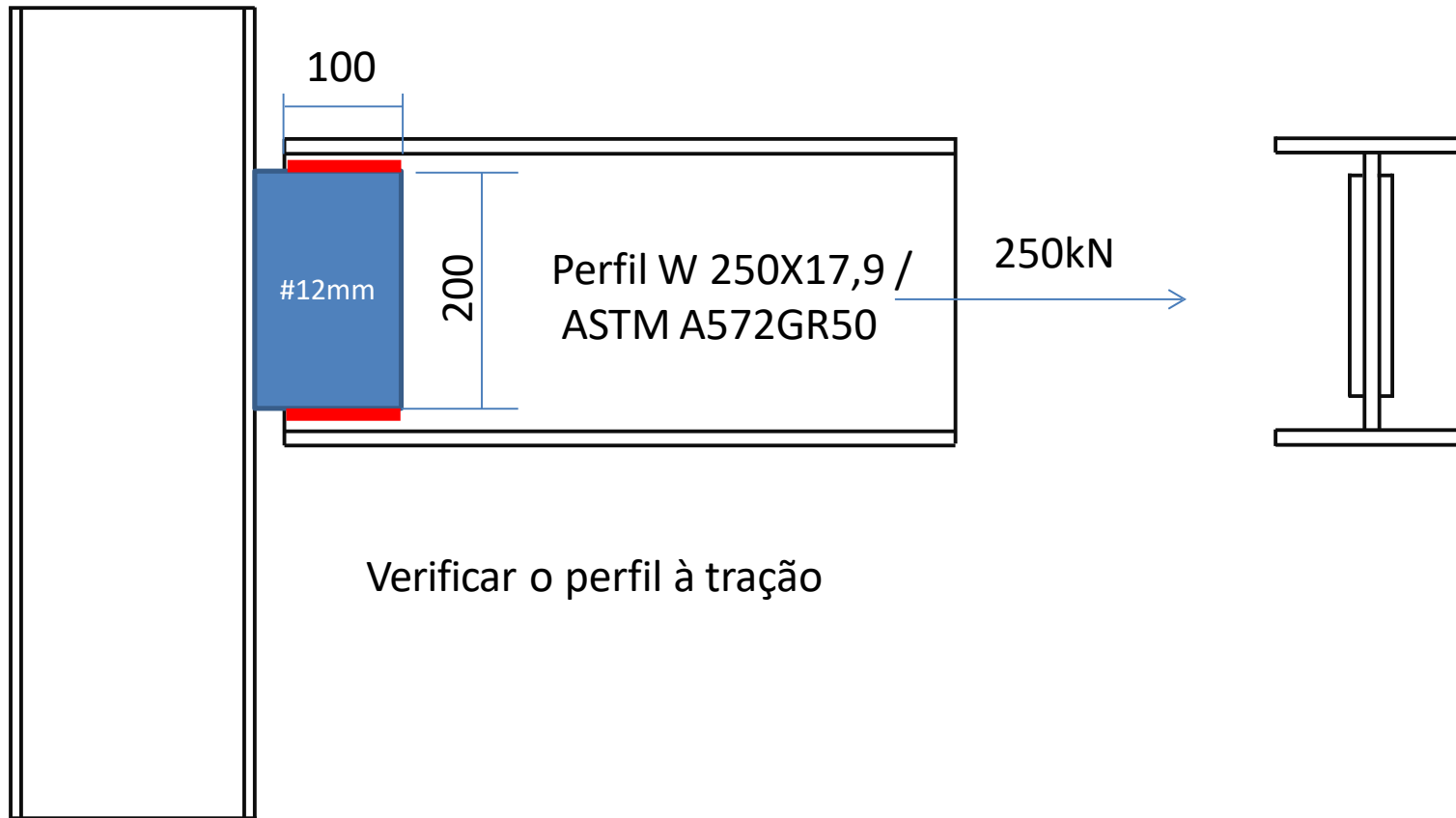
$$A_g > 1,32\text{cm}$$

Critérios para seleção

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

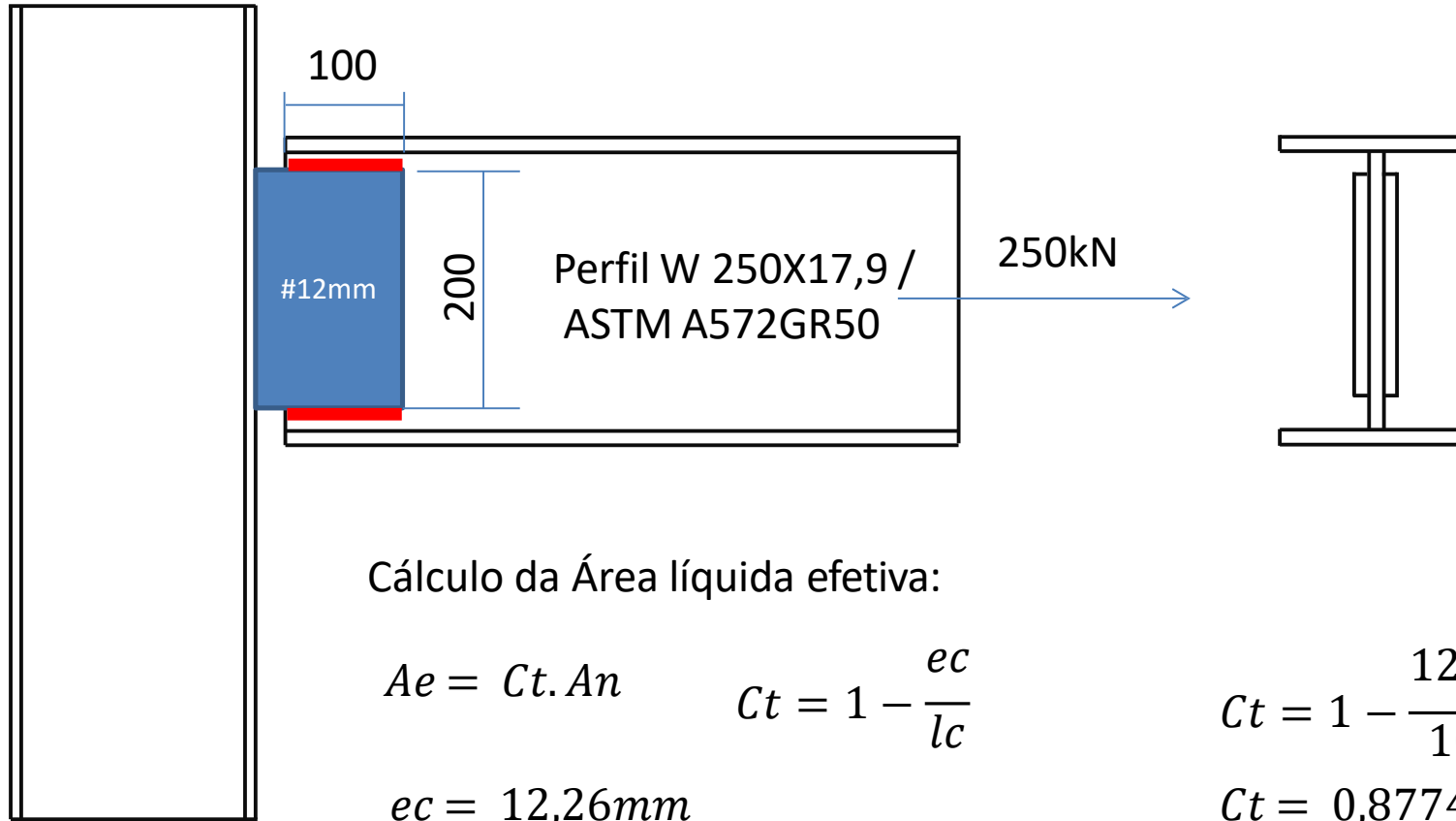
bf	Peso Nominal	tf	Área	Jx=Jy	Wx=Wy	rx=ry	rz min.	x
pol	mm	Kg/m	pol	cm	cm ²	cm ⁴	cm	cm
5/8"	15,880	0,57		0,250				
3/4"	19,050	0,71		0,250				
1/2"	12,700	0,55	1/8"	0,317	0,70	0,10	0,11	0,37
5/8"	15,880	0,71	1/8"	0,317	0,90	0,20	0,19	0,47
3/4"	19,050	0,87	1/8"	0,317	1,11	0,36	0,27	0,57
7/8"	22,200	1,04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

