

Ligações Parafusadas

Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas – Turma Noite 1º Sem 2017

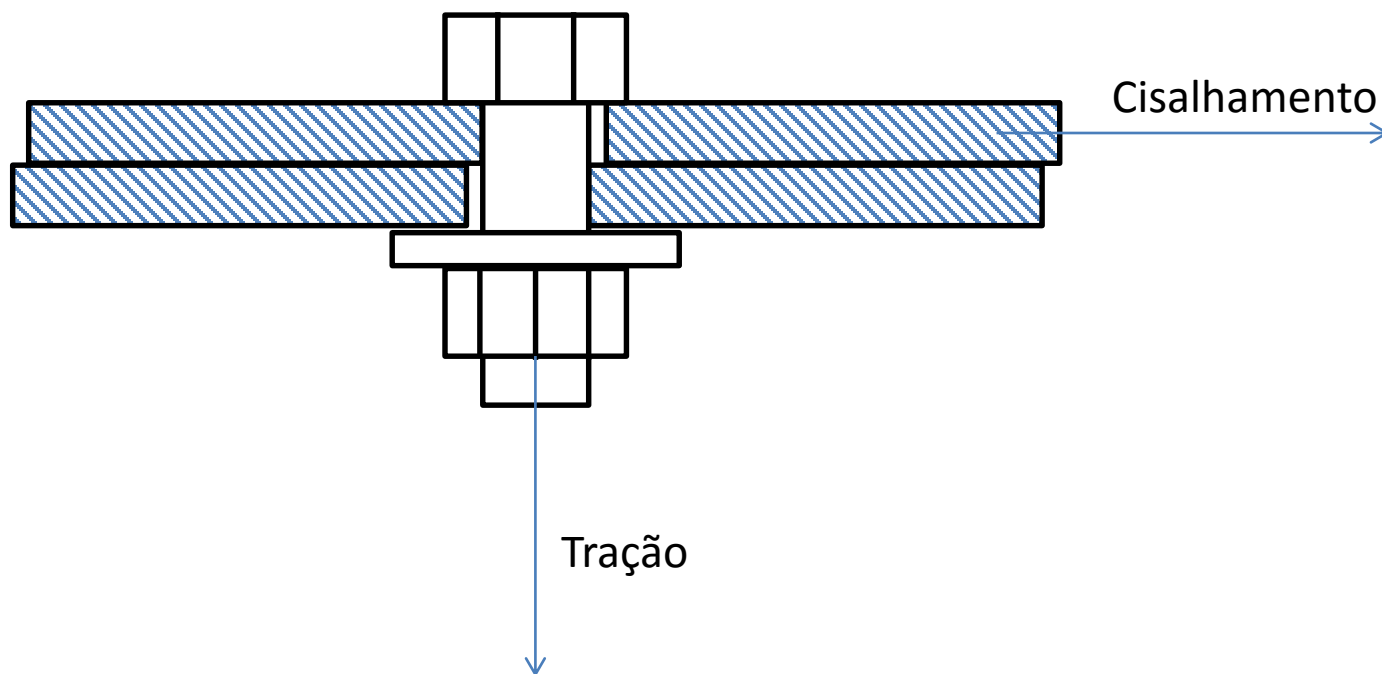
Ligações Metálicas



Curso de Projeto e Cálculo de Estruturas metálicas - Turma Noite 1º Sem 2017

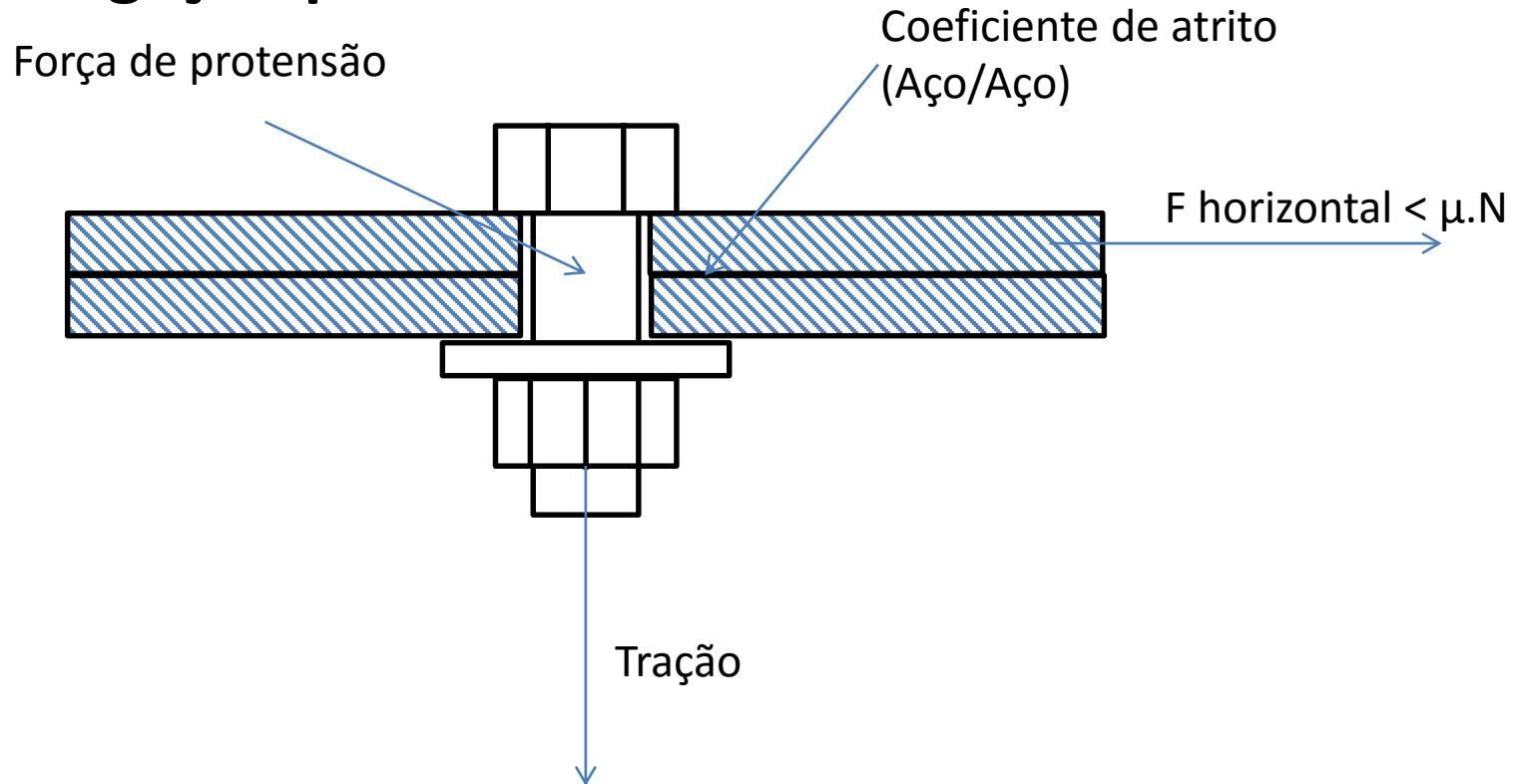
Tipos de ligação parafusada

Ligação por CONTATO



Tipos de ligação parafusada

Ligação por Atrito



Parafusos

Parafusos de Baixo
Carbono (Parafusos
Comuns)

ASTM A307
ISSO-898-1 Classe 4.6

- Sem especificação de torque
- Ligação de contato (sempre)

Parafusos de Alta
resistência

ASTM A325
ASTM A490
ISSO-4016

- Podem ser especificados com força de protensão
 - Aceitam dimensionamento por atrito

Parafusos

Tabela 7 – Limite de escoamento e resistência à tração.

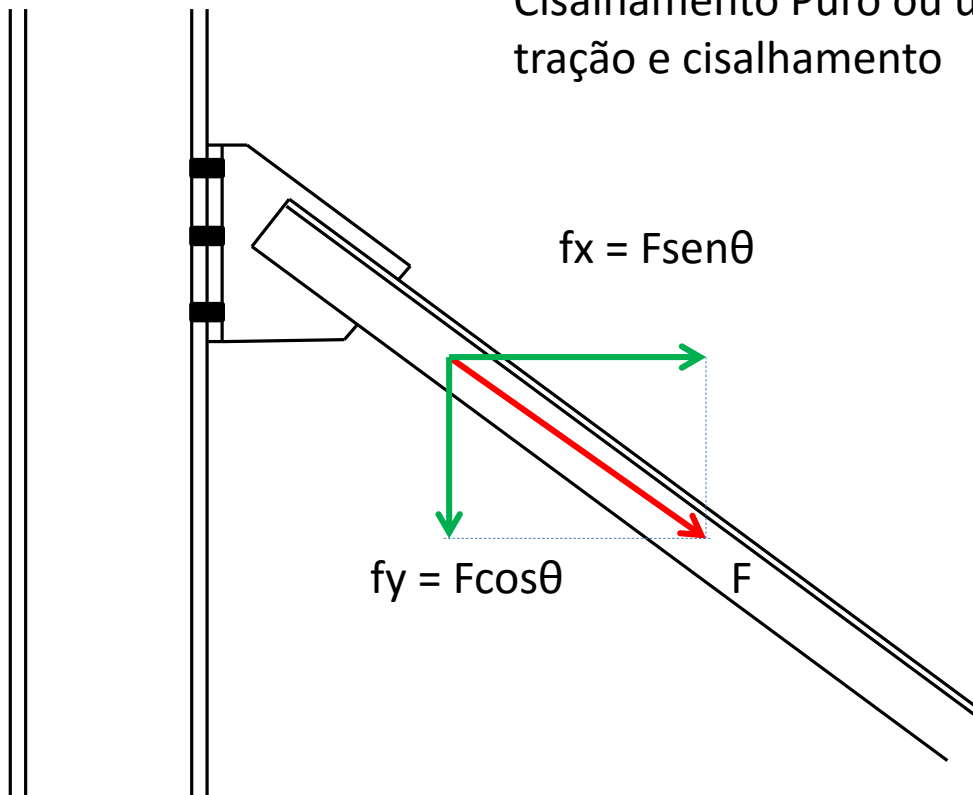
Especificação	f_{yb} (MPa)	f_{ub} (MPa)	Diâmetro (mm)	Diâmetro (pol)
ASTM A325 ^a	635	825	$16 \leq d_b \leq 24$	$\frac{1}{2} \leq d_b \leq 1$
	560	725	$24 < d_b \leq 36$	$1 < d_b \leq 1 \frac{1}{2}$
ASTM A490 ^b	895	1.035	$16 \leq d_b \leq 36$	$\frac{1}{2} \leq d_b \leq 1 \frac{1}{2}$
ASTM A307	-	415	-	$\frac{1}{2} \leq d_b \leq 4$
ISO 898-1 Classe 4.6	235	400	$12 \leq d_b \leq 36$	-
ISO 4016 Classe 8.8	640	800	$12 \leq d_b \leq 36$	-
ISO 4016 Classe 10.9	900	1.000	$12 \leq d_b \leq 36$	-

^a Disponíveis também com resistência à corrosão atmosférica comparável à dos aços AR 350 COR ou à dos aços ASTM A588.

