



# Universidade Presbiteriana Mackenzie

ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL

## Capítulo XVII

### Ligações parafusadas

**Disciplinas:** *Estruturas Metálicas*  
**Prof. Dr** *Celso Antonio Abrantes*  
*Outubro - 2016*



# Universidade São Judas Tadeu

**ENGENHARIA CIVIL**

Capítulo XVII

Ligações parafusadas

**Disciplinas:** *Estruturas de Madeiras*

*Estruturas Metálicas*

**Prof. Dr** *Celso Antonio Abrantes*

*Outubro - 2016*

## Ligações:

### 1. Partes componentes

- **Elementos da ligação:** são os elementos a serem unidos.
- **Meios de ligação:** são os elementos usados para unir as peças.  
Ex.: rebites, parafusos e soldas.

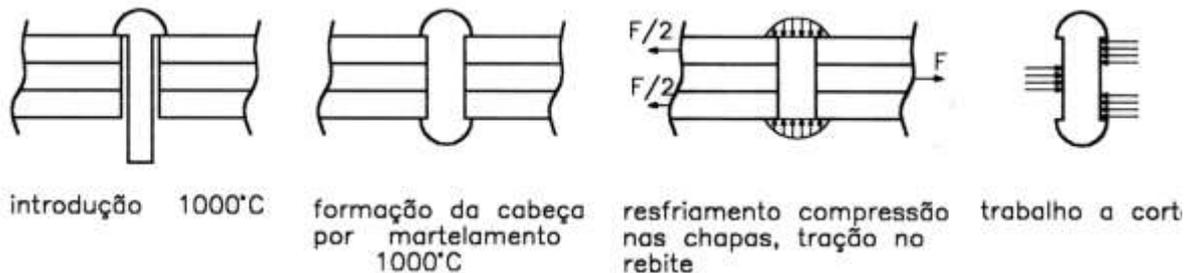
### 2. Ligações por conectores:

#### Há 3 tipos de conectores:

Rebites, parafusos comuns e parafusos de alta resistência.

#### 2.1: Rebites:

São conectores instalados a quente. A partir de 1950, foram substituídos por parafusos ou soldas.

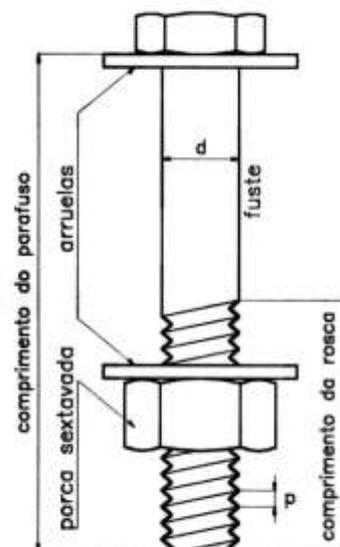


#### 2.2 Parafusos comuns:

São fabricados em aço carbono com rosca padronizada tipo métrica. No Brasil utiliza-se também a rosca padrão americano.

#### 2.3 Parafusos de alta resistência:

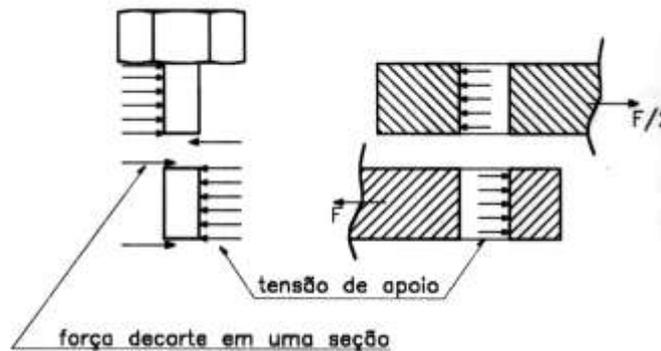
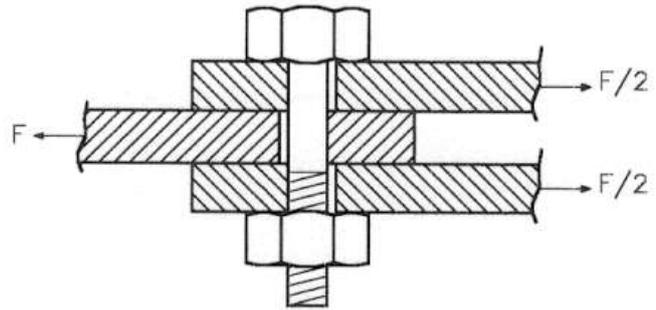
São fabricados com aços tratados termicamente. O esforço de protensão aplicado ao seu fuste pelo aperto da porca, gera forças resistentes de atrito entre as chapas da ligação.



**2.4 Formas de trabalho:**

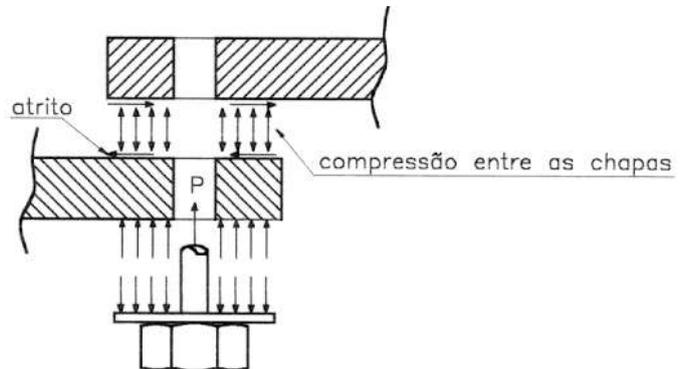
**2.4.1 Rebites e parafusos comuns:**

Trabalham a tensões de corte e tensões de apoio. Despreza-se o atrito entre as chapas, gerado pelo resfriamento do rebite ou aperto do parafuso.



