

ESTRUTURAS METÁLICAS

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Cap Moniz de Aragão

1. Limites de Resistência
2. Área bruta e área efetiva à tração
3. Resistência de cálculo à tração
4. Resistência de cálculo à força cortante
5. Interação de tração com cisalhamento
6. Resistência à pressão de contato em furos
7. Espaçamento entre furos e entre furo e borda
8. Resistência de cálculo em ligações por atrito
9. Exercícios

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Vantagens

- Permitem montagens mais rápidas e de inspeção fácil;
- Permitem desmontagens para alteração e reparo;
- Economia de energia;
- Menor MDO (não qualificada);
- Boa resposta à fadiga;

Desvantagens

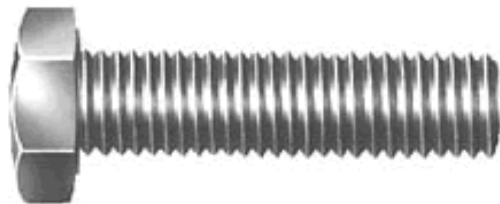
- Áreas líquidas → reforço
- Necessidade de pré-montagem
- Dificuldade para modificações

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

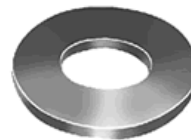
Descrição Geral dos Parafusos:



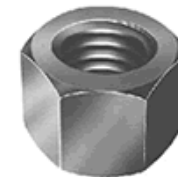
Parafuso Sextavado
rosca parcial



Parafuso Sextavado
rosca inteira



Arruela



Porca

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Descrição Geral dos Parafusos:

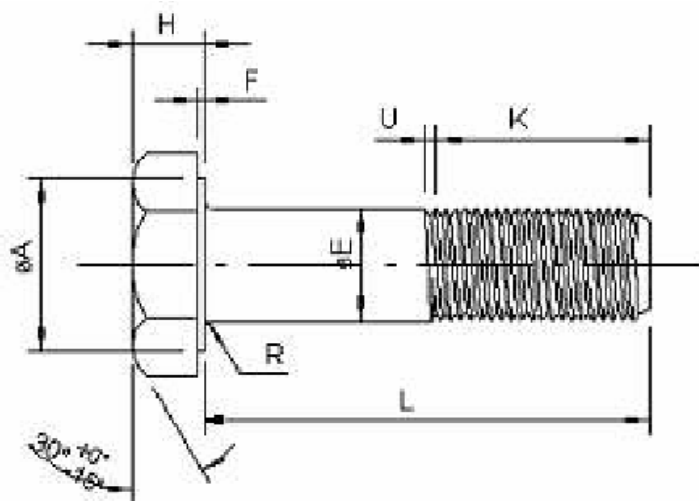
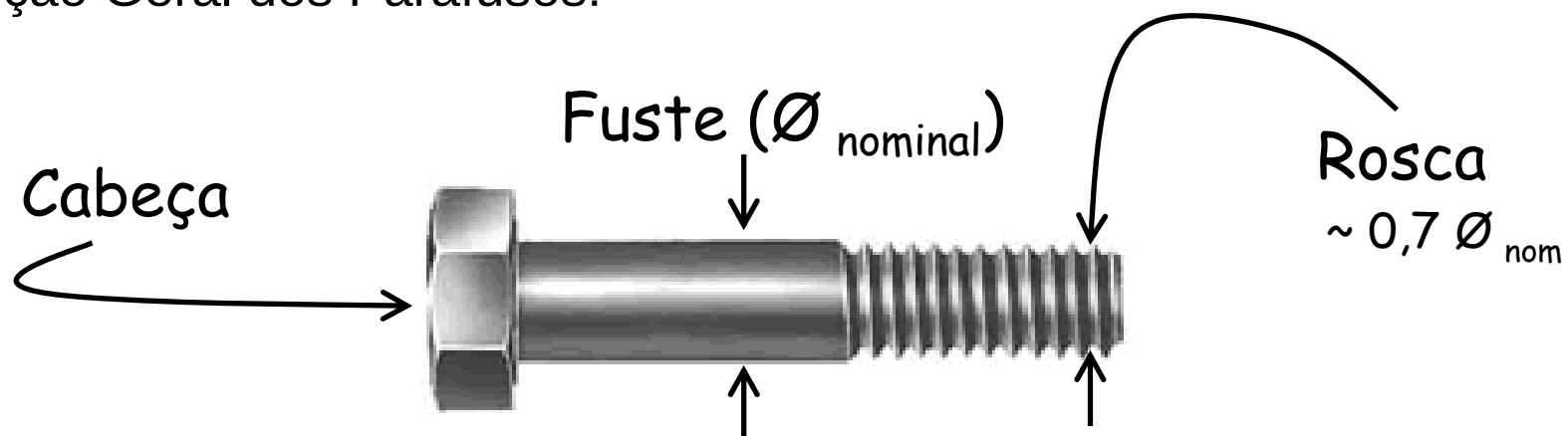


Fig. 4.1 Representação das dimensões.

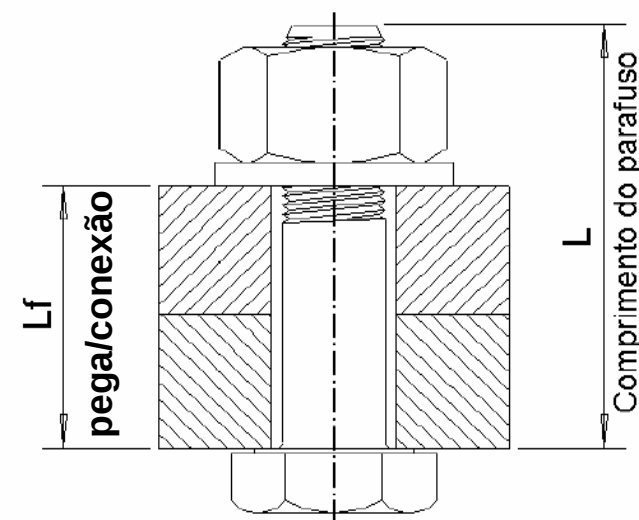
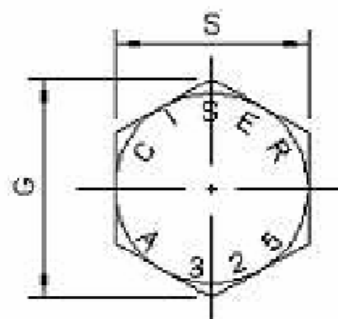


Fig. 4.2 Representação do comprimento

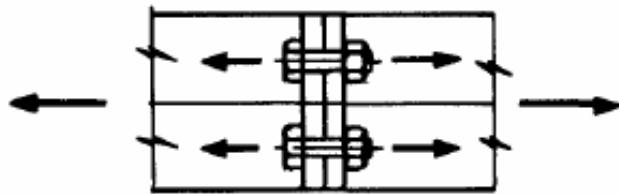
LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Descrição Geral dos Parafusos

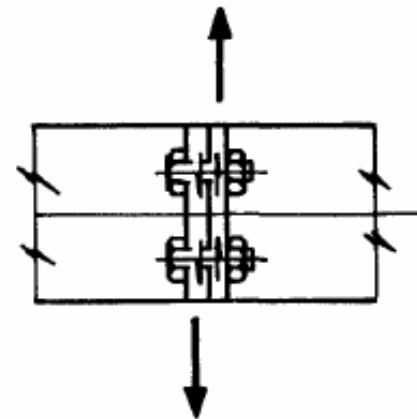
Parafusos e Barras Redondas Rosqueadas					
	Material	Φ máx	f_y [MPa]	f_u [MPa]	Tipo (3)
Para- fusos	A 307 ⁽¹⁾	100 mm	—	415	C
	A 325 ⁽²⁾	1"	635	825	C, T
		1 1/2"	560	725	
Barras	MR 250	100 mm	250	400	C
(1): Parafusos comuns. Especificação conforme ASTM.					
(2): Parafusos de alta resistência. Especificação conforme ASTM. Disponíveis também com resistência à corrosão equivalente ao aço AR-COR-345.					
(3): C = Carbono T = Temperado					

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Classificação quanto à solicitação:



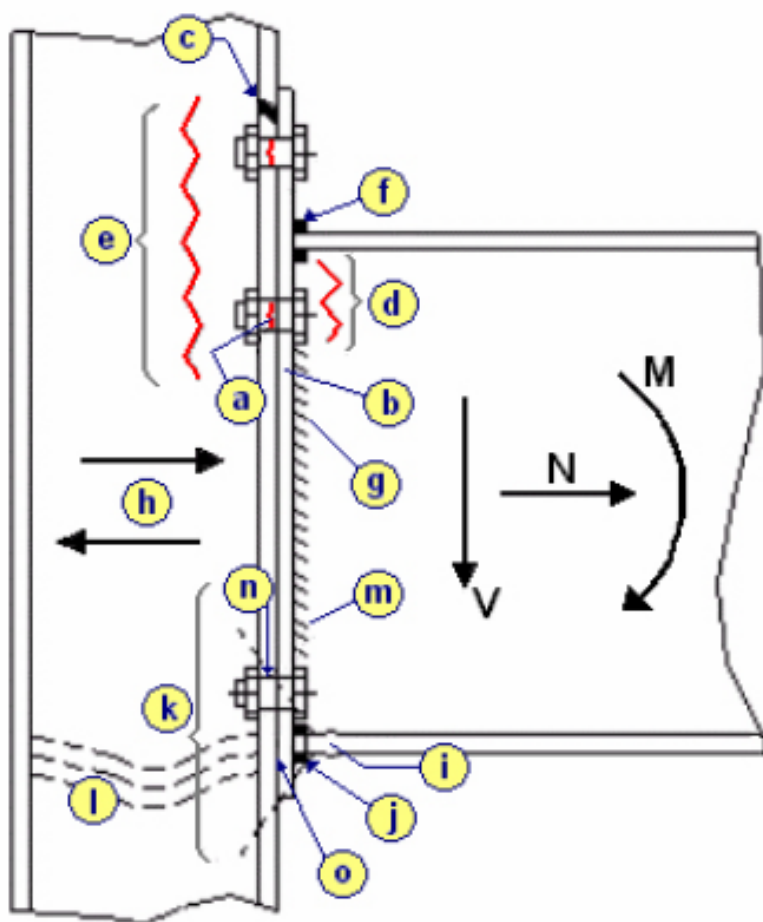
(a) TRAÇÃO NOS PARAFUSOS



(b) CISALHAMENTO NOS PARAFUSOS

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Exemplo de verificações: **ligação rígida pilar-viga**