^b Parafusos ASTM A490 não devem ser galvanizados.

Dimensionamento de ligações do tipo CONTATO

Apresentam esforços de Tração Pura, Cisalhamento Puro ou uma combinação de tração e cisalhamento



Resistência à tração

$$F_{rd} = \frac{0,75 \cdot A_b \cdot F_{ub}}{1,35}$$

Para barras roscadas deve atender também

$$F_{rd} = \frac{A_b \cdot F_{yb}}{1,10}$$

Dimensionamento de ligações do tipo CONTATO

Resistência à tração

$$F_{rd} = \frac{0,75 \cdot A_b \cdot F_{ub}}{1,35}$$

Para barras rosçadas
deve atender também

$$F_{rd} = \frac{A_b \cdot F_{yb}}{1,10}$$

Resistência ao cisalhamento

$$F_{rd} = \frac{\theta \cdot A_b \cdot F_{ub}}{1,35}$$

sendo:

$\theta = 0,4$ se o cisalhamento é na rosca

$\theta = 0,5$ se o cisalhamento não é na rosca

Dimensionamento de ligações do tipo CONTATO

Tabela 9 – Resistência de cálculo dos parafusos em ligações por contato para $\gamma_{a2}=1,25$ (kN)

ESPECIFICAÇÃO ASTM		DIÂMETRO NOMINAL										
		1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/8"	1 1/4"	1 3/8"	1 1/2"	1 3/4"	2"
		ÁREA BRUTA mm ²										
		126	198	285	388	506	641	792	958	1140	1552	2027
A307	TRAÇÃO	29,1	45,7	65,7	89,5	116,7	147,8	182,6	220,9	262,8	357,8	467,3
	FORÇA CORTANTE	15,5	24,3	35,0	47,7	62,2	78,8	97,4	117,8	140,2	190,8	249,2
A325	TRAÇÃO	57,8	90,8	130,6	177,8	231,9	258,2	319,0	385,9	459,2	625,1	816,4
	FORÇA CORT. (ROSCA FORA PL. DE CORTE)	38,5	60,5	87,1	118,6	154,6	172,1	212,7	257,2	306,1	416,7	544,3
	FORÇA CORT. (ROSCA NO PL.DE CORTE)	30,8	48,4	69,7	94,8	123,7	137,7	170,1	205,8	244,9	333,4	435,4
A490	TRAÇÃO	72,5	113,9	163,9	223,1	291,0	368,6	455,4	550,9	655,5	892,4	1165,5
	FORÇA CORT. (ROSCA FORA PL.DE CORTE)	48,3	75,9	109,3	148,7	194,0	245,7	303,6	367,2	437,0	594,9	777,0
	FORÇA CORT. (ROSCA NO PL.DE CORTE)	38,6	60,7	87,4	119,0	155,2	196,6	242,9	293,8	349,6	475,9	621,6
ESPECIFICAÇÃO ISO 898 CLASSE 4.6		DIÂMETRO NOMINAL										
		M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M33	M36	M42	M48
		ÁREA BRUTA (BASEADA NO DIÂMETRO NOMINAL) mm ²										
		113	201	314	380	452	573	707	855	1018	1385	1810
TRAÇÃO		25,1	44,7	69,8	84,4	100,4	127,3	157,1	190,0	226,2	307,8	402,2
FORÇA CORTANTE		13,4	23,8	37,2	45,0	53,6	67,9	83,8	101,3	120,7	164,1	214,5

Dimensionamento de ligações do tipo CONTATO

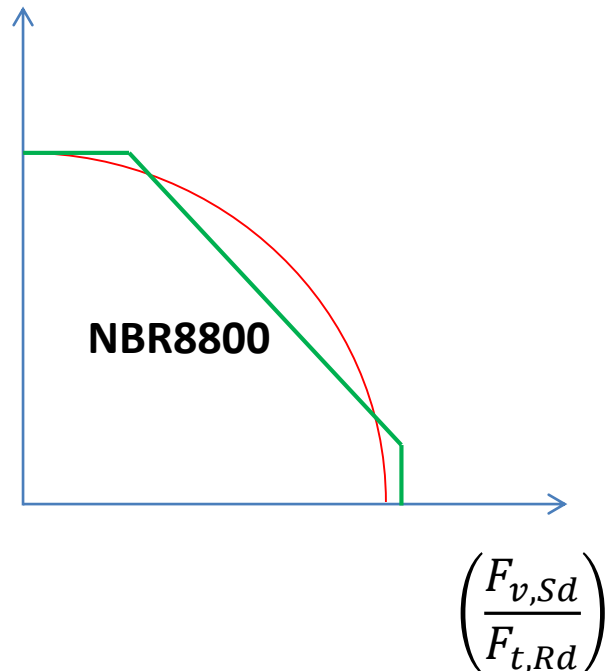
Tração e cisalhamento combinados

$$\left(\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1,0$$

$$\left(\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}}\right)$$

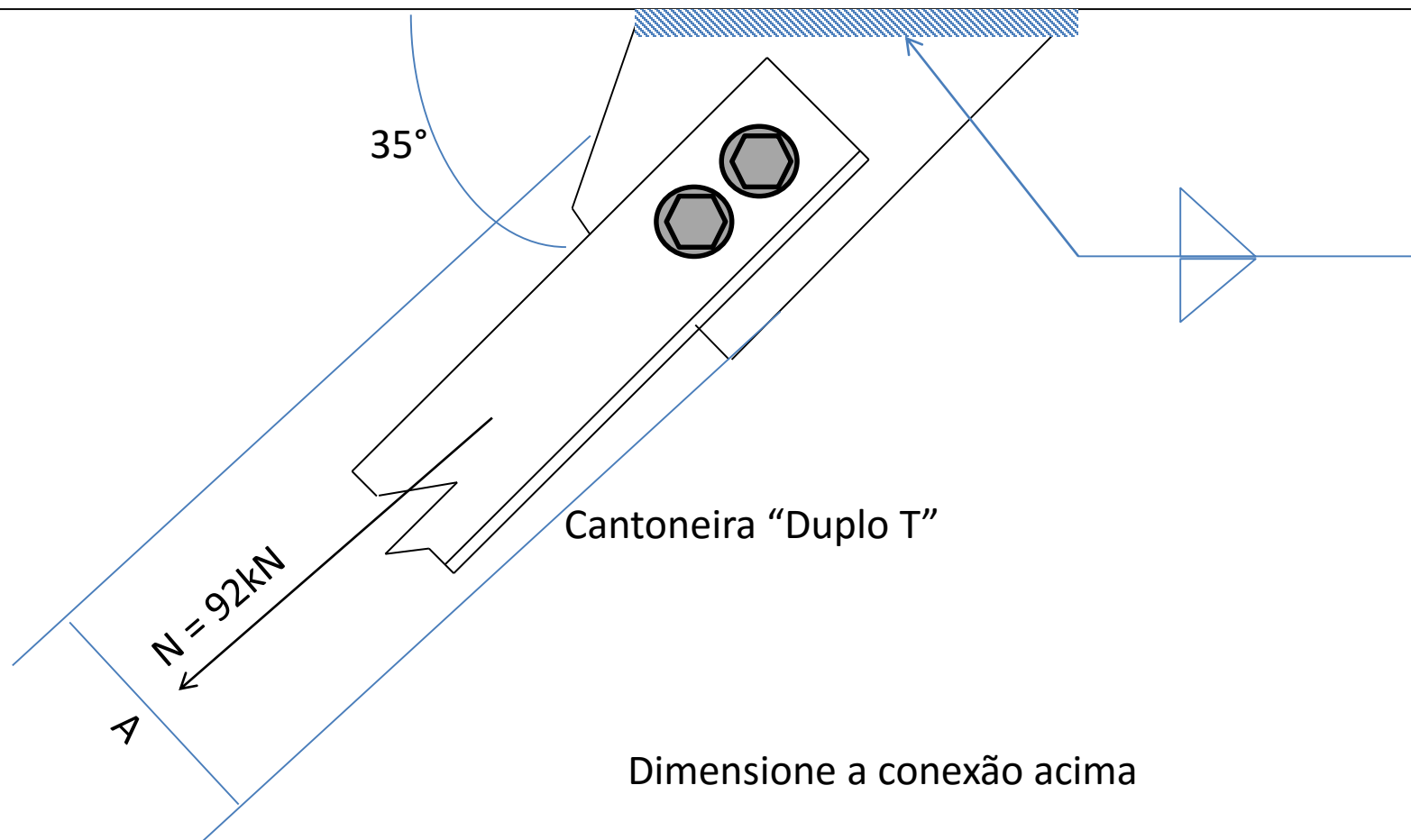
Tabela 10 - Tração e cortante combinadas

Tipo de parafuso	Limitação da resistência à tração
Parafusos baixo carbono e barras rosqueadas em geral	$F_{t,Sd} \leq \frac{f_{ub}A_b}{\gamma_{a2}} - 1,90F_{v,Sd}$
Parafusos de alta resistência ASTM A325/A490	$F_{t,Sd} \leq \frac{f_{ub}A_b}{\gamma_{a2}} - 1,90F_{v,Sd}$ (nota 1) $F_{t,Sd} \leq \frac{f_{ub}A_b}{\gamma_{a2}} - 1,50F_{v,Sd}$ (nota 2)
Nota 1: plano de corte passa pela rosca.	
Nota 2: plano de corte não passa pela rosca.	