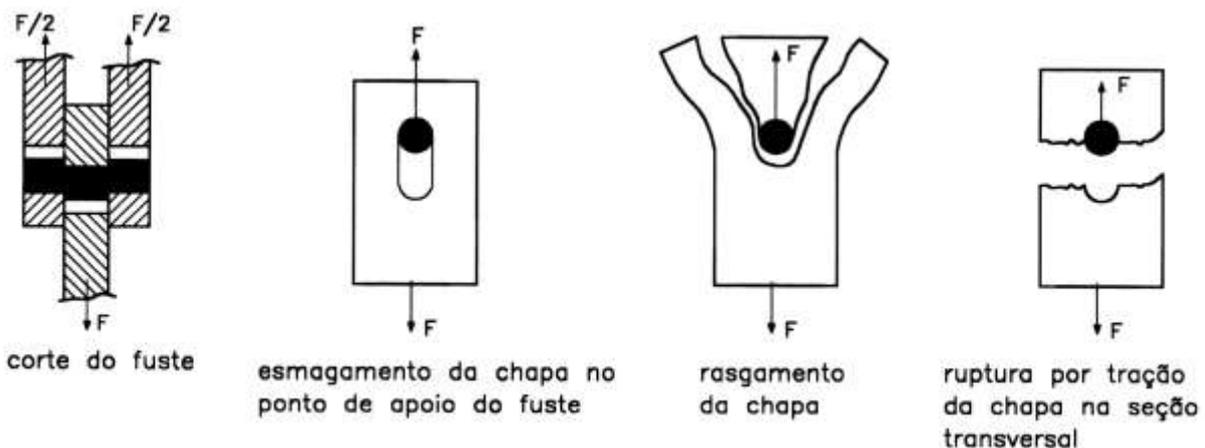
**2.4.2 Parafusos de alta resistência:**

Além de trabalharem a tensões de corte e tensões de apoio como os parafusos comuns, podem também trabalhar a esforços de tração axial mínimos, que garantem a transmissão de esforços por atrito entre as peças.



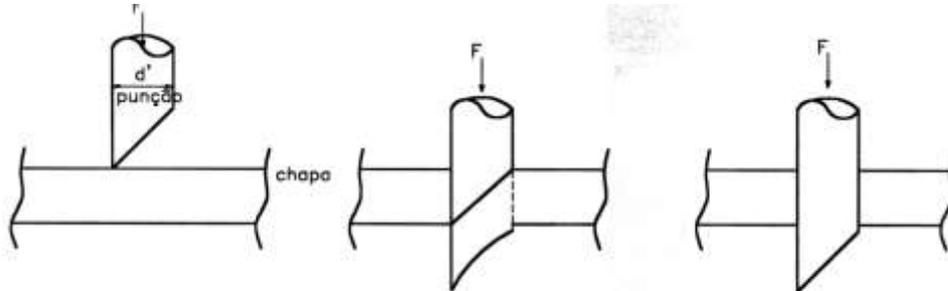
P = força de protensão no parafuso

**3. Tipos de ruptura em ligações com conectores:**



**4 Processo de furação**

A execução de furações é muito cara. Para baratear tal processo, é conveniente padronizar os espaçamentos e as dimensões dos furos. O processo de furação mais econômico é o punçionamento no diâmetro definitivo.

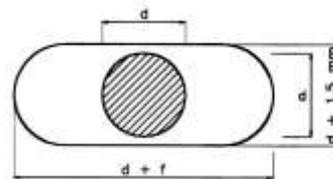


**5 Tipos de furos**

Furo padrão e alargado:



Furo alongado e muito alongado:



$d = d_b =$  diâmetro do conector  
 $d' = d_b + f =$  diâmetro do furo, onde  $f =$  folga

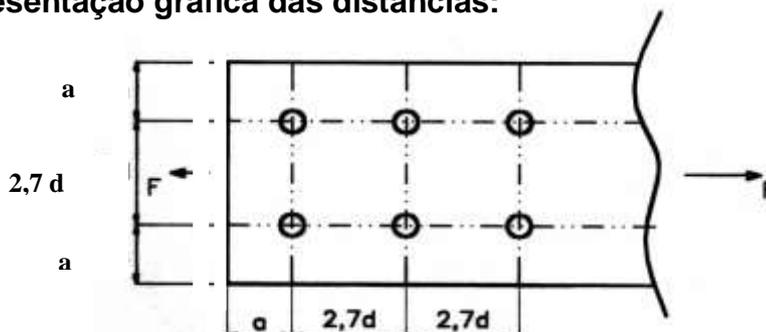
**5.1 Dimensões máximas de furos para parafusos e barras rosqueadas:**

(tabela 12 da NBR 8800-2008)

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

**5.2 Distâncias entre eixos de furos e entre eixos de furos e bordas das chapas**

**5.2.1 Representação gráfica das distâncias:**



### 5.2.2 Espaçamentos mínimos entre conectores

Entre eixos de parafusos:  $s = 2,7d_b$ , medido na linha de furação.  
(recomendável  $s = 3d_b$ ).

### 5.2.3 Distância mínima do centro de um furo padrão à borda (a) :

Não pode ser inferior ao valor indicado na tabela 14 da NBR 8800-2008.

(tabela 14 da NBR 8800-2008)

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

1) São permitidas distâncias inferiores às desta Tabela, desde que a equação aplicável de 6.3.3 seja satisfeita.

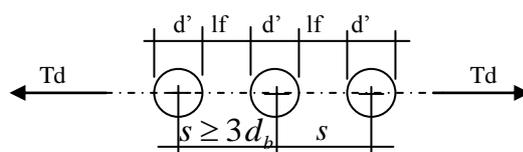
2) Nesta coluna, as distâncias podem ser reduzidas de 3 mm, quando o furo está em um ponto onde a força solicitante de cálculo não exceda 25% da força resistente de cálculo.

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

### 5.2.4 Distância máxima do centro de um furo padrão à borda:

$a \leq 12 t$  onde  $t$  = espessura da chapa  
ou  
 $a \leq 150$  mm

### 5.2.5 Distância entre bordas de furos padrão:



$$l_f \geq d_b$$

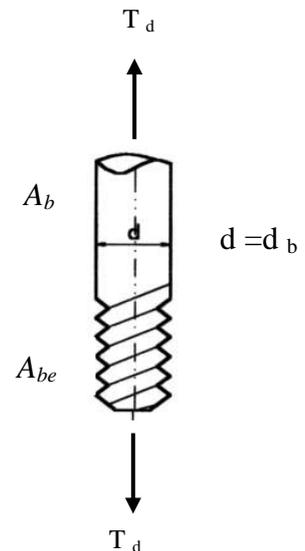
## 6. Resistências de Cálculo

### 6.1 Resistência de cálculo a tração axial (Segundo 6.3.3.1 da NBR 8800-2008) :

E.L. nº 1: escoamento da seção bruta:

$$F_{Rd,t} = \frac{A_g f_{yb}}{\gamma_{a1}} = \frac{A_b f_{yb}}{\gamma_{a1}}$$

onde:  $A_g = A_b = 0,25 \pi d_b^2 =$  área bruta  
 $f_{yb} =$  tensão de escoamento



E.L.nº 2: Ruptura da parte rosqueada:

$$F_{Rd,t} = \frac{A_{be} f_{ub}}{\gamma_{a2}} \leq \frac{A_b f_{yb}}{\gamma_{a1}}$$

onde:  $A_{be} = 0,75 A_b =$  área líquida  
 $f_{ub} =$  tensão de ruptura

### 6.2 Resistência de cálculo a cisalhamento (Segundo 6.3.3.2 da NBR 8800-2008) :

- a) Para parafusos de alta resistência e barras redondas rosqueadas, quando o plano de corte passa pela rosca;  
 Para parafusos comuns em qualquer situação.