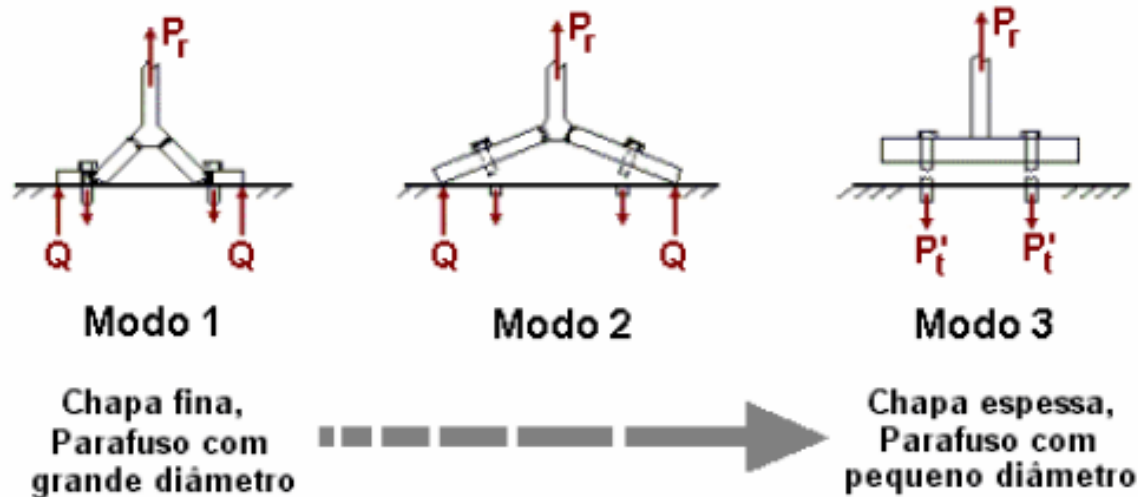


Região	Ref. fig. 3.2	Verificação
Tracionada	<i>a</i>	Tração nos parafusos
	<i>b</i>	Flexão da chapa de topo
	<i>c</i>	Flexão da mesa do pilar
	<i>d</i>	Tração na alma da viga
	<i>e</i>	Tração na alma do pilar
	<i>f</i>	Solda mesa/chapa de topo
	<i>g</i>	Solda alma/chapa de topo
Cisalhamento Horizontal	<i>h</i>	Cisalhamento no painel de alma do pilar
Comprimida	<i>i</i>	Mesa da viga
	<i>j</i>	Solda mesa/chapa de topo
	<i>k</i>	Enrugamento da alma do pilar
	<i>l</i>	Flambagem da alma do pilar
Cisalhamento Vertical	<i>m</i>	Solda alma/chapa de topo
	<i>n</i>	Cisalhamento nos parafusos
	<i>o</i>	Pressão de contato (mesa ou chapa)

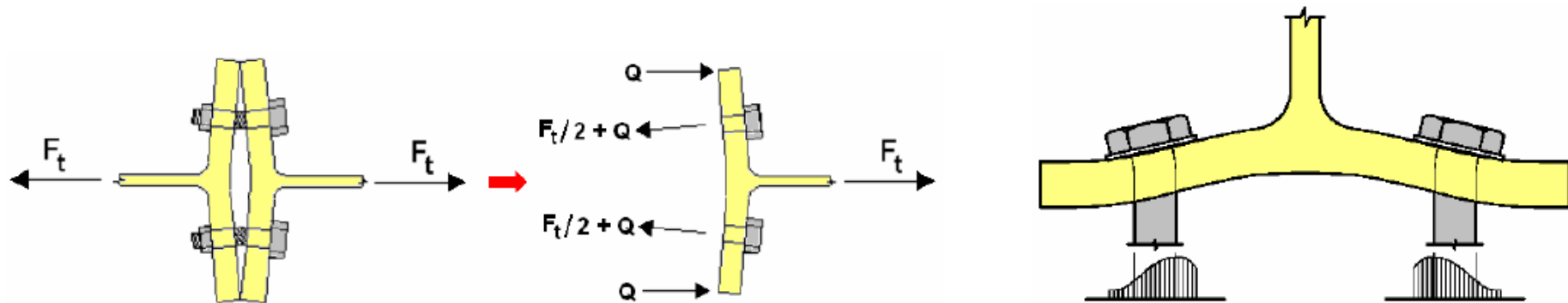
Ref: "ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE LIGAÇÕES PARAFUSADAS VIGA-PILAR COM CHAPA DE TOPO ESTENDIDA", YURI IVAN MAGGI, Tese de Doutorado, USP - São Carlos.

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Colapso por tração:



“efeito alavanca”:



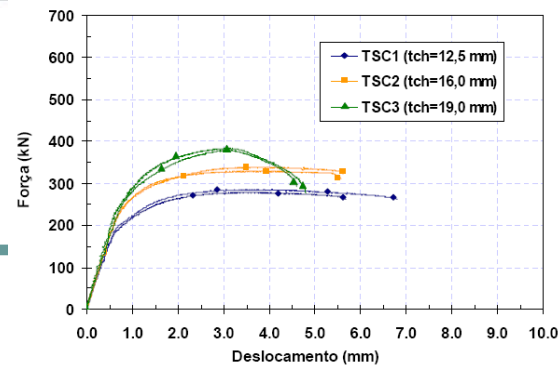
LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Colapso por tração nos parafusos:

ruptura do parafuso x espessura da mesa



“efeito alavanca”



LIGAÇÕES PARAFUSADAS

7.3.1.2 Área efetiva à tração

A área resistente A_r ou área efetiva à tração de um parafuso ou de uma barra rosqueada é um valor compreendido entre a área bruta e a área da raiz da rosca. Esta área pode ser determinada através da expressão:

Nova NBR 8800

$$A_r = \frac{\pi d^2}{4} \left(1 - K \frac{P}{d} \right)^2$$

0,75

Onde:

d = diâmetro nominal do parafuso ou da barra rosqueada

P = passo da rosca

K = 0,9743 (rosca UNC-parafusos ASTM) e 0,9382 (rosca métrica ISO grossa) (ver nota a de 7.3.2.2)

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Área bruta e área efetiva à tração

Tabela 12 - Valores de A_p e A_t

ISO	UNC	P (passo em mm)	A_p (mm ²)	A_t (mm ²)	A_t/A_p
M12	-	1,75	113	84,3	0,75
-	1/2"	1,95	126	91,6	0,73
-	5/8"	2,31	198	146	0,74
M16	-	2,00	201	157	0,78
-	3/4"	2,54	285	215	0,75
M20	-	2,50	314	245	0,78
M22	-	2,50	380	303	0,80
-	7/8"	2,82	388	293	0,77
M24	-	3,00	452	353	0,78
-	1"	3,18	506	391	0,77
M27	-	3,00	573	459	0,80
-	1 1/8"	3,63	641	492	0,77
M30	-	3,50	707	561	0,79
-	1 1/4"	3,63	792	625	0,79
M33	-	3,50	855	694	0,81
-	1 3/8"	4,23	958	745	0,78
M36	-	4,00	1018	817	0,80
-	1 1/2"	4,23	1140	907	0,80
M42	-	4,50	1385	1120	0,81
-	1 3/4"	5,08	1552	1226	0,79
M48	-	5,00	1810	1470	0,81
-	2"	5,64	2027	1613	0,80

A_p = área bruta, baseada no diâmetro nominal d
do parafuso ou barra rosqueada $= \pi d^2/4$

A_t = área efetiva à tração, conforme 7.3.1.2

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Resistência de Cálculo à tração

Item 7.3.2.2 – NBR 8800

ESTADO LIMITE DE RUPTURA À TRAÇÃO DA SEÇÃO LÍQUIDA

$$R_d = \phi_t R_{nt}$$

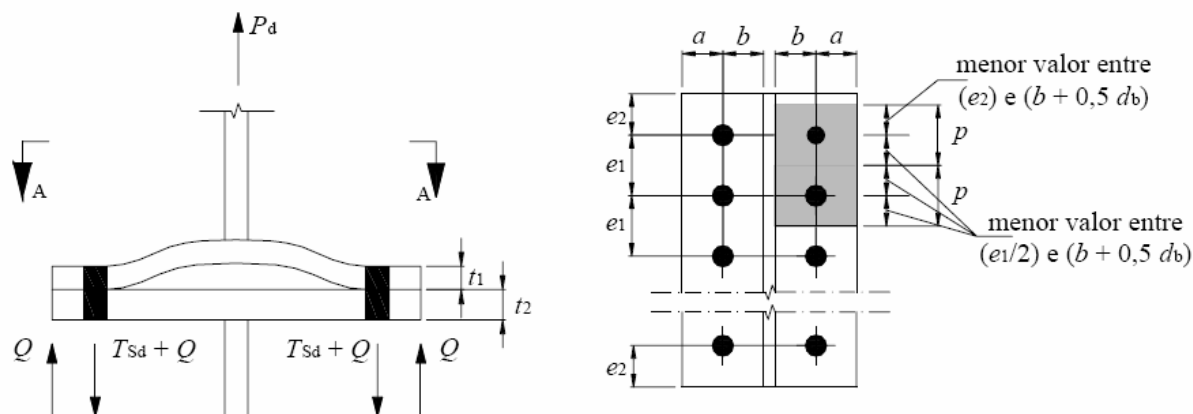
$$\phi_t = \begin{array}{ll} 0,75 & \text{parafusos A325} \\ 0,65 & \text{parafusos A307 e barras rosqueadas} \end{array}$$

$$R_{nt} = \begin{array}{ll} 0,75 A_p f_u & d \geq 12\text{mm} \\ 0,95 A_r f_u & d > 25\text{mm} \end{array}$$

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

EFEITO ALAVANCA **NOVA NBR 8800 (6.3.3.1):**

A força de tração de cálculo total, no parafuso, é igual a $T_{Sd} + Q$.



$$t \geq \sqrt{\frac{T_{Sd}(b - 0,5 d_b)}{\frac{p}{4} \frac{f_y}{\gamma_{a1}} \left(1 + \frac{p - d_h}{p}\right)}}$$

$$Q = \frac{T_{Sd}(b - 0,5 d_b) - \frac{pt^2}{4} \frac{f_y}{\gamma_{a1}}}{a + 0,5 d_b} \geq 0$$

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

FAIXA DE ESPESSURAS DE CHAPA PARA DIMENSIONAMENTO AO EFEITO ALAVANCA (mm)