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



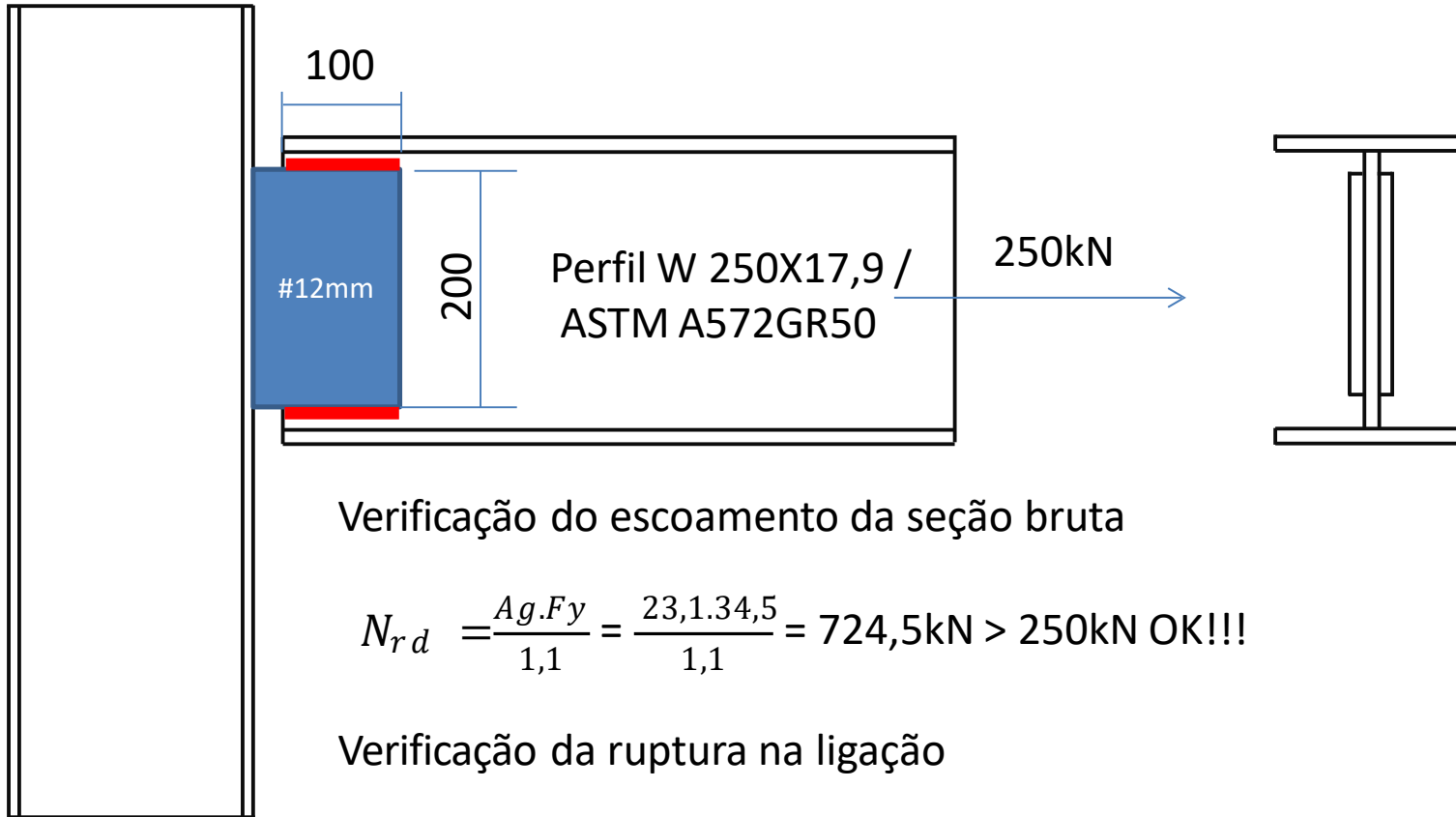
Verificar o perfil à tração

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Se CT for maior que 0,9, adotar 0,9
Se CT for menor que 0,6, rejeitar ligação