Exercício 01

Mesa inferior W150X18,00 ASTM A572GR50



Exercício 01

Passo 1 – Determinar diâmetro dos parafusos

Esforço de cisalhamento puro

Cada parafuso recebe 46kN de esforço de cisalhamento

Podemos selecionar parafusos ASTM A325 com diâmetro 7/8" 1" (25,4mm), com rosca total. O parafuso de 1" é mais comum no mercado, portanto selecionaremos esse.

Portanto o furo ficará: $1" + 1/16" = 26,98\text{mm} \sim 27\text{mm}$

Tabela 9 – Resistência de cálculo dos parafusos em ligações por contato para $\gamma_{a2}=1,25$ (kN)

ESPECIFICAÇÃO ASTM		DIÂMETRO NOMINAL										
		1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/8"	1 1/4"	1 3/8"	1 1/2"	1 3/4"	2"
		ÁREA BRUTA mm ²										
A307	TRAÇÃO	126	198	285	388	508	641	792	958	1140	1552	2027
	FORÇA CORTANTE	29,1	45,7	65,7	89,5	116,7	147,8	182,6	220,9	262,8	357,8	467,3
A325	TRAÇÃO	15,5	24,3	35,0	47,7	62,2	78,8	97,4	117,8	140,2	190,8	249,2
	FORÇA CORT. (ROSCA FORA PL. DE CORTE)	57,8	90,8	130,6	177,8	231,9	258,2	319,0	385,9	459,2	625,1	816,4
	FORÇA CORT. (ROSCA NO PL. DE CORTE)	38,5	60,5	87,1	118,6	154,6	172,1	212,7	257,2	306,1	416,7	544,3
A490	TRAÇÃO	30,8	48,4	69,7	94,8	123,7	137,7	170,1	205,8	244,9	333,4	435,4
	FORÇA CORT. (ROSCA FORA PL. DE CORTE)	72,5	113,9	163,9	223,1	291,0	368,6	455,4	550,9	655,5	892,4	1165,5
	FORÇA CORT. (ROSCA NO PL. DE CORTE)	48,3	75,9	109,3	148,7	194,0	245,7	303,6	367,2	437,0	594,9	777,0
ESPECIFICAÇÃO ISO 898 CLASSE 4.6		DIÂMETRO NOMINAL										
		M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M33	M36	M42	M48
		ÁREA BRUTA (BASEADA NO DIÂMETRO NOMINAL) mm ²										
TRAÇÃO		113	201	314	380	452	573	707	855	1018	1385	1810
FORÇA CORTANTE		25,1	44,7	69,8	84,4	100,4	127,3	157,1	190,0	226,2	307,8	402,2
		13,4	23,8	37,2	45,0	53,6	67,9	83,8	101,3	120,7	164,1	214,5

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

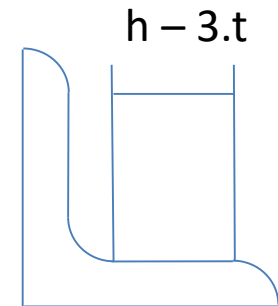
	Diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada d_b	Diâmetro do furo-padrão	Diâmetro do furo alargado	Dimensões do furo pouco alongado	Dimensões do furo muito alongado
Dimensões em milímetros	≤ 24	$d_b + 1,5$	$d_b + 5$	$(d_b + 1,5) \times (d_b + 6)$	$(d_b + 1,5) \times 2,5 d_b$
	27	28,5	33	$28,5 \times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

Exercício 01

Dimensão máxima da cantoneira

A cantoneira deve ter aba interna para abrigar a arruela, sem interferir no raio de curvatura, de preferência que permita acesso a uma chave de boca ou catraca.

Espessura estimada em $\frac{1}{4}$ " (6,35mm)



$$h - 3t = 51,59$$

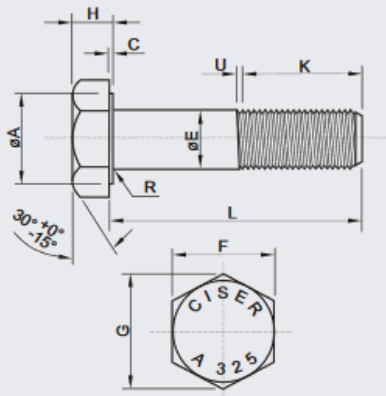
$$h = 51,59 + 3.6,35$$

$$h = 70,64mm$$

Será adotada cantoneira de 3"

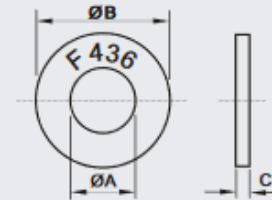
DIMENSÕES

Parafuso A 325



BITOLA		1/2 "	5/8"	3/4"	7/8"	1"
F.P.P.		13	11	10	9	8
F	Mín.	21.59	26.19	30.78	35.40	40.00
	Máx.	22.22	26.98	31.75	36.52	41.27
G	Mín.	24.61	29.84	35.10	40.36	45.61
	Máx.	25.65	31.16	36.65	42.16	47.65
H	Mín.	7.67	9.60	11.56	13.48	15.01
	Máx.	8.20	10.24	12.27	14.30	15.92
Ø A	Mín.	20.00	24.27	28.57	32.86	37.14
	Máx.	20.65	25.10	29.50	33.96	38.38
C	Mín.	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
	Máx.	0.63	0.63	0.63	0.89	0.89
R	Mín.	0.23	0.53	0.53	0.78	1.57
	Máx.	0.79	1.57	1.57	1.57	2.36
Ø E	Mín.	12.24	15.36	18.52	21.64	24.79
	Máx.	13.08	16.30	19.50	22.73	25.95
K (min.)		25.40	31.70	35.00	38.10	44.45
U (min.)		4.83	5.60	6.35	7.11	7.87

Arruela



BITOLA		1/2 "	5/8"	3/4"	7/8"	1"
Ø A	Mín.	13.49	17.46	20.64	23.81	28.58
	Máx.	14.29	18.26	21.43	24.61	29.37
Ø B	Mín.	26.19	32.54	36.51	43.66	50.01
	Máx.	27.78	34.13	38.10	45.24	51.59
C	Mín.	2.46	3.10	3.10	3.45	3.45
	Máx.	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50

Exercício 01

Dimensionamento da cantoneira

Escoamento da seção bruta:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot F_y}{1,1} \quad 92kN = \frac{A_g \cdot 25}{1,1} \quad A_g = 4,048cm^2$$

Ruptura da seção líquida:

Por praticidade será usado Ct de 0,85.

$$N_{t,Rd} = \frac{ct \cdot A_n \cdot F_u}{1,35} \quad 92kN = \frac{0,85 \cdot A_n \cdot 40}{1,35} \quad A_n = 3,65 cm^2$$