$t_{\min.}$ corresponde a $\alpha = 1$; $t_{\max.}$ corresponde a $\alpha = 0$; aço $f_y = 250$ MPa

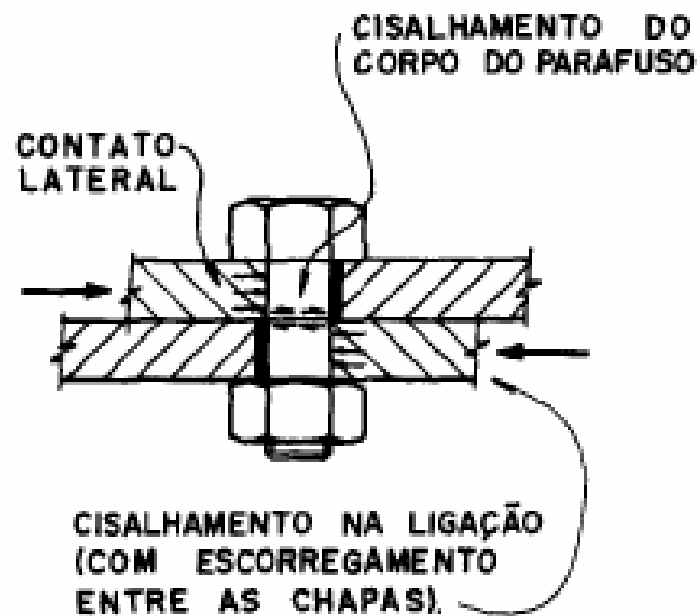
b (mm)	DIÂMETRO DO PARAF.	T = 60 kN			T = 80 kN			T = 100 kN			T = 120 kN		
		p (mm)			p (mm)			p (mm)			p (mm)		
		80	90	100	80	90	100	80	90	100	80	90	100
35	3/4"	15,4	14,3	13,4	17,6	16,6	15,6	19,8	18,5	17,4	21,6	20,2	19,1
		20,2	19,1	18,0	23,3	22,0	20,9	26,0	24,6	23,3	28,6	26,9	25,5
	M20	15,2	14,3	13,4	17,6	16,4	15,5	19,7	18,4	17,3	21,5	20,2	19,0
		20,0	18,8	17,9	23,0	21,7	20,6	25,8	24,4	23,0	28,3	26,6	25,3
40	3/4"	16,8	15,7	14,8	19,3	18,1	17,0	21,6	20,3	19,1	23,7	22,1	20,9
		22,1	20,8	19,8	25,3	24,0	22,8	28,6	26,9	25,4	31,2	29,5	27,9
	M20	16,7	15,6	14,6	19,3	18,0	16,9	21,5	20,2	19,0	23,6	22,1	20,8
		22,0	20,6	19,6	25,3	23,9	22,7	28,3	26,6	25,3	31,0	29,2	27,7
45	3/4"	18,1	16,9	16,0	20,9	19,6	18,4	23,3	21,8	20,5	25,5	23,9	22,5
		23,9	22,4	21,4	27,5	25,9	24,6	30,7	29,0	27,5	33,7	31,8	30,1
	M20	18,0	16,8	15,8	20,8	19,4	18,4	23,3	21,7	20,5	25,4	23,8	22,4
		23,6	22,3	21,1	27,4	25,8	24,5	30,6	28,8	27,4	33,5	31,6	29,9
50	3/4"	19,3	18,0	17,0	22,3	20,9	19,7	25,0	23,3	22,0	27,3	25,5	24,0
		25,4	24,0	22,8	29,4	27,7	26,3	32,9	31,0	29,4	36,0	33,9	32,2
	M20	19,3	18,0	16,9	22,2	20,8	19,6	24,8	23,3	21,8	27,2	25,4	24,0
		25,3	23,9	22,7	29,2	27,6	26,1	32,6	30,8	29,2	35,8	33,7	32,0
55	3/4"	20,5	19,1	18,0	23,6	22,1	20,9	26,4	24,7	23,3	28,9	27,0	25,5
		27,0	25,4	24,1	31,2	29,4	27,8	34,8	32,9	31,2	38,2	36,0	34,1
	M20	20,4	19,1	18,0	23,6	22,1	20,8	26,4	24,6	23,3	28,9	27,0	25,4
		26,9	25,3	24,0	31,0	29,2	27,7	34,7	32,6	31,0	37,9	35,8	34,0

Ref: "Ligações em Estruturas Metálicas", Instituto Brasileiro de Siderurgia, IBS/CBCA, 2004.

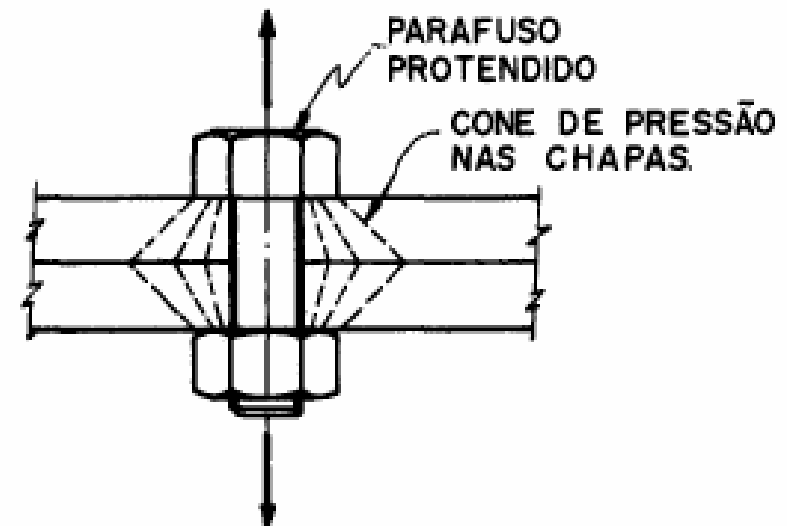
LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Ligações de cisalhamento

Ligações por contato:



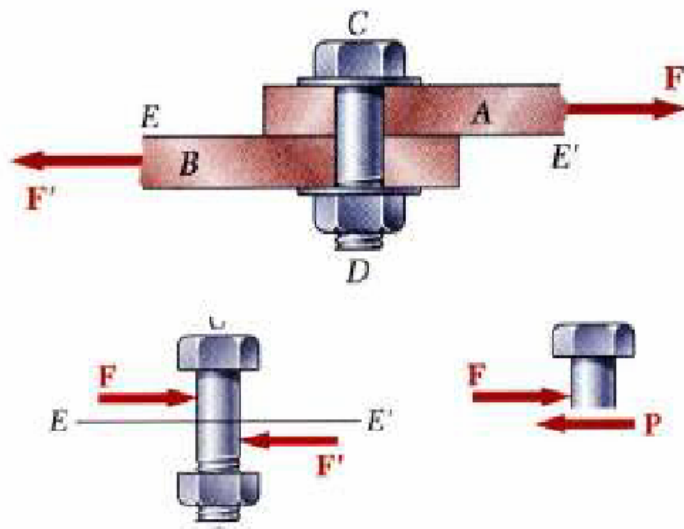
Ligações por atrito:



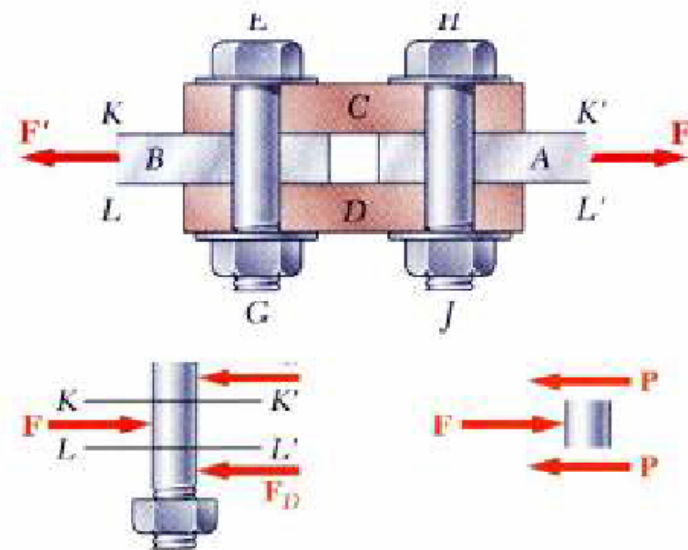
LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Ligações por contato:

Cisalhamento Simples



Cisalhamento Duplo



LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Resistência de Cálculo devido ao corte do parafuso

Item 7.3.2.3 – NBR 8800

$$R_d = \phi_v R_{nv}$$

$$\phi_v = \begin{array}{ll} 0,65 & \text{parafusos A325} \\ 0,60 & \text{parafusos A307 e barras rosqueadas} \end{array}$$

$$R_{nv} = \begin{array}{ll} 0,60 A_p f_u & \text{parafusos A325X (corte no fuste)} \\ 0,42 A_p f_u & \text{parafusos A325N, A307 e barras rosqueadas} \end{array}$$

RESISTÊNCIA DE CÁLCULO DOS PARAFUSOS EM LIGAÇÕES POR CONTATO (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
A-307	TRAÇÃO	25,63	40,04	57,66	78,49	102,5	129,7	160,2	193,8	230,6	313,9	410,0
	FORÇA CORTANTE	13,25	20,70	29,81	40,57	52,99	67,07	82,80	100,2	119,2	162,3	212,0
A-325	TRAÇÃO	58,79	91,85	132,3	180,0	235,1	261,5	322,9	390,7	464,9	632,8	826,6
	FORÇA CORT. (ROSCA FORA PL. DE CORTE)	40,76	63,68	91,71	124,8	163,0	181,3	223,9	270,9	322,4	438,8	573,1
	FORÇA CORT. (ROSCA NO PL. DE CORTE)	28,53	44,58	64,19	87,38	114,1	126,9	156,7	189,6	225,7	307,1	401,2
A-490	TRAÇÃO	73,75	115,2	165,9	225,9	295,0	373,4	460,9	557,7	663,7	903,4	118,0
	FORÇA CORT. (ROSCA FORA PL. DE CORTE)	51,13	79,89	115,0	156,6	204,5	258,9	319,6	386,7	460,2	626,4	818,1
	FORÇA CORT. (ROSCA NO PL. DE CORTE)	35,79	55,93	80,53	109,6	143,2	181,2	223,7	270,7	322,1	438,5	572,7

Ref: "Ligações em Estruturas Metálicas", Instituto Brasileiro de Siderurgia, IBS/CBCA, 2004.