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



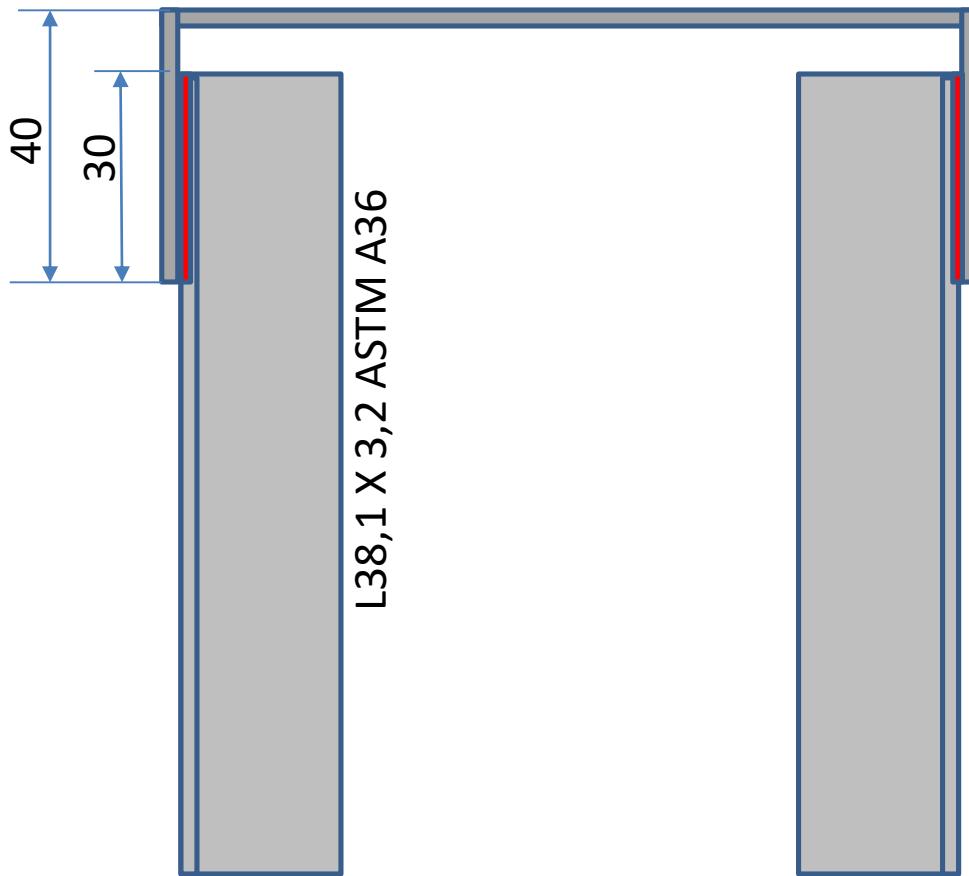
Verificação do escoamento da seção bruta

$$N_{rd} = \frac{A_g \cdot F_y}{1,1} = \frac{23,1 \cdot 34,5}{1,1} = 724,5 \text{ kN} > 250 \text{ kN OK!!!}$$