Exercício 01

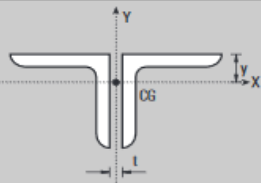


Tabela E.2 — Cantoneira dupla de abas iguais
Propriedades para dimensionamento

b_f	P	A	t_f	Eixo X-X				Rato de giração em relação ao eixo Y-Y - cm							
				I	W	r	y	t							
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm ⁴	cm ³	cm	cm	0	1/8"	3/16"	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"
1/2"	1,27	1,10	1,40	1/8"	0,20	0,22	0,37	0,43	0,57	0,70	0,77	0,84	0,91	0,98	1,13
5/8"	1,58	1,42	1,80	1/8"	0,40	0,38	0,47	0,51	0,69	0,82	0,88	0,95	1,02	1,09	1,24
3/4"	1,905	1,74	2,22	1/8"	0,72	0,54	0,57	0,59	0,82	0,94	1,00	1,07	1,14	1,21	1,35
7/8"	2,223	2,08	2,64	1/8"	1,16	0,76	0,66	0,66	0,94	1,05	1,12	1,18	1,25	1,32	1,45
		2,98	3,80	3/16"	1,58	1,08	0,66	0,74	0,98	1,11	1,17	1,24	1,31	1,38	1,52
1"	2,54	2,38	2,96	1/8"	1,79	1,02	0,79	0,75	1,07	1,20	1,26	1,32	1,39	1,45	1,59
		3,46	4,38	3/16"	2,50	1,44	0,76	0,81	1,11	1,23	1,29	1,36	1,42	1,49	1,63
		4,44	5,68	1/4"	3,32	1,96	0,76	0,86	1,15	1,27	1,34	1,40	1,47	1,54	1,68
1 1/4"	3,175	3,00	3,86	1/8"	3,66	1,62	0,97	0,89	1,33	1,45	1,51	1,57	1,63	1,69	1,83
		4,40	5,54	3/16"	5,12	2,33	0,97	0,7	1,37	1,48	1,54	1,61	1,67	1,74	1,87
		5,72	7,24	1/4"	6,37	2,97	0,94	1,02	1,39	1,51	1,57	1,63	1,70	1,77	1,90
1 1/2"	3,81	3,66	4,64	1/8"	6,49	2,36	1,17	1,07	1,59	1,71	1,76	1,82	1,88	1,95	2,08
		5,36	6,84	3/16"	9,16	3,41	1,17	1,12	1,62	1,73	1,79	1,85	1,92	1,98	2,11
		6,96	8,90	1/4"	11,53	4,39	1,15	1,19	1,64	1,76	1,82	1,88	1,94	2,01	2,14
1 3/4"	4,445	4,28	5,42	1/8"	10,45	3,24	1,40	1,22	1,85	1,96	2,02	2,08	2,14	2,20	2,33
		6,30	8,00	3/16"	14,90	4,72	1,37	1,30	1,87	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,35
		8,24	10,44	1/4"	18,90	6,10	1,35	1,35	1,90	2,01	2,07	2,13	2,20	2,27	2,39
		10,08	12,90	5/16"	22,60	7,50	1,32	1,41	1,93	2,05	2,11	2,18	2,24	2,30	2,44
2"	5,08	4,92	6,20	1/8"	15,82	4,26	1,60	1,40	2,12	2,23	2,29	2,35	2,40	2,46	2,59
		7,26	9,16	3/16"	23,40	6,26	1,58	1,45	2,16	2,27	2,32	2,38	2,44	2,50	2,63
		9,48	12,12	1/4"	29,20	8,20	1,55	1,50	2,16	2,27	2,33	2,39	2,45	2,51	2,64
		11,66	14,84	5/16"	35,00	9,82	1,53	1,55	2,18	2,30	2,36	2,42	2,48	2,54	2,67
		13,98	17,52	3/8"	40,00	11,46	1,50	1,62	2,22	2,34	2,39	2,46	2,52	2,58	2,71
pol	cm	kg/m	cm ²	pol	cm ⁴	cm ³	cm	cm	0	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"
2 1/2"	6,35	9,14	11,60	3/16"	46,00	9,82	1,98	1,75	2,65	2,87	2,93	2,98	3,10	3,23	3,36
		12,20	15,34	1/4"	58,00	12,80	1,96	1,93	2,67	2,90	2,96	3,02	3,14	3,27	3,39
		14,88	18,96	5/16"	70,00	15,74	1,93	1,88	2,69	2,92	2,98	3,04	3,16	3,29	3,42
		17,56	22,32	3/8"	82,00	18,70	1,91	1,93	2,72	2,95	3,01	3,08	3,20	3,33	3,46
3"	7,62	11,04	14,06	3/16"	80,00	14,42	2,39	2,08	3,16	3,38	3,44	3,50	3,61	3,73	3,85
		14,58	18,58	1/4"	100,00	19,00	2,36	2,13	3,15	3,37	3,43	3,49	3,61	3,73	3,86
		18,14	22,96	5/16"	124,00	23,20	2,34	2,21	3,21	3,43	3,49	3,55	3,67	3,80	3,92
		21,42	27,22	3/8"	150,00	27,20	2,31	2,26	3,26	3,49	3,55	3,61	3,73	3,85	3,98
		24,68	31,34	7/16"	166,00	31,20	2,31	2,31	3,26	3,49	3,55	3,61	3,74	3,86	3,99
		28,00	35,48	1/2"	182,00	36,00	2,29	2,36	3,27	3,51	3,57	3,63	3,75	3,86	4,01
4"	10,16	19,62	25,02	1/4"	250,00	32,80	3,17	2,77	4,20	4,42	4,47	4,53	4,65	4,76	4,88
		24,38	30,95	5/16"	308,00	42,80	3,15	2,84	4,24	4,40	4,45	4,58	4,69	4,81	4,93
		29,14	36,90	3/8"	366,00	49,20	3,12	2,90	4,28	4,50	4,56	4,62	4,73	4,85	4,98
		33,60	42,70	7/16"	416,00	59,00	3,12	2,95	4,29	4,52	4,58	4,63	4,75	4,87	5,00
		38,06	48,38	1/2"	466,00	65,60	3,10	3,00	4,32	4,54	4,60	4,66	4,78	4,90	5,03
		42,52	53,92	9/16"	508,00	72,20	3,07	3,07	4,34	4,57	4,63	4,69	4,81	4,93	5,06
		46,70	59,46	5/8"	558,00	78,80	3,05	3,12	4,37	4,60	4,66	4,72	4,85	4,97	5,10
5"	12,7	36,60	46,58	3/8"	724,00	79,00	3,94	3,53	5,29	5,51	5,56	5,62	5,74	5,85	5,97
		48,20	61,28	1/2"	940,00	105,00	3,91	3,63	5,34	5,56	5,62	5,67	5,79	5,91	6,03
		59,60	75,60	5/8"	1132,00	128,00	3,86	3,76	5,40	5,62	5,68	5,74	5,86	5,98	6,09
		70,20	89,52	3/4"	1306,00	147,60	3,81	3,86	5,43	5,66	5,72	5,78	5,90	6,02	6,14
6"	15,24	44,44	56,24	3/8"	1282,00	114,80	4,78	4,17	6,34	6,55	6,61	6,66	6,77	6,89	7,00
		58,40	74,18	1/2"	1636,00	150,80	4,72	4,27	6,37	6,59	6,64	6,70	6,81	6,93	7,04
		72,00	91,72	5/8"	2014,00	187,00	4,67	4,39	6,42	6,64	6,70	6,76	6,87	6,99	7,11
		85,40	108,88	3/4"	2346,00	219,80	4,65	4,52	6,48	6,70	6,76	6,82	6,94	7,06	7,18
		98,60	125,52	7/8"	2654,00	249,20	4,60	4,62	6,52	6,75	6,81	6,86	6,98	7,10	7,22

A menor das cantoneiras da série de 3'' tem $A_g = 14,06 \text{ cm}^2$

$$A_n = 14,06 - (2,7 + 0,2) \cdot 0,476$$

$$A_n = 12,67 \text{ cm}^2 > 3,65 \text{ cm}^2$$

Portanto selecionada dupla Cantoneira de 3'' X 3/16''

Veja que a seleção se deu por um fator construtivo, não por resistência.

Exercício 01

Dimensionamento da chapa de gusset

Escoamento da seção bruta:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot F_y}{1,1} \quad 92kN = \frac{A \cdot t \cdot 25}{1,1} \quad A \cdot t = 4,048cm^2$$

Como A deve ser maior que 76,2mm (largura da aba da cantoneira), adotaremos arbitrariamente 90mm

$$9 \cdot t = 4,048cm^2 \quad 9 \cdot t = 0,449cm = 4,49mm. \rightarrow 4,76mm \left(\frac{3}{16}''\right)$$

Ruptura da seção líquida:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_n \cdot F_u}{1,35} \quad 92kN = \frac{(9 \cdot t - (2,7 + 0,2) \cdot t) \cdot 40}{1,35}$$
$$t = \frac{1,35 \cdot 92}{40 \cdot 6,1} = 0,509cm \rightarrow 6,35mm \left(\frac{1}{4}''\right) \text{ CHAPA ADOTADA \#1/4}$$

Exercício 01

Dimensionamento do cordão de solda.

Devido à presença do perfil W150X18,00, adotaremos o eletrodo revestido E7018.

Caso não houvesse essa condição poderíamos adotar E60XX por questões econômicas

Solda de Filete – Resistência da Solda

$$N_{t,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_w \cdot F_w}{1,35} \quad 92 = \frac{0,6 \cdot A_w \cdot 48,5}{1,35} \quad A_w = 4,26 \text{ cm}^2$$

Solda de Filete – Resistência do Metal Base

$$N_{t,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_{MB} \cdot F_y}{1,1} \quad A_{MB} = \frac{92 \cdot 1,1}{0,6 \cdot 25} = 6,74 \text{ cm}^2$$

Exercício 01

Tabela 10 — Tamanho mínimo da perna de uma solda de filete

Menor espessura do metal-base na junta mm	Tamanho mínimo da perna da solda de filete, d_w ^a mm
Abaixo de 6,35 e até 6,35	3
Acima de 6,35 até 12,5	5
Acima de 12,5 até 19	6
Acima de 19	8

^a Executadas somente com um passe.

6.2.6.2.2 O tamanho máximo da perna de uma solda de filete que pode ser usado ao longo de bordas de partes soldadas é o seguinte:

- a) ao longo de bordas de material com espessura inferior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material;
- b) ao longo de bordas de material com espessura igual ou superior a 6,35 mm, não mais do que a espessura do material subtraída de 1,5 mm, a não ser que nos desenhos essa solda seja indicada como reforçada durante a execução, de modo a obter a espessura total desejada da garganta.

$$4,26cm^2 = 0,707 \cdot dw \cdot L$$

$$4,26cm^2 = 0,707 \cdot 0,5 \cdot L$$

$$L = 12cm$$

(2 passes de 6cm, um de cada lado)

$$6,74cm^2 = dw \cdot L$$

$$6,74cm^2 = 0,5 \cdot L$$

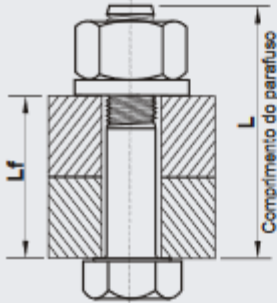
$$L = 13,5cm$$

(2 passes de 6,75cm, um de cada lado)

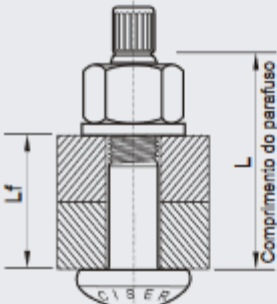
Como a medida A já tem 90mm, então não vale a pena aumentar a perna do cordão
Adotaremos a largura de 100mm e podemos pedir a solda completa ou apenas
6,75cm de cada lado, a critério do calculista

Exercício 01

ASTM A325



ASTM A325-TC



COMPRIENTO DE FIXAÇÃO LF (mm)