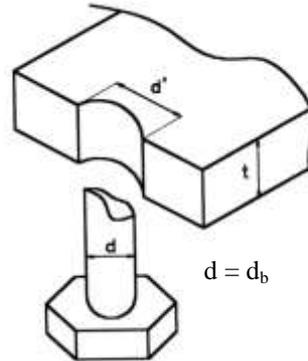
$$F_{Rd,v} = \frac{0,4 A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

- b) Para parafusos de alta resistência e barras redondas rosqueadas, quando o plano de corte não passa pela rosca;

$$F_{Rd,v} = \frac{0,5 A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

### 6.3 Resistência a pressão de contato nas paredes de um furo:

A força resistente a pressão de contato na parede de um furo, já levando em conta o rasgamento entre dois furos consecutivos ou entre um furo e a borda, é dado por:



a) No caso de furos padrão, furos alargados, furos pouco alongados em qualquer direção e furos muito alongados nas direção da força:

a-1) Quando a deformação no furo para forças de serviço for uma limitação de projeto

$$F_{Rd,c} = 1,2 \frac{l_f t f_u}{\gamma_{a2}} \leq 2,4 \frac{d_b t f_u}{\gamma_{a2}}$$

a-2) Quando a deformação no furo para forças de serviço não for uma limitação de projeto

$$F_{Rd,c} = 1,5 \frac{l_f t f_u}{\gamma_{a2}} \leq 3,0 \frac{d_b t f_u}{\gamma_{a2}}$$

b) No caso de furos muito alongados na direção perpendicular à força:

$$F_{Rd,c} = 1,0 \frac{l_f t f_u}{\gamma_{a2}} \leq 2,0 \frac{d_b t f_u}{\gamma_{a2}}$$

onde:  $l_f$  = distância livre, na direção da força, entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a borda da parte ligada,

$d_b$  = diâmetro do parafuso;

$t = t_{min}$  = menor espessura da parte ligada;

$f_u$  = resistência a ruptura do aço da parede. do furo.

#### 6.4 Tração e cisalhamento combinados:

Além das verificações a esforços de tração e força cortante isoladas (itens 6.3.3.1 e 6.3.3.2 da NBR 8800-2008), o parafuso ou barra rosqueada submetida a tal combinação, deve também atender as exigências abaixo:

##### 6.4.1 Equação de interação para a ação simultânea de tração e cisalhamento;

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

onde:  $F_{Sd,t}$  é a força de tração solicitante de cálculo por parafuso ou barra redonda rosqueada;

$F_{Sd,v}$  é a força de cisalhamento solicitante de cálculo no plano considerado do parafuso ou barra redonda rosqueada;

$F_{Rd,t}$  e  $F_{Rd,v}$  são dados respectivamente em 6.3.3.1 e 6.3.3.2 da NBR 8800-2008.

##### 6.4.2 Exigências alternativas ao uso da equação de interação (item 6.3.3.4 , tabela 11 da NBR 8800-2010)

Tabela 11 da NBR 8800-2010

Meio de ligação:	Limitação adicional do valor da força de tração solicitante de cálculo por parafuso ou barra redonda rosqueada <sup>1)</sup>
Parafusos ASTM A307	$F_{Sd,t} \leq \frac{f_{ub} A_b}{\gamma_{a2}} - 1,90 F_{Sd,v}$
Parafusos ASTM A325	$F_{Sd,t} \leq \frac{f_{ub} A_b}{\gamma_{a2}} - 1,90 F_{Sd,v}$ <sup>2)</sup>
Parafusos ASTM A490	$F_{Sd,t} \leq \frac{f_{ub} A_b}{\gamma_{a2}} - 1,50 F_{Sd,v}$ <sup>3)</sup>
Parafusos ASTM A490	$F_{Sd,t} \leq \frac{f_{ub} A_b}{\gamma_{a2}} - 1,90 F_{Sd,v}$ <sup>2)</sup>
Barras rosqueadas em geral	$F_{Sd,t} \leq \frac{f_{ub} A_b}{\gamma_{a2}} - 1,50 F_{Sd,v}$
<sup>1)</sup> $f_{ub}$ é a resistência a ruptura do material do parafuso ou barra rosqueada especificada no Anexo A; $A_b$ é a área bruta, baseada no diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada, $d_b$ dada em 6.3.2.2, e $F_{Sd,v}$ é a força de cisalhamento solicitante de cálculo no plano considerado do parafuso ou barra rosqueada. <sup>2)</sup> Plano de corte passa pela rosca. <sup>3)</sup> Plano de corte não passa pela rosca.	

## 7 Materiais usados em parafusos e barras redondas rosqueadas

As especificações indicadas na tabela 23 são aplicáveis a parafusos e a barras redondas rosqueadas usadas como tirantes ou como chumbadores.

Elementos fabricados de aço temperado não devem ser soldados, nem aquecidos para facilitar a montagem.

Tabela A.3 da NBR 8800/2008

Especificação	$f_{yb}$ (MPa)	$f_{ub}$ (MPa)	Diâmetro $d_b$	
			mm	pol
ASTM A 307	-	415	-	$1/2 \leq d_b \leq 4$
ISO 898-1 Classe 4.6	235	400	$12 < d_b \leq 36$	-
ASTM A 325 <sup>1)</sup>	635	825	$16 \leq d_b \leq 24$	$1/2 \leq d_b \leq 1$
	560	725	$24 < d_b \leq 36$	$1 < d_b \leq 1 1/2$
ISO 4016 Classe 8.8	640	800	$12 < d_b \leq 36$	-
ASTM A 490	895	1035	$16 \leq d_b \leq 36$	$1 \leq d_b \leq 1 1/2$
ISO 4016 Classe 10.9	900	1000	$12 \leq d_b \leq 36$	-

<sup>1)</sup> Disponíveis também com resistência à corrosão atmosférica comparável à dos aços AR350 COR ou à dos aços ASTM A 588.

## 8 Efeito de alavanca em parafusos e barras redondas rosqueadas (item 6.3.5 da NBR).

Nota: O texto abaixo é cópia do item 6.3.5 da NBR 8800-2008.

### 8.1 Cópia do item 6.3.5.1 NBR 8800-2008.

Na determinação da força de tração solicitante de cálculo em parafusos ou barras redondas rosqueadas, deve-se levar em conta o efeito de alavanca, produzido pelas deformações das partes ligadas (Figura 17).