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:



Determine a máxima resistência à tração da diagonal de cantoneira ao lado

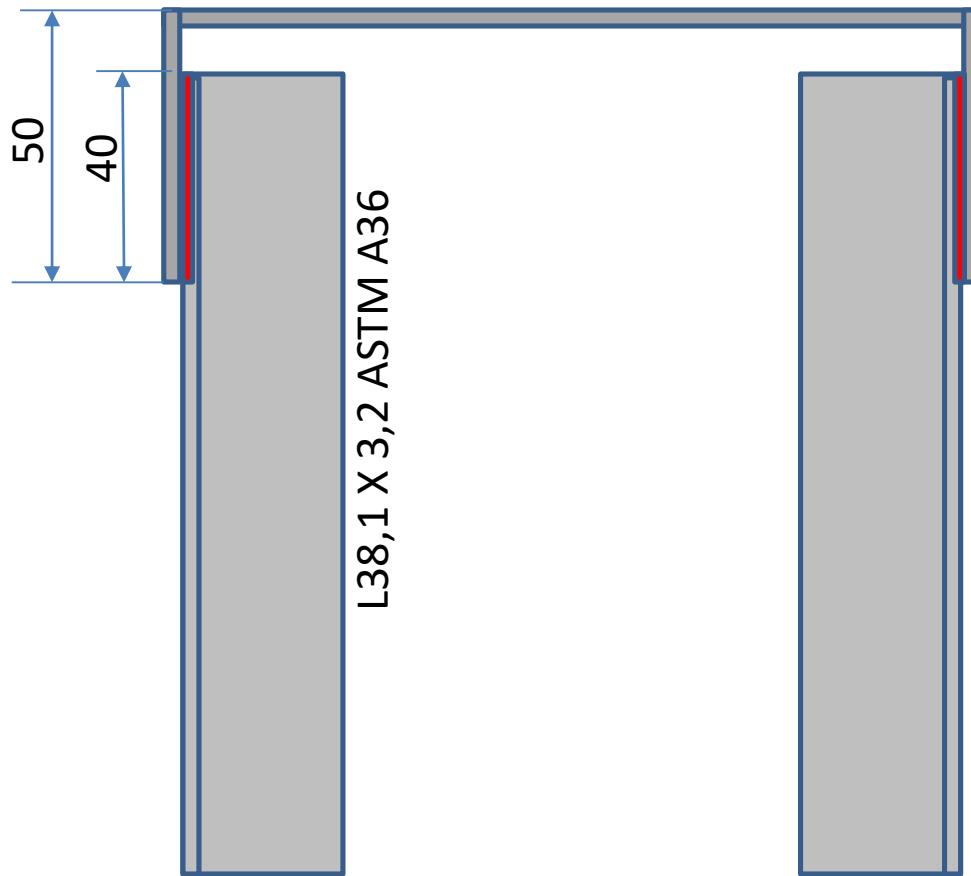
$$C_t = 1 - \frac{e_c}{L_c} = 1 - \frac{1,07}{3} = 0,64$$

$$A_e = C_t \cdot A_n = 0,64 \cdot 2,32 = 1,48 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e \cdot F_u}{1,35} = \frac{1,48 \cdot 40}{1,35} = 44 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot F_y}{1,10} = \frac{2,32 \cdot 25}{1,10} = 52,72 \text{ kN}$$

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Determine a máxima resistência à tração da diagonal de cantoneira ao lado