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

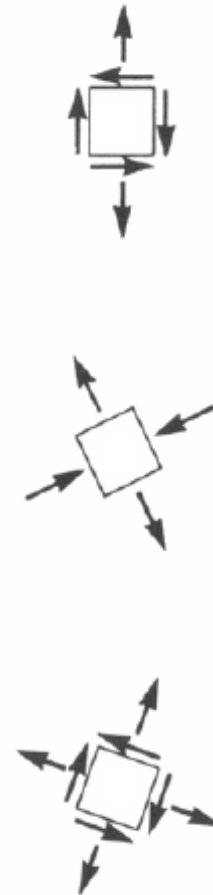
Interação de Tração com Cisalhamento

Item 7.3.2.5 – NBR 8800

Tração com Cisalhamento:

$$\phi_t R_{nt} \leq \alpha A_p f_u - \beta V_d$$

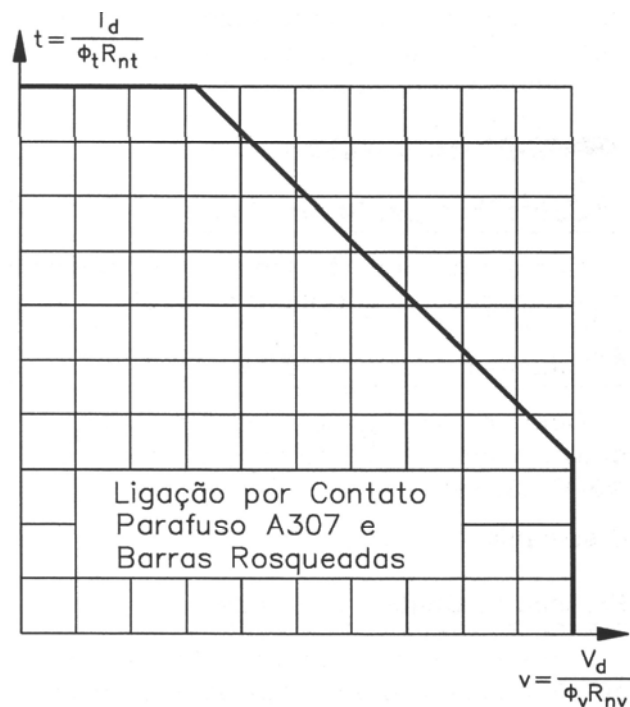
Valores de α e β		
Material	α	β
Parafusos A325X	0,69	1,50
Parafusos A325N	0,69	1,93
Parafusos A307 Barras rosqueadas	0,64	1,93



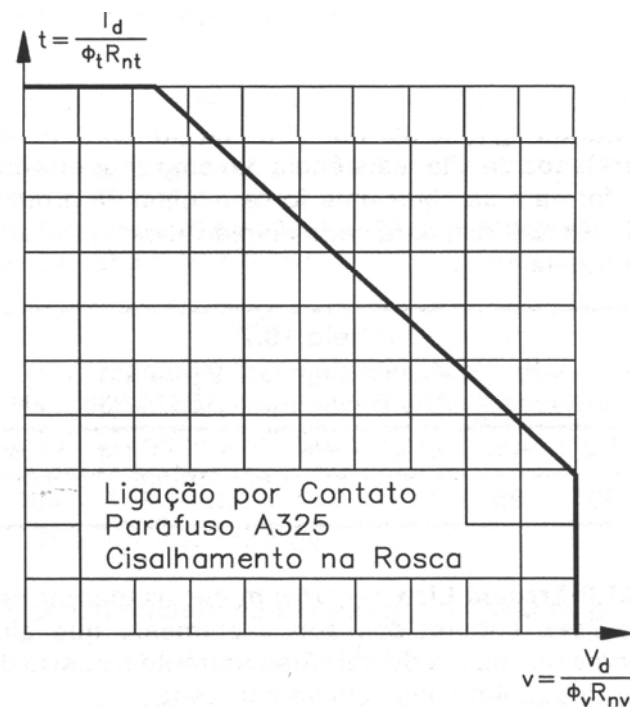
$V_d \equiv$ força cortante de cálculo no plano de corte

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Interação de Tração com Cisalhamento:



T_d	Força de tração de cálculo
V_d	Força de cisalhamento de cálculo
$\phi_t R_{nt}$	Resistência de cálculo a tração
$\phi_v R_{nv}$	Resistência de cálculo a cisalhamento



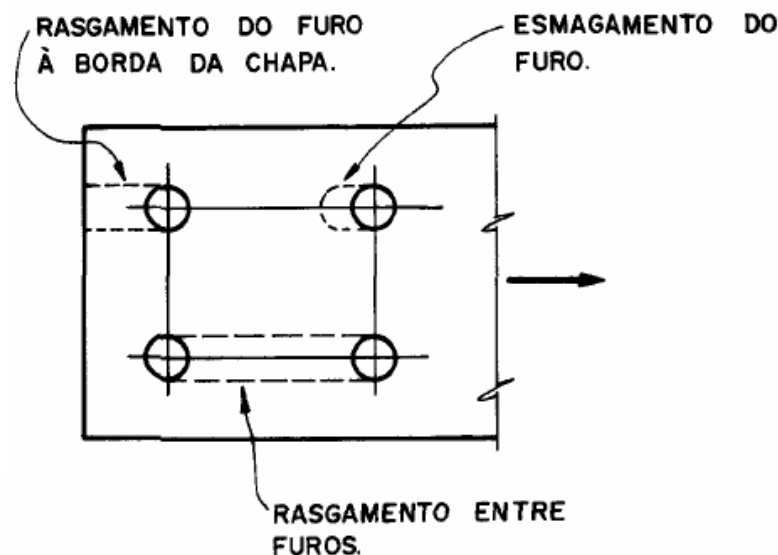
T	Força nominal de tração
V	Força nominal de cisalhamento
T_b	Força de protensão
$\phi R'_{nv}$	Resistência de cálculo ao deslizamento

Ref: "Curso Básico de Estruturas de Aço", Péricles Barreto de Andrade, Ed. IEA, 1994.

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Resistência à pressão de contato em furos

Pressão de contato na parede de um furo:



7.3.2.4 Pressão de contato em furos

A resistência à pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta a resistência ao rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo extremo e a borda, é dada por ϕR_n , onde $\phi = 0,75$, e R_n é a resistência nominal definida a seguir:

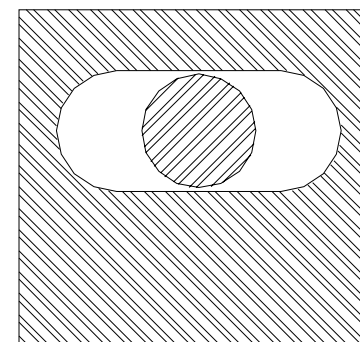
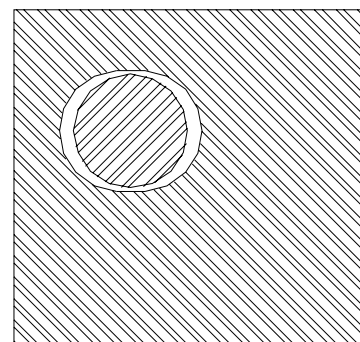
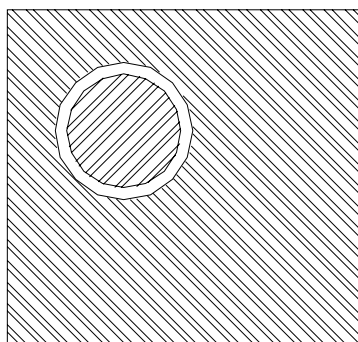
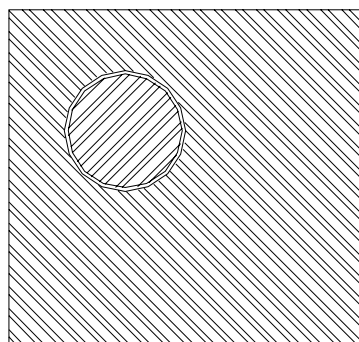
$$R_n = \alpha A_b f_u$$

7.3.1.1 Área efetiva para pressão de contato

A área efetiva para pressão de contato de parafuso é igual ao diâmetro nominal do parafuso multiplicado pela espessura da chapa considerada. Parafusos com cabeça escareada não são previstos nesta Norma.

Furação para parafusos

	Diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada d_b	Diâmetro do furo padrão	Diâmetro do furo alargado	Dimensões de um furo pouco alongado	Dimensões um furo muito alongado
Dimensões em milímetro	≤ 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 polegada	$\leq 7/8$	$d_b + 1/16$	$d_b + 3/16$	$(d_b + 1/16) \times (d_b + 1/4)$	$(d_b + 1/16) \times 2,5 d_b$
	1	$1 \frac{1}{16}$	$1 \frac{1}{4}$	$1 \frac{1}{16} \times 1 \frac{5}{16}$	$1 \frac{1}{16} \times 2 \frac{1}{2}$
	$\geq 1 \frac{1}{8}$	$d_b + 1/16$	$d_b + 5/16$	$(d_b + 1/16) \times (d_b + 3/8)$	$(d_b + 1/16) \times 2,5 d_b$



Tab. 16 – NBR 8800

Limitações relativas ao emprego de furos alargados ou alongados

Tipo de furo	Tipo de ligação permitido	Limitações	
		Posição do furo	Arruelas ¹⁾
Alargado	Por atrito	Em qualquer uma ou em todas as chapas da ligação	Endurecidas, sobre furos alargados em chapas externas da ligação
Pouco alongado	Por atrito	Em qualquer uma ou em todas as chapas de ligação. Qualquer posição, independentemente da direção da solicitação	Sobre furos pouco alongados em chapas externas da ligação devem ser usadas arruelas; tais arruelas devem ser endurecidas quando os parafusos forem de alta resistência.
	Por contato	Em qualquer uma ou em todas as chapas da ligação. Maior dimensão normal à direção da solicitação	
Muito alongado	Por atrito	Em somente uma das partes da ligação, para a mesma superfície de contato. Qualquer posição, independentemente da direção da solicitação	Arruelas de chapa ou barras chatas contínuas, de aço estrutural, com espessura mínima de 8mm e com furos padrão, devem ser usadas sobre furos muito alongados em chapas externas. Tais arruelas ou barras devem ter dimensões suficientes para cobrir totalmente os furos alongados após a instalação dos parafusos. Quando for necessário usar arruelas endurecidas (ver 6.7.4.2 e ¹⁾), estas serão colocadas sobre aquelas arruelas de chapas ou barras contínuas
	Por contato	Em somente uma das partes da ligação, para a mesma superfície de contato. Maior dimensão normal à direção da solicitação	