### 8.2 Cópia do item 6.3.5.2 NBR 8800-2008.

Caso não se façam análises mais rigorosas, pode-se considerar que o efeito de alavanca tenha sido adequadamente considerado se for atendida pelo menos uma das exigências a seguir:

- Na determinação das espessuras das partes ligadas ( $t_1$  e  $t_2$  – ver Figura 17), for empregado o momento resistente plástico ( $Zf_y$ ) e a força de tração resistente de cálculo dos parafusos ou barras redondas rosqueadas for reduzida em 33%;

- b) Na determinação das espessuras das partes ligadas ( $t_1$  e  $t_2$  – ver Figura 17), for empregado o momento resistente elástico ( $Wf_y$ ) e a força de tração resistente de cálculo dos parafusos ou barras redondas rosqueadas for reduzida em 25%;

Adicionalmente, a dimensão  $a$  não pode ser inferior à dimensão  $b$  (Figura 17).

Ao se determinarem as espessuras das chapas das partes ligadas, deve-se tomar a força atuante em um parafuso e a sua largura de influência na chapa,  $p$ , obtida conforme na figura 17.

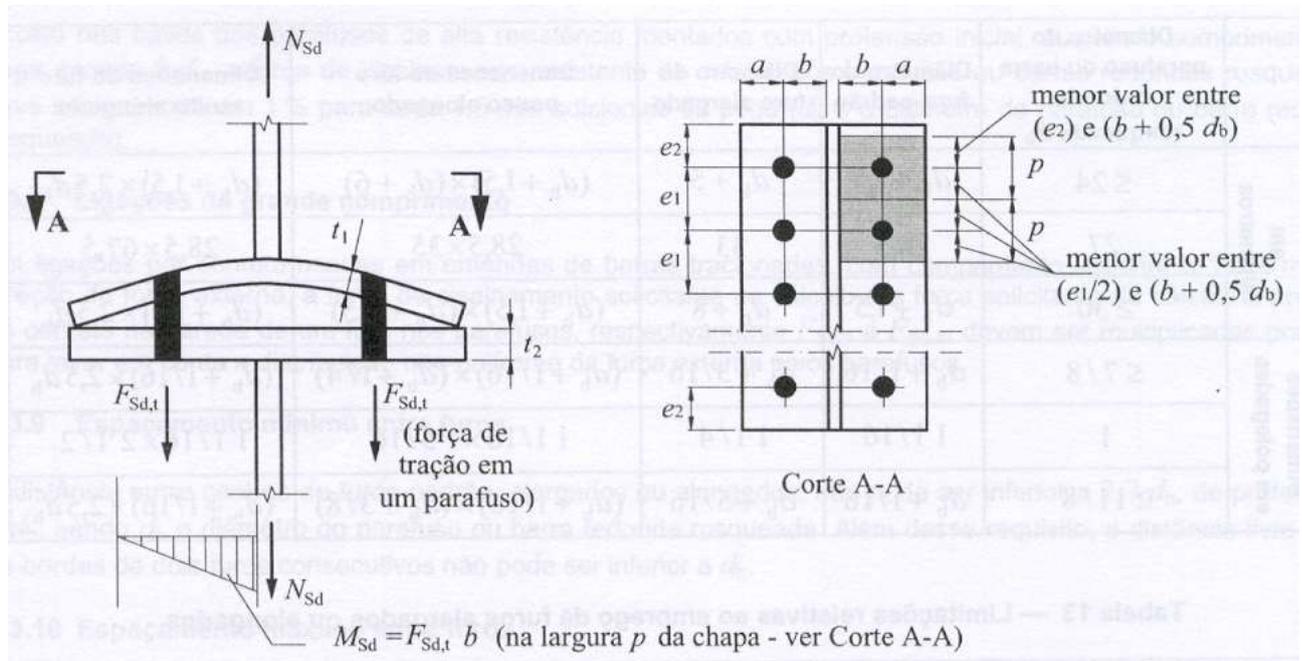


Figura 17 da NBR 8800-2008 – Efeito e alavanca

**9. Exercícios resolvidos:**

**Assunto:** Tração axial em parafusos ou barras redondas rosqueadas.

**9.1** Para o tirante de ferro redondo ao lado, pede-se:

- Determinar a máxima combinação das ações de cálculo entre as ações nominais  $N_{G,K}$  e  $N_{Q,K}$ , axiais de tração, para o dimensionamento em estados limites últimos.
- Verificar a suficiência a tração axial do mesmo, para a combinação das ações de cálculo determinada no item anterior.

Dados:

- Aço ASTM A-36
- Diâmetro nominal da barra:  $d = 7/8"$
- Ações axiais nominais, situação normal:  
 $N_{G,K} = 20$  kN (peso próprio de elementos construtivos com adição *in loco*);  
 $N_{Q,K} = 50$  kN (sobrecarga de uso)
- Adotar  $1" = 25,4$  mm.

**Solução:**

$$a) F_{Sd,t} = \gamma_G \cdot N_{G,K} + \gamma_Q \cdot N_{Q,K} = 1,4 \cdot 20 + 1,5 \cdot 50$$

$$F_{Sd,t} = 103,0 \text{ kN}$$

E.L. nº 1: Escoamento da seção bruta:

$$d_b = 7/8" = (7/8) \cdot 25,4 = 22,2 \text{ mm} = 2,22 \text{ cm}$$

$$A_b = 0,25 \pi d_b^2 = 0,25 \pi 2,22^2 = 3,88 \text{ cm}^2$$

$$F_{Rd,t} = \frac{A_g f_{yb}}{\gamma_{a1}} = \frac{A_b f_{yb}}{\gamma_{a1}} = \frac{3,88 \cdot 25}{1,1} \Rightarrow F_{Rd,t} = 88,18 \text{ kN}$$

E.L. nº 2: Ruptura da parte rosqueada:

$$A_{be} = 0,75 A_b = 0,75 \times 3,88 = 2,91 \text{ cm}^2$$

$$F_{Rd,t} = \frac{A_{be} f_{ub}}{\gamma_{a2}} = \frac{2,91 \cdot 40}{1,35} = 86,22 \text{ kN} < \frac{A_b f_y}{\gamma_{a1}} = 88,18 \text{ kN} \Rightarrow F_{Rd,t} = 86,22 \text{ kN}$$

Portanto adota-se o mais desfavorável:  $F_{Rd,t} = 86,22$  kN (o menor)

Conclusão: Como  $F_{Sd,t} = 103,0$  kN >  $F_{Rd,t} = 86,22$  kN, rejeita-se a seção.