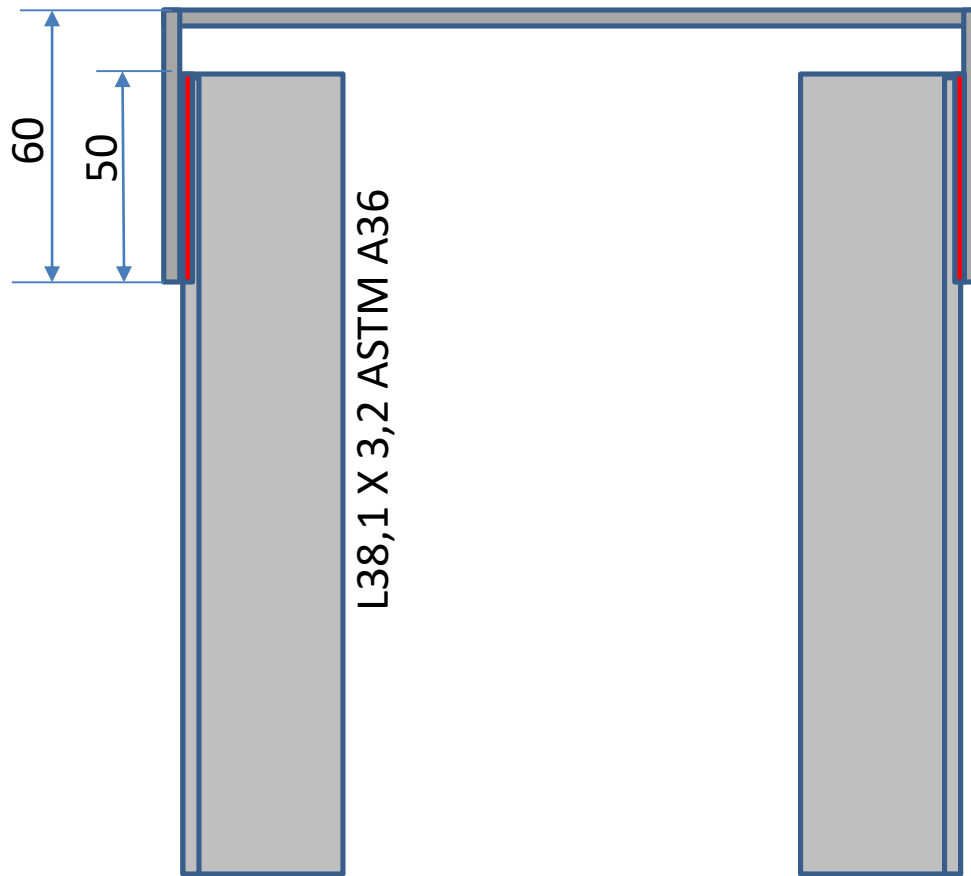
$$C_t = 1 - \frac{e_c}{L_c} = 1 - \frac{1,07}{4} = 0,73$$

$$A_e = C_t \cdot A_n = 0,73 \cdot 2,32 = 1,69 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e \cdot F_u}{1,35} = \frac{1,69 \cdot 40}{1,35} = 50,18 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot F_y}{1,10} = \frac{2,32 \cdot 25}{1,10} = 52,72 \text{ kN}$$

DIMENSIONAMENTO À TRAÇÃO:



Determine a máxima resistência à tração da diagonal de cantoneira ao lado

$$C_t = 1 - \frac{e_c}{L_c} = 1 - \frac{1,07}{5} = 0,786$$

$$A_e = C_t \cdot A_n = 0,786 \cdot 2,32 = 1,823 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e \cdot F_u}{1,35} = \frac{1,823 \cdot 40}{1,35} = 54,01 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot F_y}{1,10} = \frac{2,32 \cdot 25}{1,10} = 52,72 \text{ kN}$$