BITOLA L	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"
1.1/4"	8 - 13				
1.1/2"	13 - 19	8 - 16			
1.3/4"	19 - 25	16 - 22	13 - 19 *	11 - 16	
2"	25 - 32	22 - 28	19 - 25 *	16 - 22	
2.1/4"	32 - 38	28 - 35	25 - 32 *	22 - 28	18 - 25
2.1/2"	38 - 44	35 - 41	32 - 38 *	28 - 35	25 - 32
2.3/4"	44 - 50	41 - 47	38 - 44 *	35 - 41	32 - 38
3"	50 - 57	47 - 54	44 - 50 *	41 - 47	38 - 44
3.1/4"	57 - 63	54 - 60	50 - 57 *	47 - 54	44 - 50
3.1/2"	63 - 70	60 - 66	57 - 63 *	54 - 60	50 - 57
3.3/4"	70 - 76	66 - 73	63 - 69 *	60 - 66	57 - 63
4"	76 - 82	73 - 79	69 - 76 *	66 - 73	63 - 70
4.1/4"	82 - 89	79 - 85	76 - 82	73 - 79	70 - 76
4.1/2"	89 - 95	85 - 92	82 - 89	79 - 86	76 - 82
4.3/4"				86 - 92	82 - 89
5"				92 - 98	89 - 95
5.1/4"				98 - 105	95 - 101
5.1/2"				105 - 111	101 - 108
5.3/4"				111 - 117	108 - 114
6"				117 - 124	114 - 120

* Itens também disponíveis na opção A 325 TC

Comprimentos sob consulta para parafusos com cabeça sextavada, sendo que nas bitolas 7/8" e 1", também poderemos fornecer até o comprimento 12". A escolha do comprimento de parafuso deverá ser realizada em função da espessura do conjunto de peças a fixar. A tabela indica as faixas de utilização de cada comprimento de parafuso.

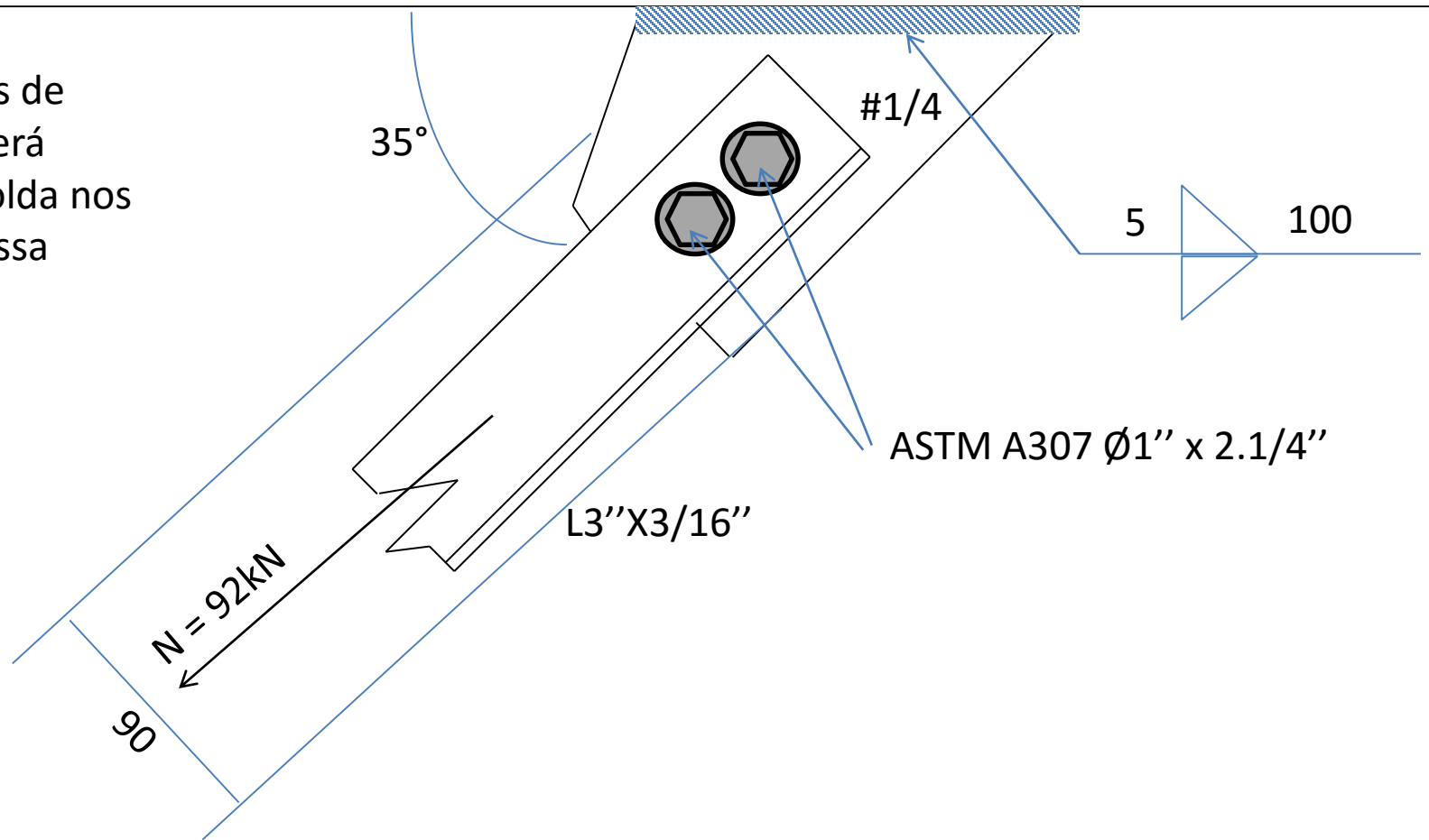
No nosso caso LF =
 $6,35 + 2 \cdot 4,76 =$
 15,87mm

Selecionaremos
 Parafuso de L = 2.1/4

Exercício 01

Mesa inferior W150X18,00 ASTM A572GR50

Para efeitos de controle, será pedida a solda nos 100mm dessa chapa



Conexões por atrito

Para conexões com furos alargados (oblongos)

$$F_{f,Rd} = \frac{1,13 \cdot \mu \cdot C_h \cdot F_{tb} \cdot n_s}{\gamma_e} \cdot \left(1 - \frac{F_{t,Sd}}{1,13 \cdot F_{tb}} \right)$$

Para conexões com furo padrão

$$F_{f,Rk} = 0,80 \cdot \mu \cdot C_h \cdot F_{tb} \cdot n_s \cdot \left(1 - \frac{F_{t,Sk}}{1,80 \cdot F_{tb}} \right)$$

Onde:

F_{tb} é a força de protensão mínima por parafuso considerada como sendo 70% da resistência mínima à tração do parafuso, ou seja: $F_{tb} = 0,70 A_{f_{ub}}$. Para valores das forças de protensão mínimas na montagem de parafusos ASTM, a tabela 15 da NBR 8800:2008 é reproduzida na Tabela 11 a seguir.

A_e é a área efetiva à tração ou área resistente dada na tabela 14, a seguir;

$F_{t,Sd}$, caso exista, é a força de tração solicitante de cálculo no parafuso que reduz a força de protensão, calculada com as combinações últimas de ações;

N_s é o número de planos de deslizamento;

γ_e é o coeficiente de ponderação da resistência, dado na tabela 8;

μ é o coeficiente médio de atrito dado na tabela 12;

C_h é um fator de furo dado na tabela 13.

Conexões por atrito

Tabela 11 – Força de protensão mínima em parafusos de alta resistência.

Diâmetro do parafuso: d_b		Força de protensão mínima: F_{Tb} (kN)	
polegadas	mm	ASTM A325	ASTM A490
$\frac{1}{2}$		53	66
$\frac{5}{8}$		85	106
	16	91	114
$\frac{3}{4}$		125	156
	20	142	179
	22	176	221
$\frac{7}{8}$		173	216
	24	205	257
1		227	283
	27	267	334
$1 \frac{1}{8}$		250	357
	30	326	408
$1 \frac{1}{4}$		317	453
	36	475	595
$1 \frac{1}{2}$		460	659

Conexões por atrito

Tabela 12 – Coeficientes médios de atrito.

Superfície	Coeficiente médio de atrito μ
Superfícies laminadas, limpas, isentas de óleos ou graxas, sem pintura e superfícies galvanizadas a quente com rugosidade aumentada manualmente por meio de escova de aço.	0,35
Superfícies jateadas sem pintura.	0,50
Superfícies galvanizadas a quente.	0,20

Tabela 13 – Fatores de furo.