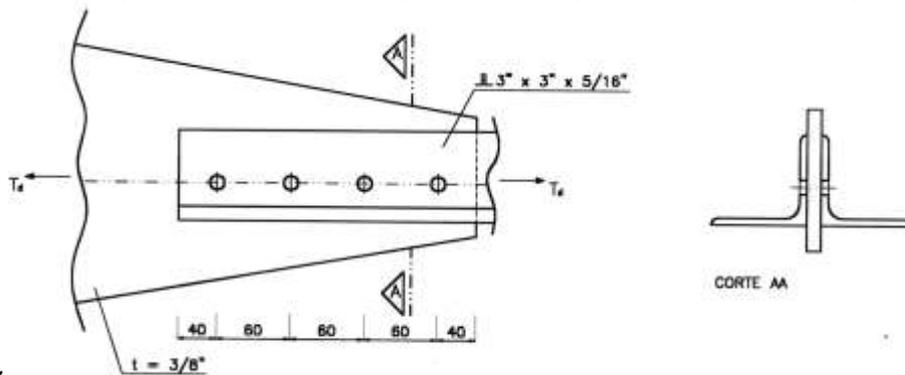
**Assunto:** Parafusos sujeitos a força cortante.

**9.2** Para a ligação parafusada abaixo esquematizada, pede-se:

- Verificar a sua suficiência para a ação da carga axial  $T_d$ , combinação de cálculo das ações características permanente (G) e sobrecarga (Q), considerando quatro parafusos;
- Reprojetar e desenhar a ligação abaixo, para a ação da solicitação  $T_d$ .

Dados:

- Chapa do nó e cantoneiras em aço ASTM A-36, bordas laminadas;
- Ações características atuantes no CG da barra:  $G = 150$  kN,  $Q = 230$  kN;
- Combinação de cálculo:  $T_d = \gamma_g G + \gamma_q Q$ , com  $\gamma_g = \gamma_q = 1,4$ ;
- Parafusos empregados: uma linha de furação para parafusos ASTM A-307 com rosca fora do plano de corte,  $d = \frac{3}{4}$ " e  $f_{ub} = 415$  Mpa;
- Furos do tipo padrão.
- A deformação no furo para forças de serviço não é uma limitação de projeto.



**a) Solução:**

- Diâmetro do furo padrão:  $d' = d_b + 1/16$ " (tabela 12)  
 $d' = (3/4" + 1/16") \cdot 25,4 = 20,6$  mm
- Combinações das ações de cálculo:  
 $T_d = 1,4 \cdot 150 + 1,4 \cdot 230 = 532$  kN

3) Resistência de cálculo:

$$3.1) \text{ Pressão de contato: } F_{Rd,c} = 1,5 \frac{l_f t f_u}{\gamma_{a2}} < 3,0 \frac{d_b t f_u}{\gamma_{a2}}$$

$$f_u = 400 \text{ MPa} = 40 \text{ kN/cm}^2 \text{ (aço ASTM A 36)}, \quad d_b = \frac{3}{4}" \approx 1,905 \text{ cm}$$

$$t_{\min} : \text{menor espessura} - t_{\text{chapa}} = t_1 = \frac{3}{8}" = 0,953 \text{ cm}$$

$$- t_{\text{cantoneira}} = t_2 = 2 \cdot \frac{5}{16}" = 1,590 \text{ cm (2 cantoneiras)}$$

Assim, menor  $t = t_{\text{chapa}} = 0,953$  cm,

$$l_f = 60 - d' = 60 - 20,6 = 39,4 \text{ mm} = 3,94 \text{ cm}$$

$$F_{Rd,c} = 1,5 \frac{3,94 \cdot 0,953 \cdot 40}{1,35} = 166,9 \text{ kN} > 3,0 \frac{1,905 \cdot 0,953 \cdot 40}{1,35} = 161,4 \text{ kN}$$

Adota-se:  $F_{Rd,c} = 161,4$  kN para cada parafuso.

3.2) Força cortante: (parafusos ASTM A 307, rosca fora de plano de corte)

$$d = 3/4" = (3/4) \cdot 25,4 = 19,05 \text{ mm} = 1,905 \text{ cm}$$

$$A_b = 0,25 \pi d_b^2 = 0,25 \pi 1,905^2 = 2,85 \text{ cm}^2$$

$$F_{Rd,v} = \frac{0,4 A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}} = \frac{0,4 \cdot 2,85 \cdot 41,5}{1,35} = 35,04 \text{ kN para 1 parafuso, 1 plano de corte.}$$

$$\text{Para 1 parafuso, 2 planos de corte: } F_{Rd,v} = 2 \cdot 35,04 = 70,08 \text{ kN}$$

3.3) Conclusão:

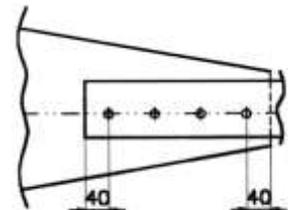
Mais desfavorável é a resistência à força cortante, com  $F_{Rd,v} = 70,08 \text{ kN}$

$$\text{Para 4 parafusos: } F_{Rd,v} = 4 \cdot 70,08 \quad \therefore \quad F_{Rd,v} = 280,32 \text{ kN}$$

Como  $T_d = 532 \text{ kN} > F_{Rd,v} = 280,32 \text{ kN}$ , não passa!

4) Disposições construtivas:

- parafusos com  $d = 3/4" = 1,905 \text{ cm}$ .
- distância entre eixos de furos padrão (item 6.3.9)  
Mínima =  $2,7 d = 2,7 \cdot 1,905 = 5,14 \text{ cm} < 6 \text{ cm} \therefore \text{OK}$  (tabela 12)
- distâncias dos centros dos furos às bordas da chapa e cantoneiras:
- distância mínima entre os centros dos furos e as bordas:  
condição:  $a \geq 26 \text{ mm}$  (borda laminada, tabela 14)  
como  $a = 40 \text{ mm} > 26 \text{ mm} \therefore \text{OK}$
- distância máxima entre os centros dos furos e as bordas: (item 6.3.12)  
 $a_{\text{máx}} = 150 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$ ,  $\therefore \text{OK}$   
ou  $a \leq 12 t$  - chapa:  $a = 4,0 \text{ cm} \leq 12 \cdot 0,953 = 11,44 \text{ cm} \therefore \text{OK}$   
- perfil:  $a = 4,0 \text{ cm} \leq 12 \cdot 0,790 = 9,48 \text{ cm} \therefore \text{OK}$
- distâncias entre bordas dos furos:  $U = 60 - 19 = 41 \text{ mm} > d_b \therefore \text{OK}$