Comprimento de Solda econômico para cantoneiras simples soldadas em apenas uma aba

$$\frac{A_g \cdot F_y}{1,10} = \frac{A_e \cdot F_u}{1,35} \quad \frac{A_g \cdot F_y}{1,10} = \frac{C_t \cdot A_n \cdot F_u}{1,35} \quad \frac{A_{\bar{g}} \cdot F_y}{1,10} = \frac{\left(1 - \frac{e_c}{L_c}\right) \cdot A_{\bar{g}} \cdot F_u}{1,35}$$

$$L_c = \frac{e_c}{1 - \frac{1,227 F_y}{F_u}} \quad L_c = 4,23 e_c \quad (ASTM A36)$$

$$L_c = \frac{1,07}{1 - \frac{1,227 \cdot 25}{40}} = 4,55 cm$$

Comprimento de Solda econômico para cantoneiras simples soldadas em apenas uma aba

b		Peso Nominal	t		Área	lx=ly	Wx=Wy	rx=ry	rz mín.	x	Lc Ideal
pol	mm	kg/m	pol	mm	cm2	cm4	cm3	cm	cm	cm	cm
1/2"	12,7	0,55	1/8"	3,18	0,7	0,1	0,11	0,37	0,25	0,43	1,82
5/8"	15,88	0,71	1/8"	3,18	0,9	0,2	0,19	0,47	0,32	0,51	2,16
3/4"	19,05	0,87	1/8"	3,18	1,11	0,36	0,27	0,57	0,38	0,59	2,50
7/8"	22,2	1,04	1/8"	3,18	1,32	0,58	0,38	0,66	0,46	0,66	2,79
1" x 1" x 1/8"	25,4	1,19	1/8"	3,18	1,48	0,83	0,49	0,79	0,48	0,76	3,21
1" x 1" x 3/16"	25,4	1,73	3/16"	4,76	2,19	1,25	0,66	0,76	0,48	0,81	3,43
1" x 1" x 1/4"	25,4	2,22	1/4"	6,35	2,84	1,66	0,98	0,76	0,48	0,86	3,64
1.1/4"x1.1/4"x1/8"	31,75	1,5	1/8"	3,18	1,93	1,67	0,82	0,97	0,64	0,89	3,76
1.1/4"x1.1/4"x3/16"	31,75	2,2	3/16"	4,76	2,77	2,5	1,15	0,97	0,61	0,97	4,10
1.1/4"x1.1/4"x1/4"	31,75	2,86	1/4"	6,35	3,62	3,33	1,47	0,94	0,61	1,02	4,31
1.1/2"x1.1/2"x1/8"	38,1	1,83	1/8"	3,18	2,32	3,33	1,15	1,17	0,76	1,07	4,53
1.1/2"x1.1/2"x3/16"	38,1	2,68	3/16"	4,76	3,42	4,58	1,64	1,17	0,74	1,12	4,74
1.1/2"x1.1/2"x1/4"	38,1	3,48	1/4"	6,35	4,45	5,83	2,13	1,15	0,74	1,19	5,03
1.3/4"x1.3/4"x1/8"	44,45	2,14	1/8"	3,18	2,71	5,41	1,64	1,4	0,89	1,22	5,16
1.3/4"x1.3/4"x3/16"	44,45	3,15	3/16"	4,76	4	7,5	2,3	1,37	0,89	1,3	5,50
1.3/4"x1.3/4"x1/4"	44,45	4,12	1/4"	6,35	5,22	9,57	3,13	1,35	0,86	1,35	5,71
2" x 2" x 1/8"	50,8	2,46	1/8"	3,18	3,1	7,91	2,13	1,6	1,02	1,4	5,92
2" x 2" x 3/16"	50,8	3,63	3/16"	4,76	4,58	11,7	3,13	1,58	1,02	1,45	6,13
2" x 2" x 1/4"	50,8	4,74	1/4"	6,35	6,06	14,6	4,1	1,55	0,99	1,5	6,35
2" x 2" x 5/16"	50,8	5,83	5/16"	7,94	7,42	17,5	4,91	1,53	0,99	1,55	6,56