Tipo de furo	Fator de furo C_h
Furos padrão	1,00
Furos alargados ou pouco alongados	0,85
Furos muito alongados	0,70

Conexões por atrito

A área efetiva à tração ou área resistente de um parafuso é um valor compreendido entre a área bruta e a área da raiz da rosca. Essa área pode ser determinada pela seguinte expressão:

$$A_e = 0,25d_b^2 \left(1 - k \frac{P}{d_b} \right)^2$$

Onde:

P = passo da rosca

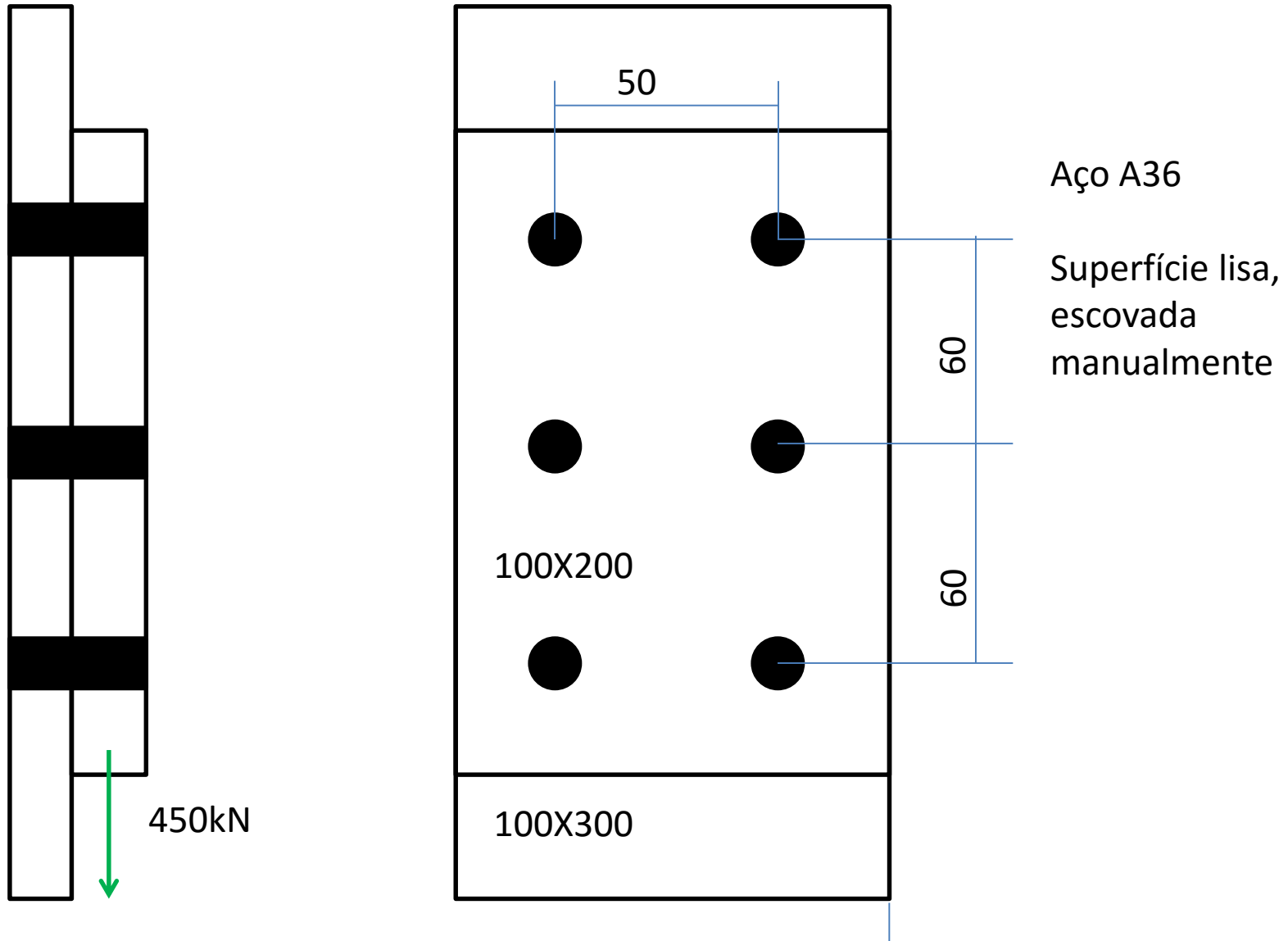
K = 0,9743 para roscas UNC (parafusos ASTM) e 0,9382 para rosca métrica ISO grossa.

A tabela 14 apresenta os valores da área efetiva à tração (A_e) e da área bruta (A_b) dos parafusos com rosca UNC e ISO.

Tabela 14 - Valores de A_e e A_b

ISO	UNC	P (mm)	A_b (cm ²)	A_e (cm ²)	A_e/A_b
M 12		1,75	1,13	0,84	0,75
	12,5	1,95	1,26	0,92	0,73
	16	2,31	1,98	1,46	0,74
M 16		2,00	2,01	1,57	0,78
	19	2,54	2,85	2,15	0,75
M 20		2,50	3,14	2,45	0,78
M 22		2,50	3,80	3,03	0,80
	22,2	2,82	3,88	2,93	0,77
M 24		3,00	4,52	3,53	0,78
	25	3,18	5,06	3,91	0,77
M 27		3,00	5,73	4,59	0,80
	28,5	3,63	6,41	4,92	0,77
M 30		3,50	7,07	5,61	0,79
	32	3,63	7,92	6,25	0,79
M 33		3,50	8,55	6,94	0,81
	35	4,23	9,58	7,45	0,78
M 36		4,00	10,18	8,17	0,80
	38	4,23	11,40	9,07	0,80
M 42		4,50	13,85	11,20	0,81
	44	5,08	15,52	12,26	0,79
M 48		5,00	18,10	14,70	0,81
	50	5,64	20,27	16,13	0,80

Exercício 02



Exercício 02

Passo 1- Determinar o diâmetro necessário aos parafusos

$$F_{f,Rk} = 0,80 \cdot \mu \cdot C_h \cdot F_{tb} \cdot n_s \cdot \left(1 - \frac{F_{t,Sk}}{1,80 \cdot F_{tb}} \right)$$

Passo 1- Determinar o parafuso à partir da força de protensão mínima (Ftb)

$$\frac{450}{6} = 0,80 \cdot 0,35 \cdot 1,0 \cdot F_{tb} \cdot 1,0 \cdot \left(1 - \frac{0}{1,80 \cdot F_{tb}} \right)$$

$$F_{tb} = \frac{450}{0,8 \cdot 0,35 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 6} \quad F_{tb} = 267,84 \text{ kN}$$

Exercício 02

Tabela 11 – Força de protensão mínima em parafusos de alta resistência.

Diâmetro do parafuso: d_b		Força de protensão mínima: F_{Tb} (kN)	
polegadas	mm	ASTM A325	ASTM A490
$\frac{1}{2}$		53	66
$\frac{5}{8}$		85	106
	16	91	114
$\frac{3}{4}$		125	156
	20	142	179
	22	176	221
$\frac{7}{8}$		173	216
	24	205	257
1		227	283
	27	267	334
$1 \frac{1}{8}$		250	357
	30	326	408
$1 \frac{1}{4}$		317	453
	36	475	595
$1 \frac{1}{2}$		460	659

Selecionado 6 parafusos ASTM A325 M27 com força de protensão mínima de 267 kN

Poderíamos selecionar A490 de 1"

Exercício 02

Passo 2- Determinar espessura das chapas

$$N_{t,Rd} = \frac{Ag.Fy}{1,1} \quad 10.t = \frac{1,1.450}{25} \quad t = 1,98cm = 19,8mm$$

$$N_{t,Rd} = \frac{An.Fu}{1,35} \quad 450 = \frac{(10 - 2.(2,15 + 0,2)).t.40}{1,35}$$

$$t = \frac{450.1,35}{5,3.40} = 2,86cm = 28,6mm$$

Utilizando o manual de ligações Gerdau

LIGAÇÕES FLEXÍVEIS COM CANTONEIRAS - LCPP / LCSP

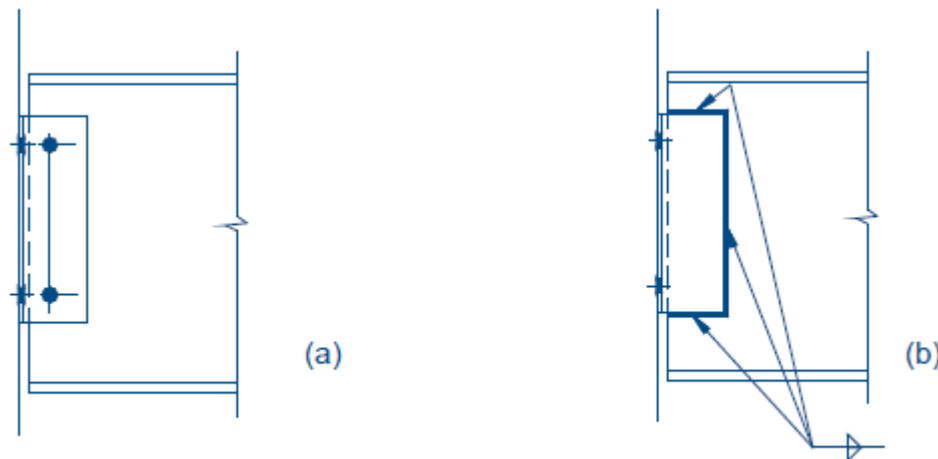


Figura 1 - Ligações Flexíveis com Cantoneiras

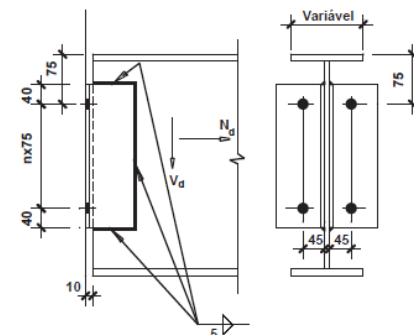
Exemplo: Determinar a ligação que deverá ser aplicada ao perfil W410X60 cuja reação vertical de cálculo seja a combinação ELU: $1,4.80 + 1,5.75 = 224,5 \text{ kN}$

Considerar ligação LCSP (Solda e parafuso)

PERFIS: W 410 x 38,8
W 410 x 46,1
W 410 x 53,0
W 410 x 60,0
W 410 x 67,0
W 410 x 75,0
W 410 x 85,0