**b) Solução:**

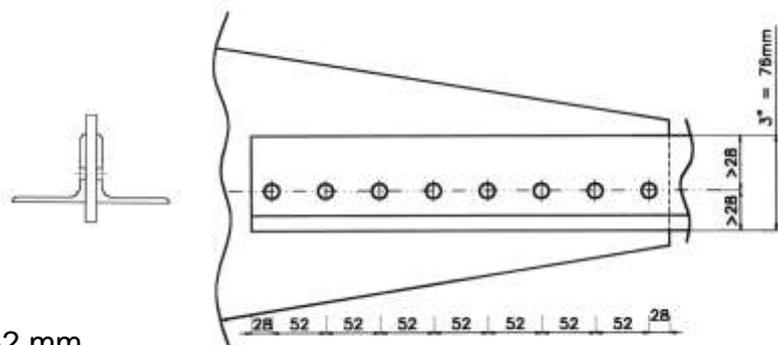
parafusos  $\phi 3/4"$ , ASTM A 307

$$n = \frac{T_d}{F_{Rd,v}} = \frac{532,0}{70,08} = 7,59 = 8$$

distâncias mínimas:

-entre eixos =  $2,7 \cdot 19 = 51,3 = 52 \text{ mm}$

-das bordas ao centro do furo:  $a = 26 \text{ mm}$  (tabela 14). Adotado  $a = 28 \text{ mm}$ .



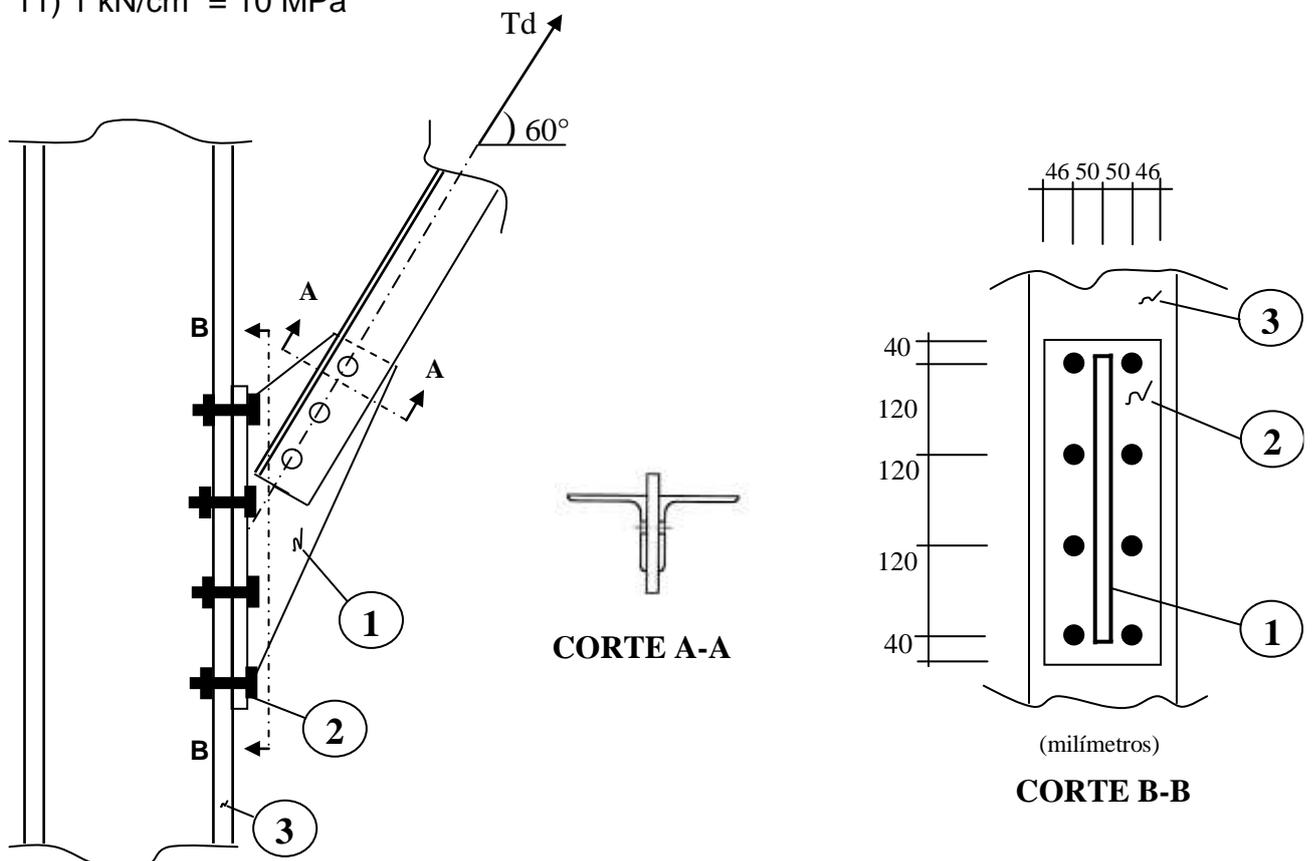
**Assunto:** tração e força cortante combinados.

**9.3** Na ligação abaixo, pede-se:

- Determinar o valor da máxima tração axial de cálculo "Td", em estados limites últimos, a ser aplicada no centro de gravidade da barra diagonal de contraventamento abaixo esquematizada, em função da resistência da ligação parafusada da mesma à chapa de ligação (1);
- Verificar a suficiência da ligação parafusada da chapa de ligação (2) à mesa da coluna (3), considerando a ação de uma carga axial de tração de cálculo  $T_d = 309,40$  kN, aplicada no centro de gravidade da barra.

Dados:

- Elementos da ligação em aço ASTM A-36 com:  $f_y = 250$  MPa e  $f_u = 400$  MPa ;
- Furos do tipo padrão; as deformações nos furos são limitantes do projeto;
- Parafusos ASTM A 325, com  $d_b = 24$  mm, rosca fora do plano de corte;
- Espaçamentos dos parafusos da ligação da diagonal à chapa (1):  $s = 3 d_b$ ;
- Bordas laminadas;
- Dispensada a verificação do efeito de alavanca nas chapas (2) e (3);
- Diagonais em perfis dupla cantoneira 3"x 3"x 1/4";
- Espessuras das chapas na ligação:
  - Chapa de ligação (1):  $t_1 = 1/4" = 6,35$  mm;
  - Chapa de ligação (2):  $t_2 = 5/8" \cong 16,00$  mm;
  - Mesa da coluna... (3):  $t_3 = 5/8" \cong 16,00$  mm;
- Adotar:  $1" = 25,4$  mm = 2,54 cm;
- $1 \text{ kN/cm}^2 = 10$  MPa



**Solução a)**

Determinação de  $T_d$ , em função da resistência da ligação da diagonal à chapa de ligação (1)