Tab. 17 – NBR 8800

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Pressão de contato na parede de um furo: $R_n = \alpha A_b f_u$

$$\alpha = \begin{cases} 3,0 - \text{esmagamento sem rasgamento} \\ 3,0 - \text{rasgamento entre 2 furos ortog. à força} \\ \frac{s_2}{d} - \eta_1 \leq 3,0 - \text{rasgamento entre 2 furos longit. à força} \\ 3,0 - \text{rasgamento entre furo e borda ortog. à força} \\ \frac{e_2}{d} - \eta_2 \leq 3,0 - \text{rasgamento entre furo e borda longit. à força} \end{cases}$$

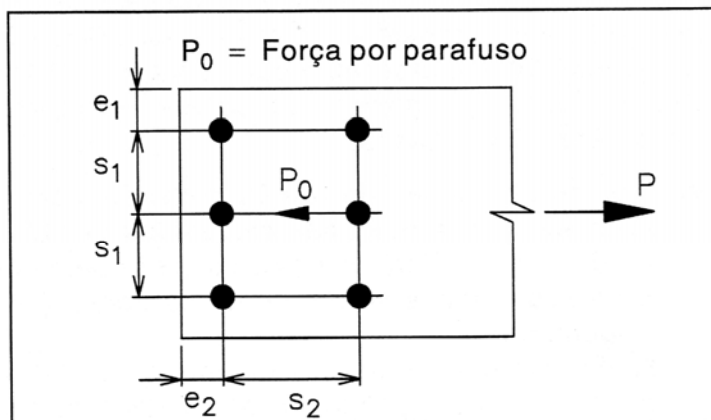
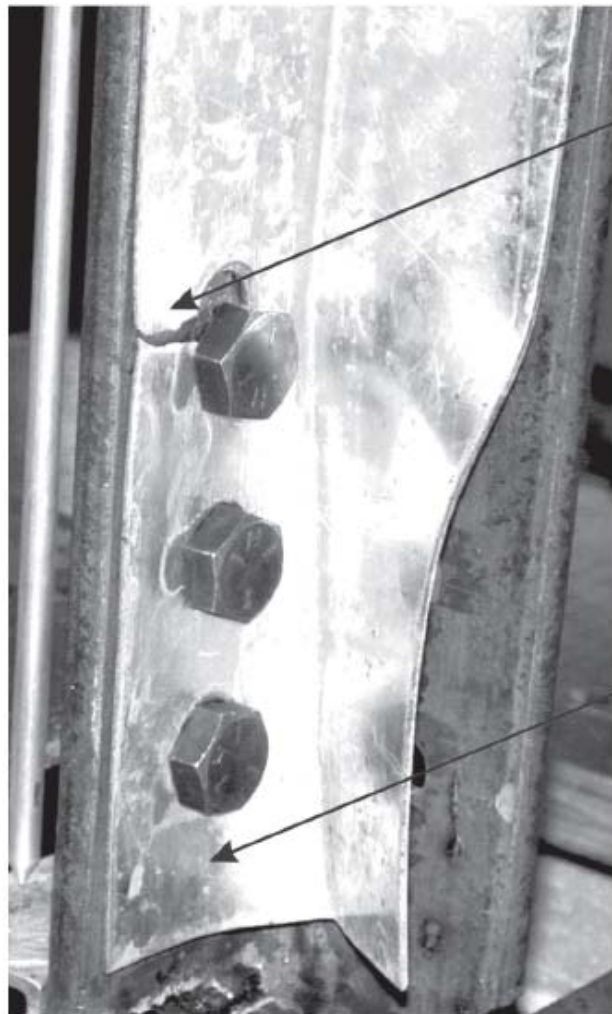


Figura 10.5
Arranjo dos Furos

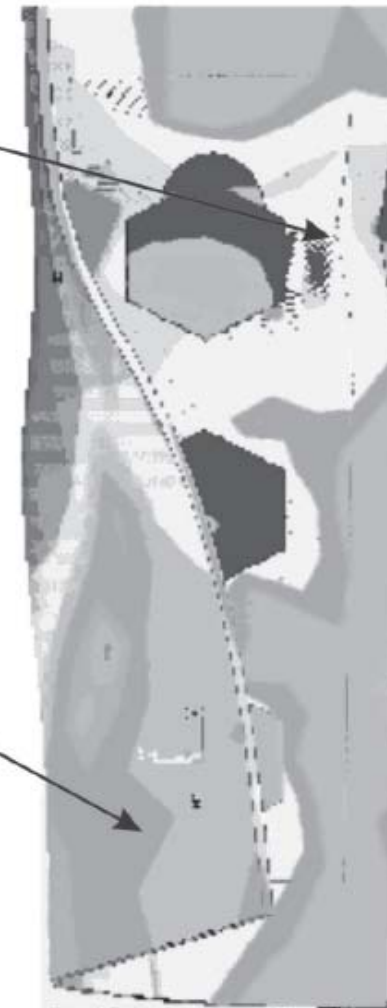
Tipo de furo (ver 7.3.4)	η_1	η_2
Furo padrão ou furo alongado na direção perpendicular de rasgamento	0,50	0
Furo alargado	0,72	0,12
Furo pouco alongado na direção de rasgamento	0,83	0,20
Furo muito alongado na direção de rasgamento ^(A)	1,94 para $d \leq 40$	0,75
	2,0 para $d > 40$	

Verificação na chapa devido à presença de furos

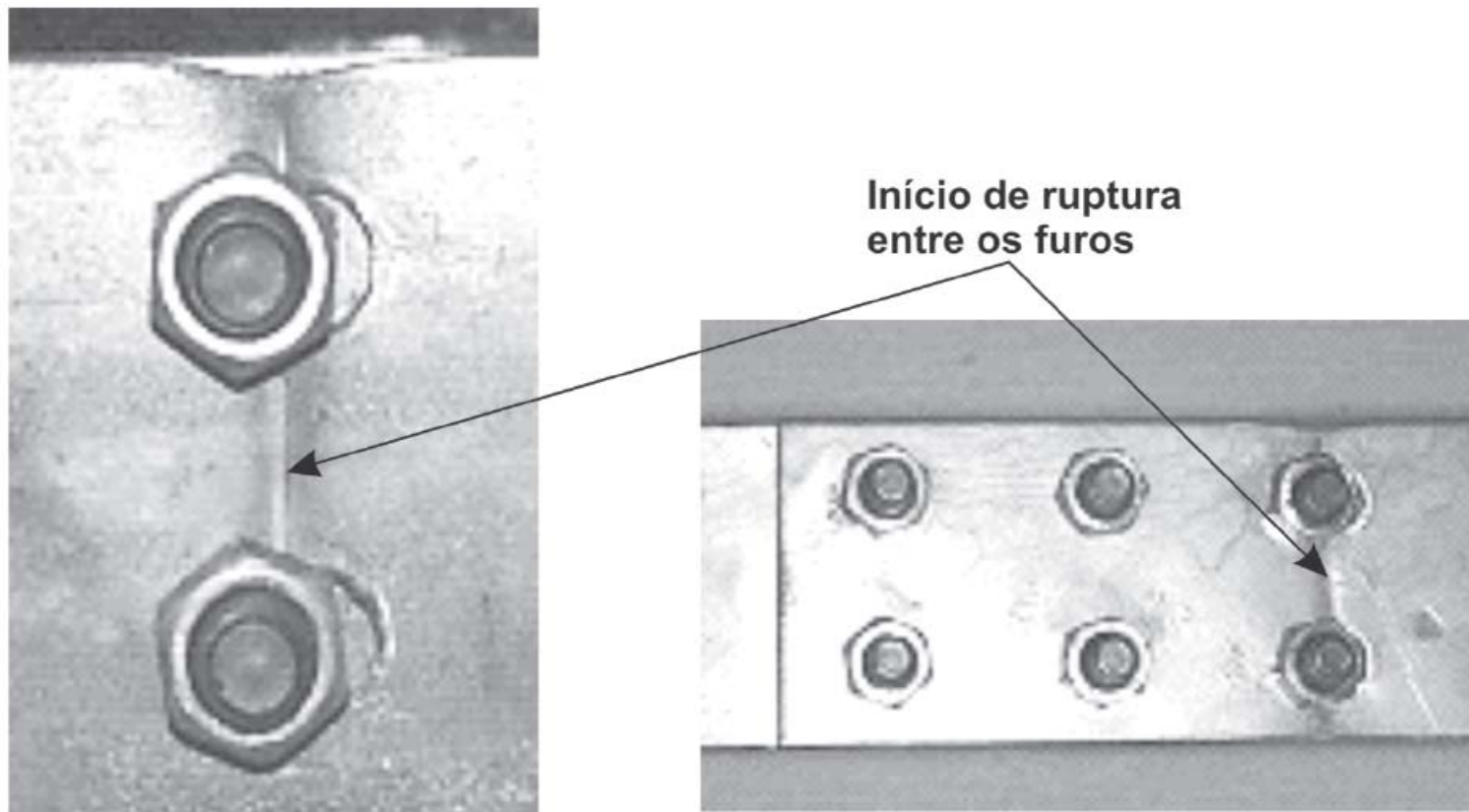


*Ruptura da ligação
entre furo e borda e,
estricção da aba*

*Deformação da aba,
não conectada, da
cantoneira*



Verificação na chapa devido à presença de furos



Ref: "Análise numérica de ligações parafusadas em chapas finas e em perfis formados a frio", Rezende, P. G.; Neto, J. M.; Malite M., Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 27, n. 1, p. 23-37, jan./jun. 2006

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

RESISTÊNCIA DE CÁLCULO À PRESSÃO DE CONTATO NA PAREDE DO FURO EM kN POR mm DE ESPESSURA DE CHAPA RASGAMENTO ENTRE 2 FUROS d em polegadas s em mm														
d $f_y = 250 \text{ MPa}$ $f_u \geq 400 \text{ MPa}$								$f_y = 345 \text{ MPa}$ $f_u \geq 485 \text{ MPa}$						
s	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/8"	1 1/4"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/8"	1 1/4"
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	8,60	-	-	-	-	-	-	10,42	-	-	-	-	-	-
40	9,14	-	-	-	-	-	-	11,09	-	-	-	-	-	-
45	9,14	11,11	-	-	-	-	-	11,09	13,48	-	-	-	-	-
50	9,14	11,43	12,14	-	-	-	-	11,09	13,86	14,72	-	-	-	-
55	9,14	11,43	13,64	13,17	-	-	-	11,09	13,86	16,54	15,96	-	-	-
60	9,14	11,43	13,72	14,67	-	-	-	11,09	13,86	16,63	17,78	-	-	-
65	9,14	11,43	13,72	16,00	15,69	-	-	11,09	13,86	16,63	19,40	19,02	-	-
70	9,14	11,43	13,72	16,00	17,19	-	-	11,09	13,86	16,63	19,40	20,84	-	-
75	9,14	11,43	13,72	16,00	18,29	18,21	-	11,09	13,86	16,63	19,40	22,17	22,03	-
80	9,14	11,43	13,72	16,00	18,29	19,71	-	11,09	13,86	16,63	19,40	22,17	23,90	-
85	9,14	11,43	13,72	16,00	18,29	20,57	20,74	11,09	13,86	16,63	19,40	22,17	24,95	25,14
90	9,14	11,43	13,72	16,00	18,29	20,57	22,24	11,09	13,86	16,63	19,40	22,17	24,95	26,96

Ref: "Ligações em Estruturas Metálicas", Instituto Brasileiro de Siderurgia, IBS/CBCA, 2004.