CANTONEIRA: L 76 x 76 x 6,4 x 230

PARAFUSOS: 6 Ø 3/4" A325N

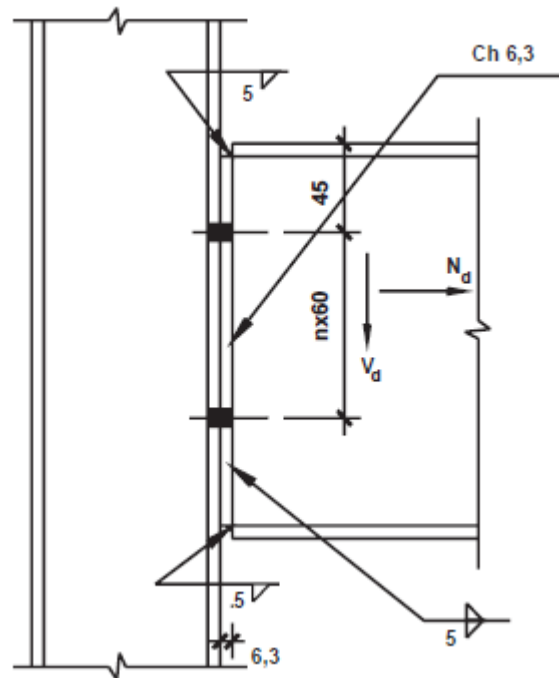


$N_t \text{ máx} = 339 \text{ kN} > 224,5 \text{ kN OK}$

			LCSP 30-B	LCSP 31-B			LCSP 32-B		
NOTAS: 1 - Dimensões em mm. 2 - Os valores tabelados são referentes às resistências de cálculo das ligações, conforme NBR 8800:2008. 3 - Verificar obrigatoriamente o elemento suporte. 4 - As vigas devem ser verificadas à flambagem lateral considerando obrigatoriamente os recortes na região da ligação.									
					$L_n(\text{max}) = 30 \text{ mm}$		$L_n(\text{max}) = 30 \text{ mm}$		
					$V_d(\text{kN})$				
					$L_n(\text{max})$		$L_n(\text{max})$		
n	Perfis	$N_d(\text{kN})$	Sem recortes	$L_n(\text{max})$			$L_n(\text{max})$		
 40 75 75 40	W 410 x 38,8	0	339	280	280	280	280	280	
		52	169	-	-	-	-	-	
	W 410 x 46,1	0	339	304	304	304	304	304	
		52	169	-	-	-	-	-	
	W 410 x 53,0	0	339	326	326	326	326	326	
		52	169	-	-	-	-	-	
	W 410 x 60,0	0	339	332	332	332	332	332	
		52	169	-	-	-	-	-	
	W 410 x 67,0	0	339	339	339	339	339	339	
		52	169	-	-	-	-	-	
	W 410 x 75,0	0	339	339	339	339	339	339	
		52	169	-	-	-	-	-	
	W 410 x 85,0	0	339	339	339	339	339	339	
		52	169	-	-	-	-	-	

Utilizando o manual de ligações Gerdau

LIGAÇÕES FLEXÍVEIS COM CHAPA DE EXTREMIDADE - LCHE



Exemplo: Determinar a ligação que deverá ser aplicada ao perfil W200X26,6 cuja reação vertical de cálculo seja a combinação ELU: $1,4.25 + 1,5.18 = 62 \text{ kN}$

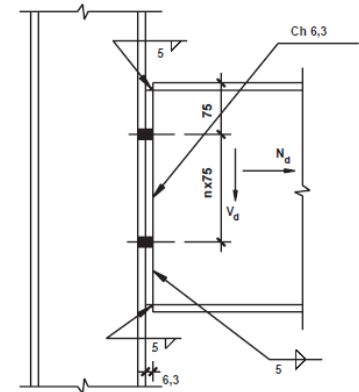
$N_t \text{ máx} = 169 \text{ kN} > 62 \text{ kN}$ OK

PERFIS: W 200 x 15,0
W 200 x 19,3
W 200 x 22,5
W 200 x 26,6
W 200 x 31,3

CHAPA: Ch 6,3 ASTM A36

PARAFUSOS: 4 ø 5/8" A325N
ou 4 ø 3/4" A325N

SOLDAS: ELETRODO E70XX

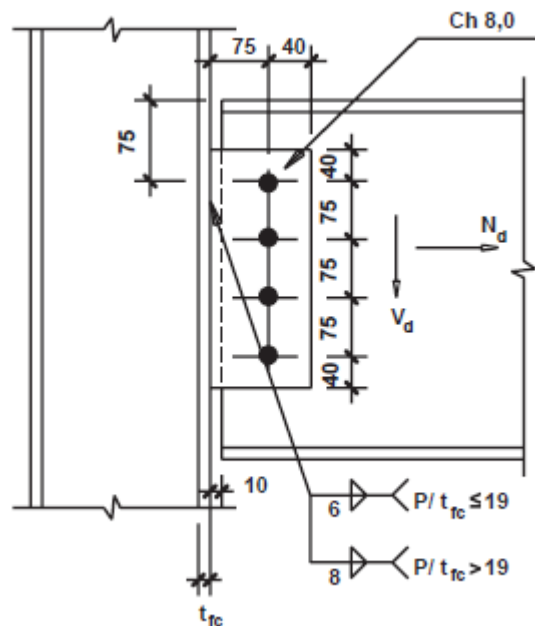


LCHE 20-A			
n	Perfis	N_d (kN)	V_d (kN)
1	W 200 x 15,0	0 23	125 63
	W 200 x 19,3	0 22	169 85
	W 200 x 22,5	0 22	181 90
	W 200 x 26,6	0 22	169 85
	W 200 x 31,3	0 22	187 93

NOTAS: 1 - Dimensões em mm.
2 - Os valores tabelados são referentes às resistências de cálculo das ligações, conforme NBR 8800:2008.
3 - Verificar obrigatoriamente o elemento suporte.

Utilizando o manual de ligações Gerdau

LIGAÇÕES FLEXÍVEIS COM CHAPA SIMPLES (LATERAL)- LCHS



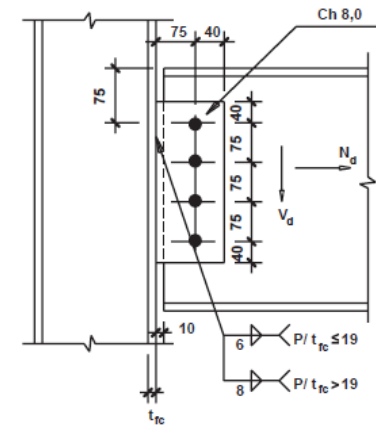
Exemplo: Determinar a ligação que deverá ser aplicada ao perfil W410X53 cuja reação vertical de cálculo seja a combinação ELU: $1,4.45 + 1,5.65 = 160,5 \text{ kN}$

PERFIS: W 410
W 460
W 530
W 610

CHAPA: Ch 8,0 ASTM A36

PARAFUSOS: 4 ø 3/4" A325N

SOLDAS: ELETRODO E70XX

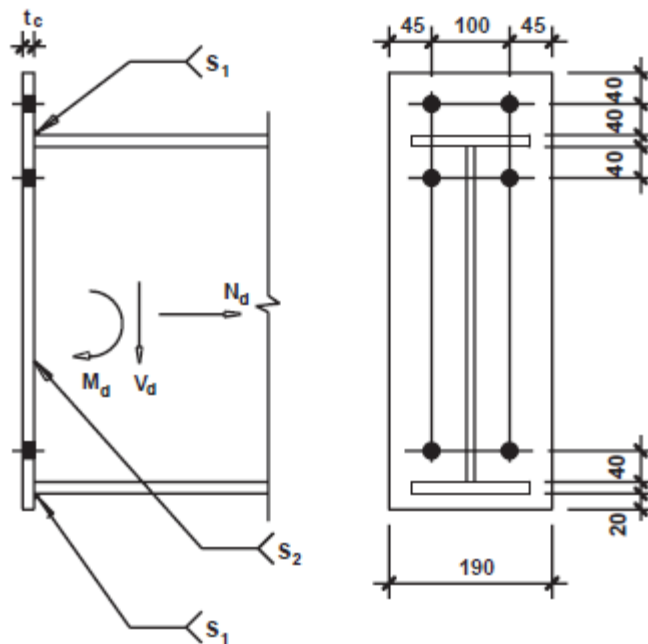


$N_t \text{ máx} = 195 \text{ kN} > 160,5 \text{ kN OK}$

LCHS 40-B		
Perfis	$N_d \text{ (kN)}$	$V_d \text{ (kN)}$
W 410 (todos)	0	195
	49	97
W 460 (todos)	0	195
	49	97
W 530 (todos)	0	195
	49	97
W 610 (todos)	0	195
	49	97
NOTAS: 1 - Dimensões em mm. 2 - Os valores tabelados são referentes às resistências de cálculo das ligações, conforme NBR 8800:2008. 3 - Verificar obrigatoriamente o elemento suporte.		