**a-1) Resistência a pressão de contato:**

(furo padrão, deformação limita o projeto)

$$F_{Rd,c} = 1,2 \frac{l_f t f_u}{\gamma_{a2}} < 2,4 \frac{d_b t f_u}{\gamma_{a2}} \quad (\text{furo padrão, deformação limita o projeto})$$

$$f_u = 400 \text{ MPa} = 40 \text{ kN/cm}^2,$$

$$d_b = 24 \text{ mm} = 2,4 \text{ cm} \quad ; \quad d' = 24 + 1,5 = 25,5 \text{ mm} = 2,55 \text{ cm} \quad (\text{tabela 12})$$

$t_{\min}$  : menor espessura

$$- t_{\text{chapa}} = t_1 = 6,35 \text{ mm} = 0,635 \text{ cm}$$

$$- t_{\text{cantoneira}} = t_2 = 2 \cdot 6,35 = 12,6 \text{ mm} = 1,26 \text{ cm} \quad (2 \text{ cantoneiras})$$

Assim, menor  $t = t_{\text{chapa}} = 0,635 \text{ cm}$ ,

$$l_f = 3d_b - d' = 3 \cdot 2,4 - 2,55 = 4,65 \text{ cm}$$

$$F_{Rd,c} = 1,2 \frac{4,65 \cdot 0,635 \cdot 40}{1,35} = 104,99 \text{ kN} \cong 105,0 \text{ kN} < 2,4 \frac{2,4 \cdot 0,635 \cdot 40}{1,35} = 108,3 \text{ kN}$$

Adota-se:  $F_{Rd,c} = 105,0 \text{ kN}$  para cada parafuso.

**a.2) Força cortante:**

(parafusos de alta resistência ASTM A 325, rosca fora de plano de corte)

$$d_b = 24 \text{ mm} = 2,4 \text{ cm}$$

$$A_b = 0,25 \pi d_b^2 = 0,25 \pi 2,4^2 = 4,52 \text{ cm}^2$$

Para parafuso de alta resistência, rosca fora do plano de corte, vem:

$$F_{Rd,v} = \frac{0,5 A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}} = \frac{0,5 \cdot 4,52 \cdot 82,5}{1,35} = 138,1 \text{ kN} \quad \text{para 1 parafuso, 1 plano de corte.}$$

$$\text{Onde } f_{ub} = 825 \text{ MPa} = 82,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Para 1 parafuso, 2 planos de corte: } F_{Rd,v} = 2 \cdot 138,1 = 270,93 \text{ kN}$$

**a.3) Conclusão:**

Mais desfavorável é a resistência pressão de contato, com :

$$F_{Rd,c} = 105,0 \text{ kN} \quad \text{para cada parafuso.}$$

$$\text{Para 3 parafusos: } F_{Rd,c} = 3 \cdot 105,0 = 315,0 \text{ kN}$$

Assim, fazendo  $T_d = F_{Rd,c}$ , vem:  **$T_d = 315,0 \text{ kN}$**

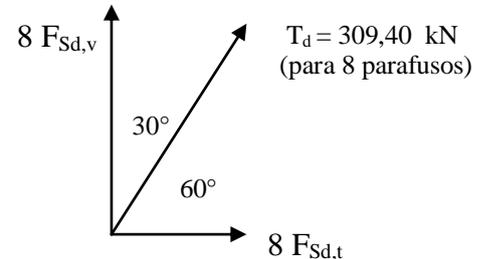
**Solução b)**

Ligação da chapa (2) à mesa da coluna (3), para  $T_d = 309,40$  kN atuando em 8 parafusos:

**b.1** Solicitações de tração de cálculo ( $F_{Sd,t}$ ) e cortante de cálculo ( $F_{Sd,v}$ ) em cada parafuso.

$$8 F_{Sd,v} = 309,4 \cdot \cos 30^\circ \quad \therefore \quad F_{Sd,v} = 33,49 \text{ kN}$$

$$8 F_{Sd,t} = 309,4 \cdot \cos 60^\circ \quad \therefore \quad F_{Sd,t} = 19,34 \text{ kN}$$



**b.2** Suficiência a esforços tangenciais.

**b.2.1** Resistência a força cortante

Para parafusos de alta resistência, rosca fora do plano de corte.

$$F_{Rd,v} = \frac{0,5 A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}} = 138,1 \text{ kN para 1 parafuso, 1 plano de corte (ver item a-2)}$$

**b.2.2** Resistência a pressão de contato:

Para furo padrão, as deformações nos furos são limitantes do projeto:

$$F_{Rd,c} = 1,2 \frac{l_f t f_u}{\gamma_{a2}} < 2,4 \frac{d_b t f_u}{\gamma_{a2}}$$

$$f_u = 400 \text{ MPa} = 40 \text{ kN/cm}^2,$$

$$d_b = 24 \text{ mm} = 2,4 \text{ cm} \quad ; \quad d' = 24 + 1,5 = 25,5 \text{ mm} = 2,55 \text{ cm (tabela 12)}$$

$t_{\min}$ : menor espessura

$$- t_{\text{chapa 2}} = t_2 = 5/8" \cong 16,00 \text{ mm}$$

$$- t_{\text{chapa 3}} = t_3 = 5/8" \cong 16,00 \text{ mm}$$

$$\text{Assim, menor } t = t_{\min} = t_2 = t_3 = 5/8" \cong 16,00 \text{ mm}$$

$$l_f = 120 - d' = 120 - 25,5 = 94,5 \text{ mm} = 9,45 \text{ cm}$$

$$F_{Rd,c} = 1,2 \frac{9,45 \cdot 1,6 \cdot 40}{1,35} = 537,6 \text{ kN} > 2,4 \frac{2,4 \cdot 1,6 \cdot 40}{1,35} = 273,1 \text{ kN}$$

Assim,  $F_{Rd,c} = 273,1$  kN para cada parafuso.

**b.2.3** Verificação da suficiência de cada parafuso a esforços tangenciais:

Adota-se:  $F_{Rd,c} = 138,1$  kN para cada parafuso.

Portanto  $F_{Sd,v} = 33,49 \text{ kN} < F_{Rd,c} = 138,1 \text{ kN}$ , aceita-se.