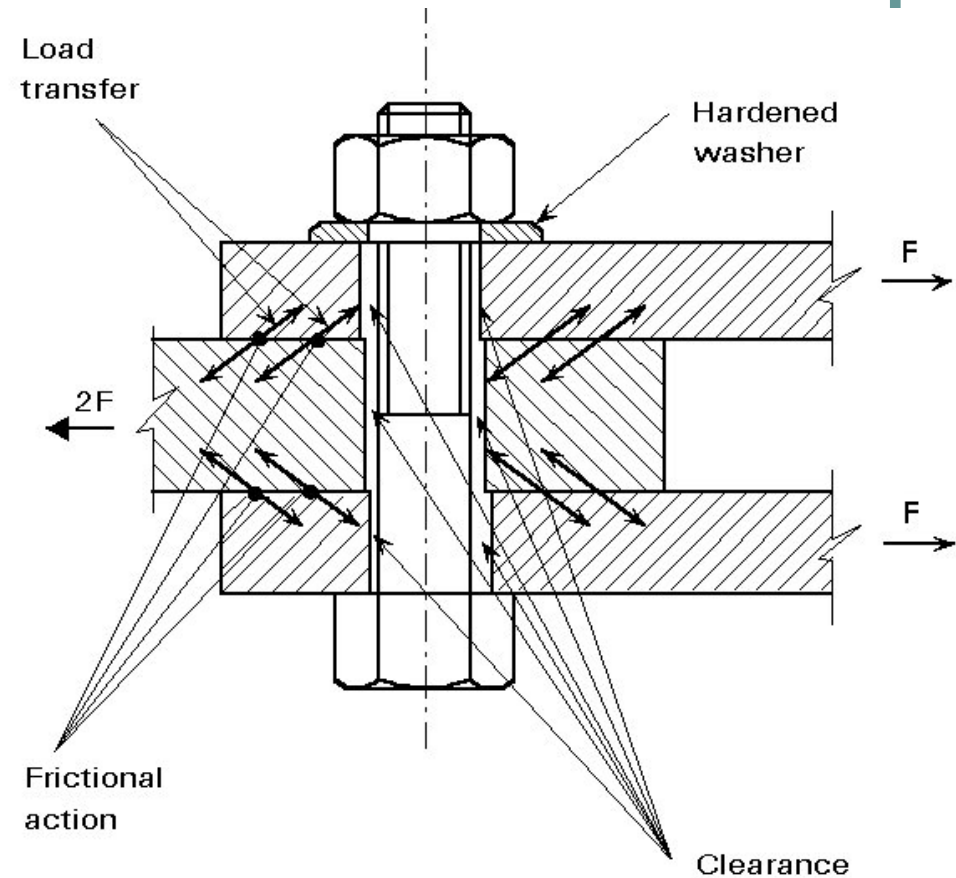
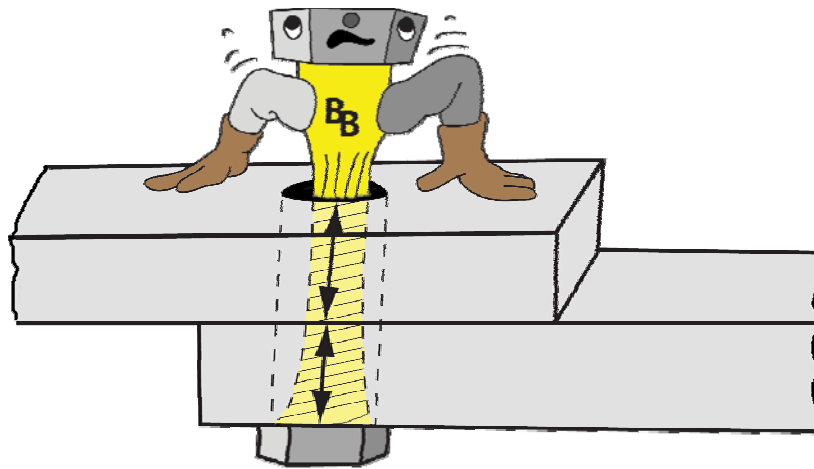
LIGAÇÕES PARAFUSADAS

RESISTÊNCIA DE CÁLCULO À PRESSÃO DE CONTATO NA PAREDE DO FURO EM kN POR mm DE ESPESSURA DE CHAPA RASGAMENTO ENTRE FURO E BORDA d em polegadas e em mm														
d $f_y = 250 \text{ MPa}$ $f_u \geq 400 \text{ MPa}$								$f_y = 345 \text{ MPa}$ $f_u \geq 485 \text{ MPa}$						
e	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/8"	1 1/4"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/8"	1 1/4"
20	6,00	-	-	-	-	-	-	7,28	-	-	-	-	-	-
25	7,50	7,50	-	-	-	-	-	9,10	9,10	-	-	-	-	-
30	9,00	9,00	9,00	9,00	-	-	-	10,91	10,91	10,91	10,91	-	-	-
35	9,14	10,50	10,50	10,50	10,50	-	-	11,09	12,73	12,73	12,73	12,73	-	-
40	9,14	11,43	12,00	12,00	12,00	12,00	-	11,09	13,86	14,55	14,55	14,55	14,55	-
45	9,14	11,43	13,50	13,50	13,50	13,50	13,50	11,09	13,86	16,37	16,37	16,37	16,37	16,37
50	9,14	11,43	13,72	15,00	15,00	15,00	15,00	11,09	13,86	16,63	18,19	18,19	18,19	18,19
55	9,14	11,43	13,72	16,00	16,50	16,50	16,50	11,09	13,86	16,63	19,40	20,00	20,00	20,00
60	9,14	11,43	13,72	16,00	18,00	18,00	18,00	11,09	13,86	16,63	19,40	21,83	21,83	21,83
65	9,14	11,43	13,72	16,00	18,29	19,19	19,19	11,09	13,86	16,63	19,40	22,17	23,64	23,64
70	9,14	11,43	13,72	16,00	18,29	19,19	21,00	11,09	13,86	16,63	19,40	22,17	24,95	25,46
75	9,14	11,43	13,72	16,00	18,29	19,19	22,50	11,09	13,86	16,63	19,40	22,17	24,95	27,28
80	9,14	11,43	13,72	16,00	18,29	19,19	22,86	11,09	13,86	16,63	19,40	22,17	24,95	27,72

Ref: "Ligações em Estruturas Metálicas", Instituto Brasileiro de Siderurgia, IBS/CBCA, 2004.

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

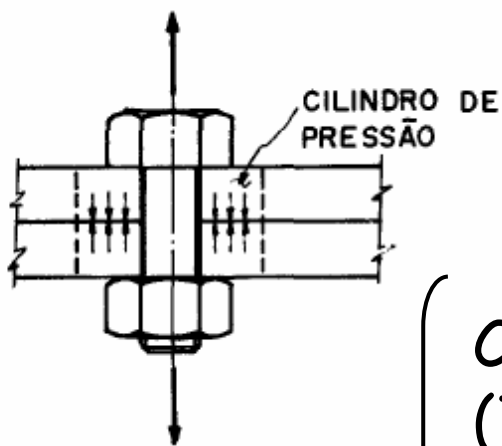
Ligações por atrito:



Ref: Apresentação Comercial do Fabricante "Parafusos Ciser", Valdecir Furtado, 2007.

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Ligações por atrito:



Controle de torque

Chave de torque calibradora
(Torquímetro)

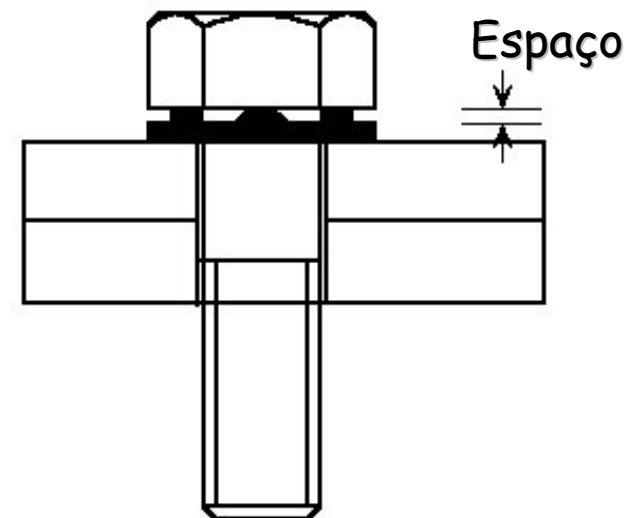
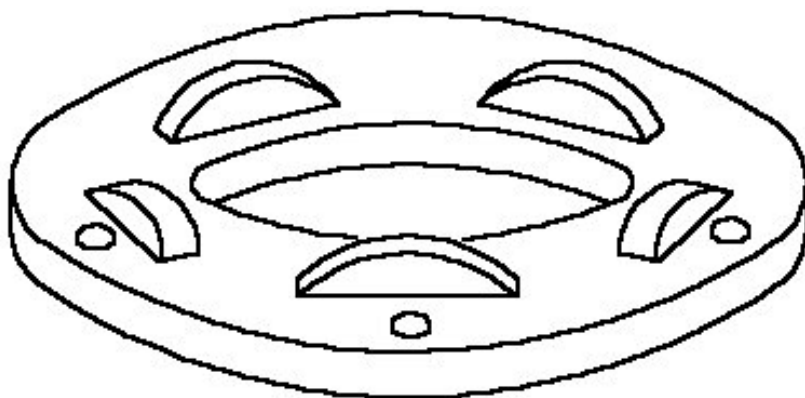
Arruela com indicador de carga