2" x 2" x 3/8"	50,8	6,99	3/8"	9,52	8,76	20	5,73	1,5	0,99	1,63	6,89
2.1/2"x2.1/2"x3/16"	63,5	4,57	3/16"	4,76	5,8	23	4,91	1,98	1,24	1,75	7,40
2.1/2"x2.1/2"x1/4"	63,5	6,1	1/4"	6,35	7,67	29	6,4	1,96	1,24	1,83	7,74
2.1/2"x2.1/2"x5/16"	63,5	7,44	5/16"	7,94	9,48	35	7,87	1,93	1,24	1,88	7,95
2.1/2"x2.1/2"x3/8"	63,5	8,78	3/8"	9,52	11,16	41	9,35	1,91	1,22	1,93	8,16
3" x 3" x 3/16"	76,2	5,52	3/16"	4,76	7,03	40	7,21	2,39	1,5	2,08	8,80
3" x 3" x 1/4"	76,2	7,29	1/4"	6,35	9,29	50	9,5	2,36	1,5	2,13	9,01
3" x 3" x 5/16"	76,2	9,07	5/16"	7,94	11,48	62	11,6	2,34	1,5	2,21	9,35
3" x 3" x 3/8"	76,2	10,71	3/8"	9,52	13,61	75	13,6	2,31	1,47	2,26	9,56
3" x 3" x 1/2"	76,2	14	1/2"	12,7	17,74	91	18	2,29	1,47	2,36	9,98
3.1/2"x3.1/2"x1/4"	88,9	8,56	1/4"	6,35	10,9	83,7	13	2,77	1,76	2,46	10,41
3.1/2"x3.1/2"x5/16"	88,9	10,59	5/16"	7,94	13,5	102	16	2,75	1,75	2,52	10,66
3.1/2"x3.1/2"x3/8"	88,9	12,58	3/8"	9,52	16	121	19,2	2,75	1,75	2,58	10,91
4" x 9,81	101,6	9,81	1/4"	6,35	12,51	125	16,4	3,17	2	2,77	11,72
4" x 12,19	101,6	12,19	5/16"	7,94	15,48	154	21,3	3,15	2	2,84	12,01
4" x 14,57	101,6	14,57	3/8"	9,52	18,45	183	24,6	3,12	2	2,9	12,27
4" x 16,8	101,6	16,8	7/16"	11,11	21,35	208	29,5	3,12	1,98	2,95	12,48
4" x 19,03	101,6	19,03	1/2"	12,7	24,19	233	32,8	3,1	1,98	3	12,69
5" x 12,34	127	12,34	1/4"	6,35	15,73	251,63	27,09	4	2,53	3,41	14,42
5" x 15,31	127	15,31	5/16"	7,94	19,5	308	33,4	3,97	2,53	3,47	14,68
5" x 18,3	127	18,3	3/8"	9,52	23,29	362	39,5	3,94	2,51	3,53	14,93
5" x 23,52	127	23,52	7/16"	11,11	26,96	416,68	45,71	3,93	2,5	3,58	15,14
5" x 24,1	127	24,1	1/2"	12,7	30,64	470	52,5	3,91	2,49	3,63	15,35
5" x 29,8	127	29,8	5/8"	15,88	37,8	566	64	3,86	2,46	3,76	15,90
6" x 22,2	152,4	22,2	3/8"	9,52	28,1	641	57,4	4,78	3,02	4,17	17,64
6" x 29,2	152,4	29,2	1/2"	12,7	37,09	828	75,4	4,72	3	4,27	18,06
6" x 36	152,4	36	5/8"	15,88	45,86	1007	93,5	4,67	2,97	4,39	18,57
6" x 42,7	152,4	42,7	3/4"	19,05	54,44	1173	109,9	4,65	2,97	4,52	19,12
8" x 48,7	203,2	48,7	5/8"	15,88	62,9	2472,4	168,9	6,31	4,01	5,66	23,94
8" x 57,9	203,2	57,9	3/4"	19,05	73,81	2901,1	199,9	6,27	3,99	5,79	24,49