Utilizando o manual de ligações Gerdau

LIGAÇÕES RÍGIDAS COM CHAPA DE EXTREMIDADE PARAFUSADAS ASSIMÉTRICAS (LMPA)



Exemplo: Determinar a ligação que deverá ser aplicada ao perfil W360X32,9:

Dados:

$V_d = 122 \text{ kN}$

$M_d = 125 \text{ kN}$

$N_d = 75 \text{ kN}$

PERFIS:

W 360 x 32,9

W 360 x 39,0

CHAPA:

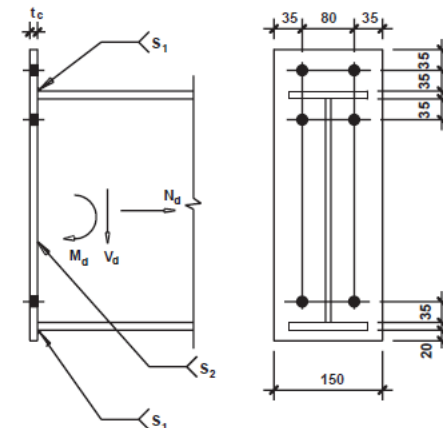
ASTM A36

PARAFUSOS:

6 Ø 7/8" A325N

SOLDAS:

ELETRODO E70XX



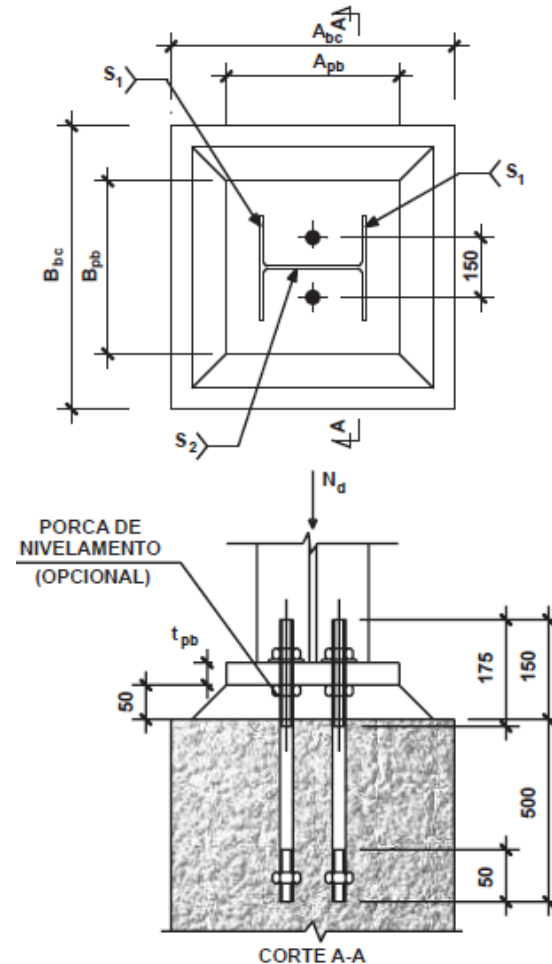
Perfis	t_c (mm)	S_1 (mm)	S_2 (mm)	N_d (kN)	M_d (kNm)	V_d (kN)
W 360 x 32,9	25			0 194 0	165 132 132	272 272 272
W 360 x 39,0	31,5			0 246 0	211 169 169	317 317 317

NOTAS:

- 1 - Dimensões em mm.
- 2 - Os valores tabelados são referentes às resistências de cálculo das ligações, conforme NBR 8800:2008.
- 3 - Verificar obrigatoriamente o elemento suporte.

Utilizando o manual de ligações Gerdau

BASES ROTULADAS



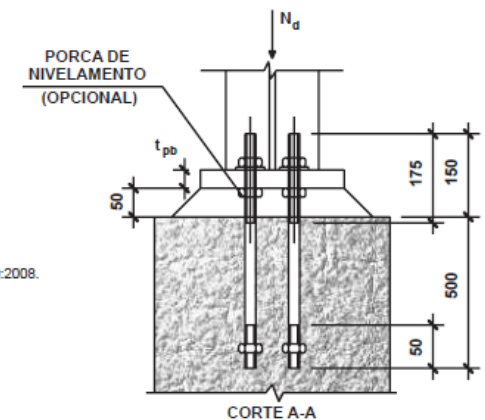
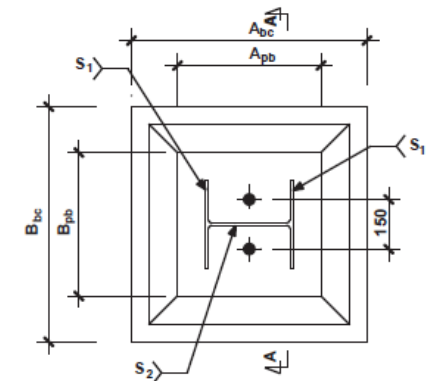
PERFIS:

- W 310 x 21,0
- W 310 x 23,8
- W 310 x 28,3
- W 310 x 32,7
- W 310 x 38,7
- W 310 x 44,5
- W 310 x 52,0

CHUMBADORES: 2 ø 1" ASTM A36

CONCRETO: $f_{ck} \geq 20 \text{ Mpa}$

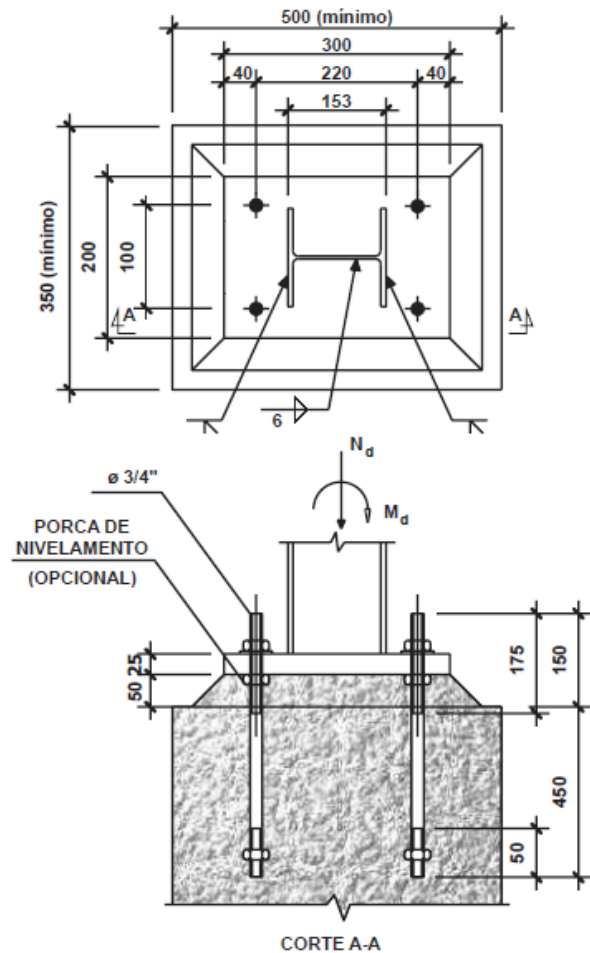
- 1 - Dimensões em mm.
- 2 - Os valores tabelados são referentes às resistências de cálculo das ligações, conforme NBR 8800:2008.
- 3 - Almas ou mesas com espessuras $\geq 10\text{mm}$ podem ser soldadas com solda K (.
- 4 - Soldas de filete podem ser substituídas por soldas de penetração total.
- 5 - Os valores tabelados de A_w e B_w são valores mínimos.



Perfis	A _{pb} (mm)	B _{pb} (mm)	A _{bc} (mm)	B _{bc} (mm)	S ₁	S ₂	t _{pb} (mm)	N _{dmax} (kN)
W 310 x 21,0	350 350	250 250	450 450	350 350			19,0 25,0	418 723
W 310 x 23,8	350 350	250 250	450 450	350 350			19,0 25,0	418 723
W 310 x 28,3	350 350	250 250	450 450	350 350			19,0 25,0	422 730
W 310 x 32,7	350 350	250 250	450 450	350 350			19,0 25,0	422 730
W 310 x 38,7	350 350	250 300	450 550	350 500			19,0 31,5	859 1398
W 310 x 44,5	350 450	250 300	450 650	350 450			19,0 31,5	871 1815
W 310 x 52,0	350 450	250 300	450 650	350 450			19,0 31,5	883 1833

Utilizando o manual de ligações Gerdau

BASES ENGASTADAS



Determinar a placa de base para um pilar W250X73,0 sob efeito de uma carga de compressão axial de 1900 kN e Momento Fletor Solicitante 4500 kN.cm

Concreto $f_{ck} = 20\text{MPa}$

PERFIS: W 250 x 73,0 (H)

PLACA DE BASE: ASTM A36

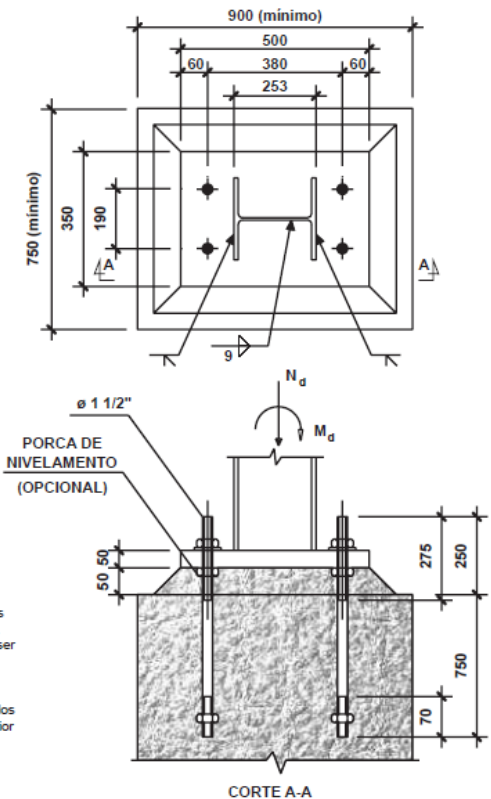
CHUMBADORES: ASTM A36

SOLDAS: ELETRODO E70XX
Verificar a necessidade de pré-aquecimento para soldagem no caso de soldas de filete.

CONCRETO: $f_{ck} \geq 20\text{ Mpa}$

NOTAS:

- 1 - Dimensões em mm.
- 2 - Os valores tabelados são referentes às resistências de cálculo das ligações, conforme NBR 8800:2008.
- 3 - Almas ou mesas com espessuras $\geq 16\text{mm}$ podem ser soldadas com solda K (—K—).
- 4 - Soldas de filete podem ser substituídas por soldas de penetração total.
- 5 - Para valores intermediários de N_d , adotar o menor dos valores de M_{dmax} correspondentes aos valores anterior e posterior de N_d tabelados.



CORTE A-A

N_d (kN)	M_{dmax} (kNm)	N_d (kN)	M_{dmax} (kNm)	N_d (kN)	M_{dmax} (kNm)
2458	0	1598	86,7	737	125,0
2335	12,4	1457	100,9	615	148,2
2212	24,8	1352	111,5	492	171,6
2089	37,2	1229	122,0	369	195,0
1966	49,6	1106	128,5	246	209,9
1843	62,0	983	130,9	123	189,4
1721	74,3	860	129,2	0	168,9