Parafuso com controle de tensão

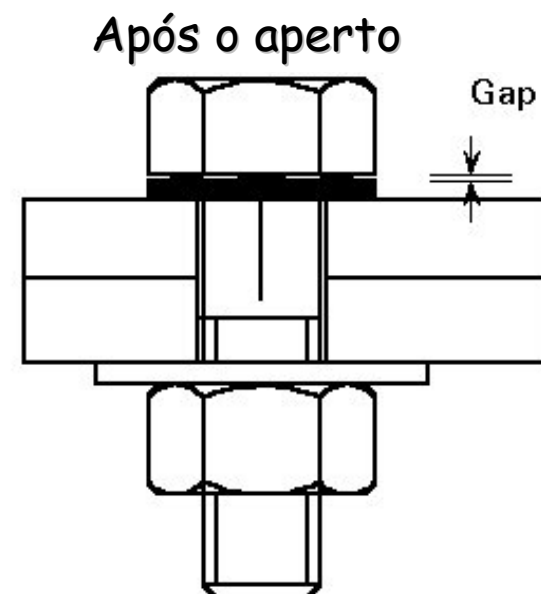


LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Arruela com indicador de carga

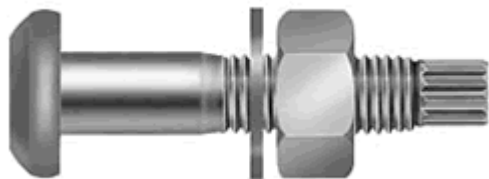


Antes do aperto

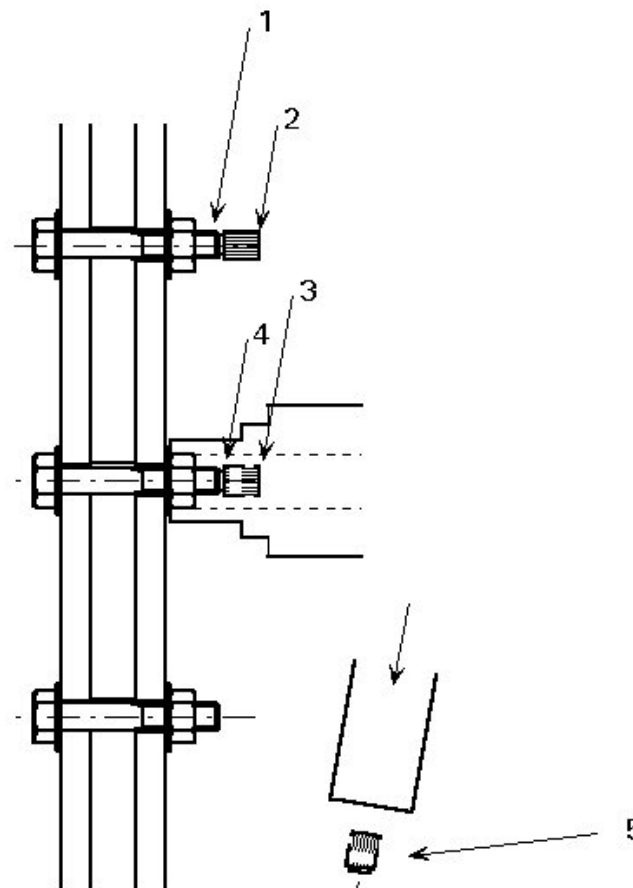


LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Parafuso com controle de tensão



**Conjunto ASTM A 325 TC
com Controlador de Tensão**



Estágios do aperto

Ref: Apresentação Comercial do Fabricante "Parafusos Ciser", Valdecir Furtado, 2007.

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Ligações por atrito:

- ⇒ Parafusos de alta resistência
- ⇒ Superfícies de contato atendendo condições Tab.15 / NBR-8800
- ⇒ As exigências de ligação por contato tem que satisfeitas
- ⇒ Verificação da “*Resistência ao Deslizamento*”

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Resistência de cálculo em ligações por atrito (item 7.3.3)

Resistência ao Deslizamento:

$$\phi_v R_{nv} = \mu \xi (T_b - T)$$

$\phi_v = 1$ (compara-se às ações nominais, **sem majoração**)

$\mu \equiv$ coef de atrito $\cong 0,28$ (Tab.15)

$\xi \equiv$ fator red. tipo furo = $\begin{cases} 1,00 - \text{furo padrão} \\ \text{outros casos ver item 7.3.3.2} \end{cases}$

$T_b \equiv$ força mínima de protensão no parafuso (Tab.19)

$T \equiv$ força de tração no parafuso, sem majoração de cargas
(carga permanente multiplicada por 0,75, se for mais desfavorável)

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Resistência ao Deslizamento:

T_b

FORÇA DE PROTENSÃO MÍNIMA
EM PARAFUSOS DE ALTA RESISTÊNCIA

$(0,70 A_r f_u)$

DIÂMETRO DO PARAFUSO	FORÇA DE PROTENSÃO MÍNIMA (kN)	
	ASTM A-325	ASTM A-490
1/2"	53	66
5/8"	85	106
3/4"	125	156
7/8"	173	216
1"	227	283
1 1/8"	250	357
1 1/4"	317	453
1 1/2"	460	659

Notas:

- 1 - Os parafusos de alta resistência devem ser apertados de forma a se obter uma força de protensão adequada a cada diâmetro e tipo de parafuso usado, independente da ligação ser por atrito ou por contato.

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Espaçamentos (itens 7.3.6 à 7.3.8)

Espaçamento mínimo entre furos:

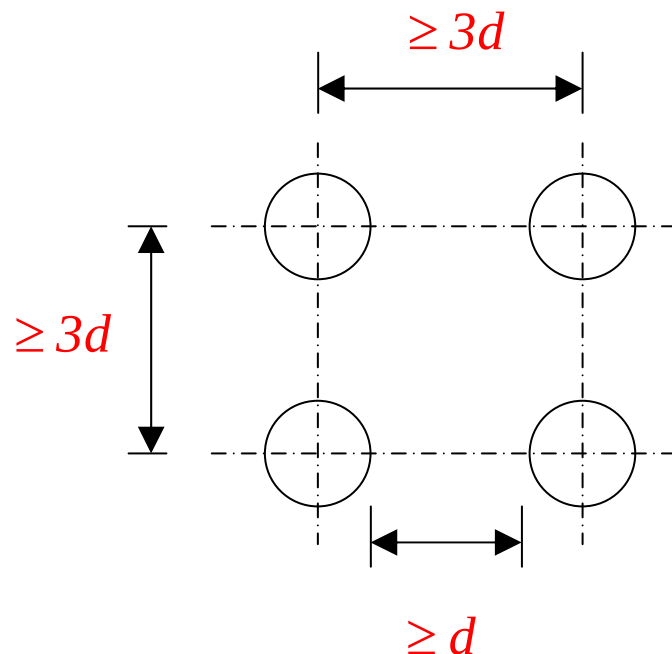


Tabela 18 - Distância mínima do centro de um furo padrão à borda^(A)

Diâmetro d		Borda cortada com serra ou tesoura (mm)	Borda laminada ou cortada a maçarico ^(B) (mm)
ASTM	ISO		
1/2"	M 12	21	18
5/8"	M 16	22	19
3/4"		29	22
	M 20	32	26
7/8"	M 22	35 ^(C)	27
	M 24	38 ^(C)	29
1"		42	31
		44	32
1 1/8"	M 27	50	38
	M 30	53	39
1 1/4"		57	41
	M 33	58	42
>1 1/4"	>M 33	1,75d	1,25d

^(A) Para furos alargados ou alongados, ver 7.3.7.2.

^(B) As bordas cortadas a maçarico devem ser lisas e isentas de entalhes.

^(C) Nas extremidades de cantoneiras de ligação de vigas, esta distância pode ser igual a 32mm.

7.3.8 Distância máxima às bordas

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

ELEMENTOS DE LIGAÇÕES (Item 7.5)

Colapso por Rasgamento (Item 7.5.3.2)

Rasgamento por Ruptura da Seção Líquida:

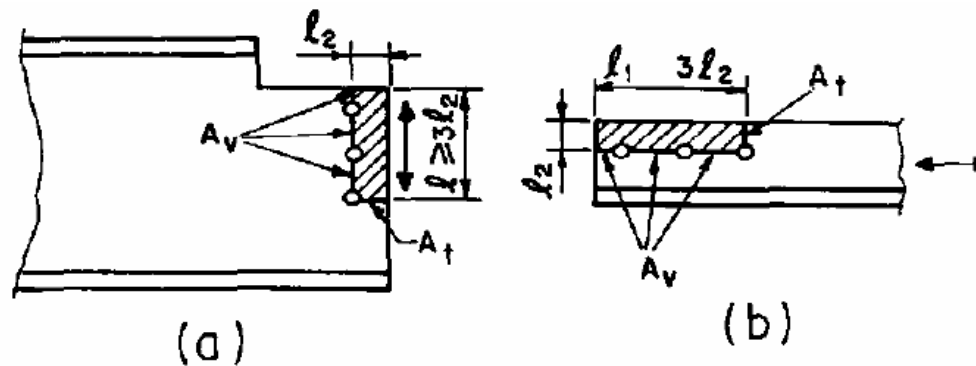


Fig. 11 NBR 8800 – Exemplos de colapso por rasgamento

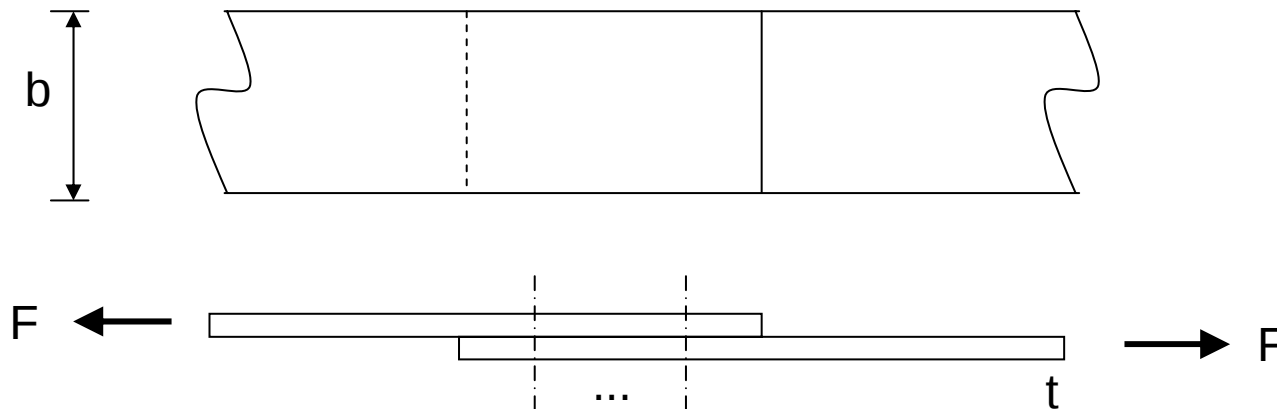
$$\phi R_{nv} = \begin{cases} \text{c) para ruptura por tensões normais} \\ \phi = 0,75 & R_n = f_u \\ \text{d) para ruptura por tensões de cisalhamento} \\ \phi = 0,75 & R_n = 0,6 f_u \end{cases} = 0,75 f_u (0,6 A_v + A_t)$$

(Item 7.5.3.1)

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

EXERCÍCIOS

1. Dimensionar a ligação parafusada entre duas chapas com $b=400\text{mm}$ e $t=12,5\text{mm}$ de aço AR-345 solicitadas com $Q=550\text{kN}$ de tração. Usar parafusos A-325 $d=3/4"$ em corte simples. Dimensionar uma ligação “por contato” e outra “por atrito”.



LIGAÇÕES PARAFUSADAS

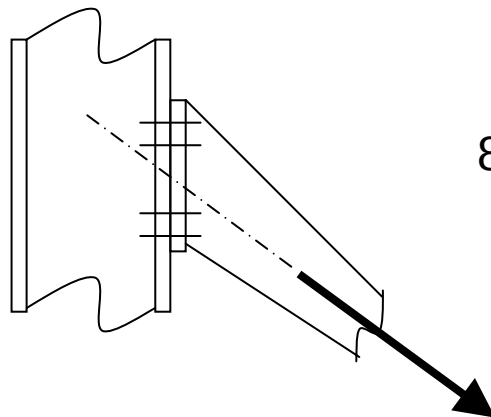
EXERCÍCIOS

2. Verificar se a ligação parafusada abaixo é satisfatória se considerada:

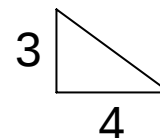
- “por contato”;
- “por atrito”.

$G=100\text{kN}$

$Q=300\text{kN}$



8 parafusos $d=3/4"$ A325



F

Considere:

- Roscas no plano de corte;
- Efeito de alavanca desprezível;
- Chapas espessas sem risco de esmagamento pelo parafuso;
- Não verificar a pressão de contato;

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

EXERCÍCIOS

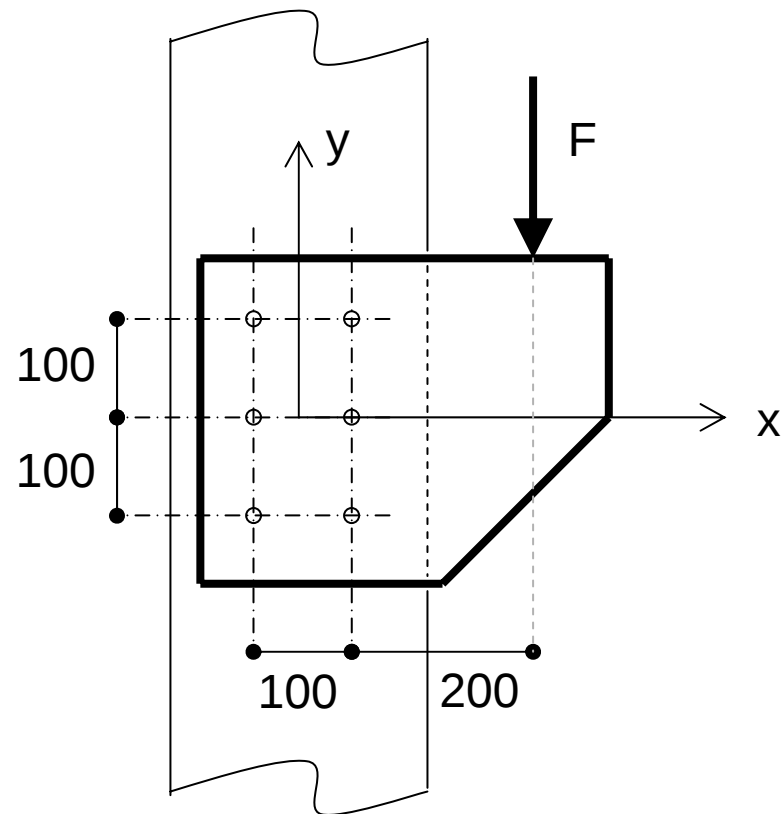
3. Verificar se a ligação parafusada de cisalhamento excêntrico apresentada abaixo é satisfatória.

6 parafusos $d=3/4"$ A325

$Q=80\text{kN}$

Considere:

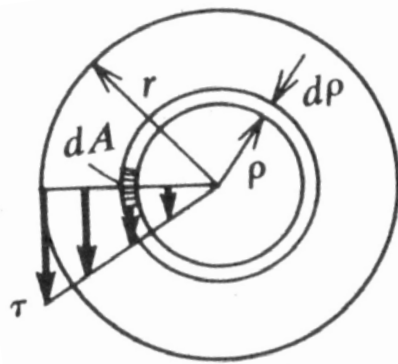
- Ligação por contato;
- Sem rosca no plano de corte;
- Corte simples.



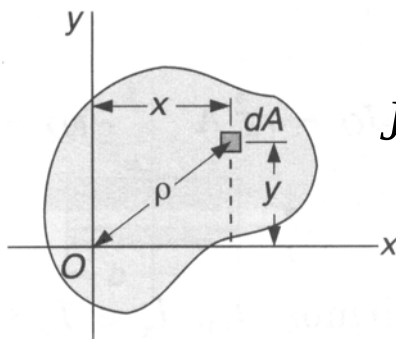
LIGAÇÕES PARAFUSADAS

EXERCÍCIOS

Observações sobre ligações de cisalhamento excêntrico:



$$\tau = \frac{T}{J} \rho$$



$$J_O = \int \rho^2 dA$$

$$F = \tau dA = \frac{T}{J} \rho dA = \frac{T \rho}{\sum r^2}$$

$$F_x = \frac{T \rho_x}{\sum r^2} \quad F_y = \frac{T \rho_y}{\sum r^2}$$

LIGAÇÕES PARAFUSADAS

EXERCÍCIOS

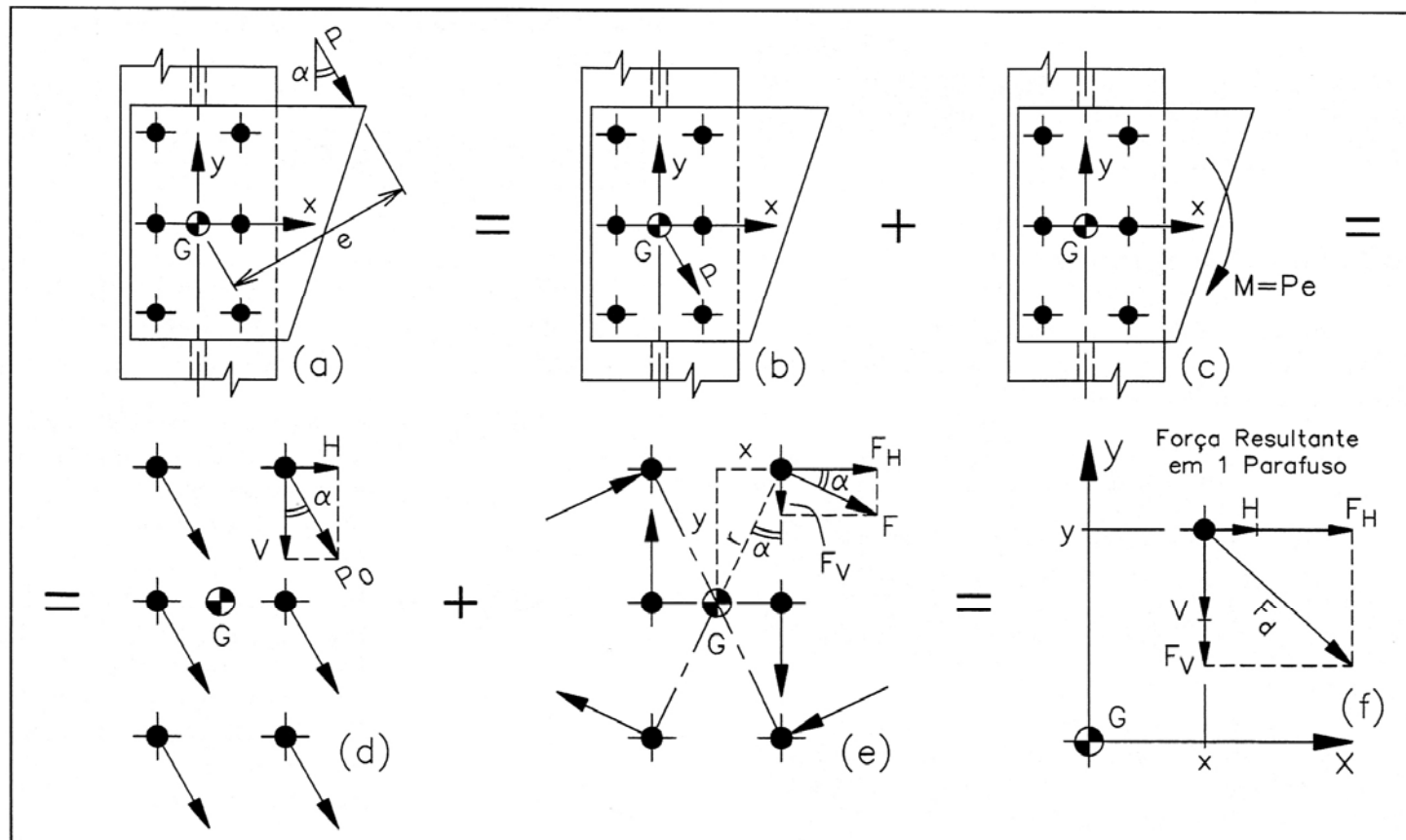


Figura 10.4
Ligação Excêntrica em Cisalhamento