**b.3** Verificação da suficiência a tração axial:

Para parafusos ASTM A 325, com  $d_b = 24$  mm, rosca fora do plano de corte, da tabela A3, vem:  $f_{yb} = 635$  MPa = 63,5 kN/cm<sup>2</sup> e  $f_{ub} = 825$  MPa = 82,5 kN/cm<sup>2</sup>

E.L. nº 1: Escoamento da seção bruta:

$$d_b = 24,0 \text{ mm} = 2,4 \text{ cm} ; A_b = 0,25 \pi d_b^2 = 4,52 \text{ cm}^2$$

$$F_{Rd,t} = \frac{A_g f_{yb}}{\gamma_{a1}} = \frac{A_b f_{yb}}{\gamma_{a1}} = \frac{4,52 \cdot 63,5}{1,1} \Rightarrow F_{Rd,t} = 260,93 \text{ kN}$$

E.L.nº 2: Ruptura da parte rosqueada:

$$A_{be} = 0,75 A_b = 0,75 \times 4,52 = 3,39 \text{ cm}^2$$

$$F_{Rd,t} = \frac{A_{be} f_{ub}}{\gamma_{a2}} = \frac{3,39 \cdot 82,5}{1,35} = 207,17 \text{ kN} < \frac{A_b f_{yb}}{\gamma_{a1}} = 260,93 \text{ kN}$$

$$F_{Rd,t} = 207,17 \text{ kN}$$

Portanto adota-se o mais desfavorável:  $F_{Rd,t} = 207,17$  kN (o menor)

Conclusão: Como  $F_{Sd,t} = 19,34$  kN <  $F_{Rd,t} = 207,17$  kN , aceita-se a seção.

**b.4** Efeitos combinados ( tração e cisalhamento)**b.4.1** Equação de interação para a ação simultânea de tração e cisalhamento

$$\left( \frac{F_{Sd,t}}{F_{Rd,t}} \right)^2 + \left( \frac{F_{Sd,v}}{F_{Rd,v}} \right)^2 \leq 1,0 \Rightarrow \left( \frac{19,34}{207,17} \right)^2 + \left( \frac{33,49}{138,1} \right)^2 = 0,068 < 1,0 , \text{ aceita-se.}$$

**b.4.2** Exigência alternativa ao uso da equação de interação (tabela 11 da NBR 8800-2010)

Para parafusos ASTM A325, rosca fora do plano de corte, vem:

$$F_{Sd,t} \leq \frac{f_{ub} A_b}{\gamma_{a2}} - 1,50 F_{Sd,v} \Rightarrow 19,34 \leq \frac{82,5 \cdot 4,52}{1,35} - 1,50 \times 33,49 = 225,99 \text{ kN} , \text{ aceita-se}$$

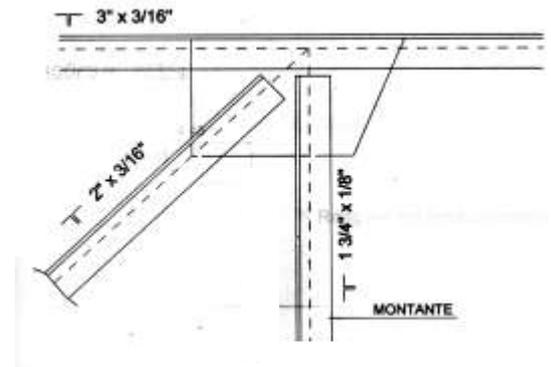
**10. Exercícios propostos:**

**10.1** No nó de tesoura abaixo representado, pede-se:

- Determinar o valor da máxima carga axial de tração de cálculo ( $T_d$ ) a ser aplicada na diagonal e no montante;
- Para a carga calculada no item anterior, verificar a suficiência da ligação parafusada da diagonal à chapa de ligação com três parafusos;
- Para a máxima carga axial de tração de cálculo ( $T_d$ ) calculada no item a), dimensionar e detalhar a ligação parafusada do montante à chapa de ligação, adotando parafusos ASTM A-325 de maior diâmetro possível, trabalhando como parafusos comuns;

Dados:

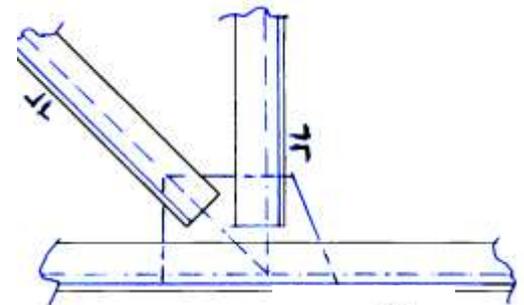
- Aço ASTM A-441 com  $f_y = 345$  MPa e  $f_u = 485$  MPa;
- Considerar parafusos de alta resistência por atrito ASTM A-325 com  $d = 16$  mm, trabalhando como parafusos comuns, rosca fora do plano de corte;
- Furos do tipo padrão com:  $d'' = d' + 2$  mm e  $d' = d + 1,5$  mm;
- As deformações dos furos são limitantes de projeto;
- Bordas da chapa de ligação e das cantoneiras, laminadas;
- Chapa de ligação com  $t = 1/4"$  ( 6,35 mm)



**Resp:**

**10.2.** Dimensionar a ligação parafusada do montante à chapa de ligação do nó abaixo, indicando a resposta num desenho através de convenção apropriada e considerando:

- Aço ASTM A-36 com  $f_y = 250$  MPa e  $f_u = 400$  MPa;
- Parafusos ASTM A 307 com  $d_b = 22$  mm e rosca no plano de corte;
- Tração de cálculo no montante:  $N_{ts,d} = T_d = 280$  kN;
- Perfil dupla cantoneira 3"x3"x 5/16";
- Espessura da chapa de ligação:  $t = 8$  mm;
- Furos do tipo padrão com:  $d'' = d' + 2$  mm e  $d' = d_b + 1,5$  mm;
- As deformações nos furos são limitantes do projeto;
- Bordas da chapa de ligação e das cantoneiras, cortadas com serra.



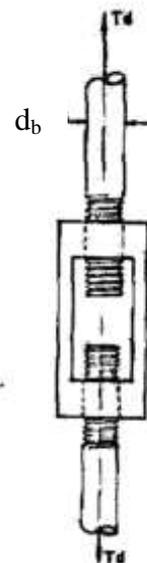
Resp:  $F_{R,d,V} = 2 \times 46,7 = 93,4$  kN (2 planos de corte)  
 $F_{R,d,C} = 96,43 < 125,15$  kN ; adota-se  $N_{tR,d} = 93,4$  kN ( o menor)  
 $n = 280/93,4 = 2,99 = 3$  parafusos  
 $s = 2,7 d_b = 60$  mm;  $a = 8$  mm (tabela 14)

**10.3** Determinar o valor da máxima carga axial de tração  $T_d = N_{ts,d}$  a ser aplicada na barra rosqueada ao lado.

Dados:

- $d_b = 1"$ ;
- Aço com  $f_y = 250$  MPa e  $f_u = 400$  MPa;
- O esticador apresenta resistência superior à da barra.

**Resp:** Escoamento da seção bruta :  $N_{tR,d} = 115,2$  kN;  
 Ruptura da seção líquida :  $N_{tR,d} = 112,6$  kN;  
 Adota-se  $T_d = N_{ts,d} = N_{tR,d} = 112,6$  kN ( o menor)

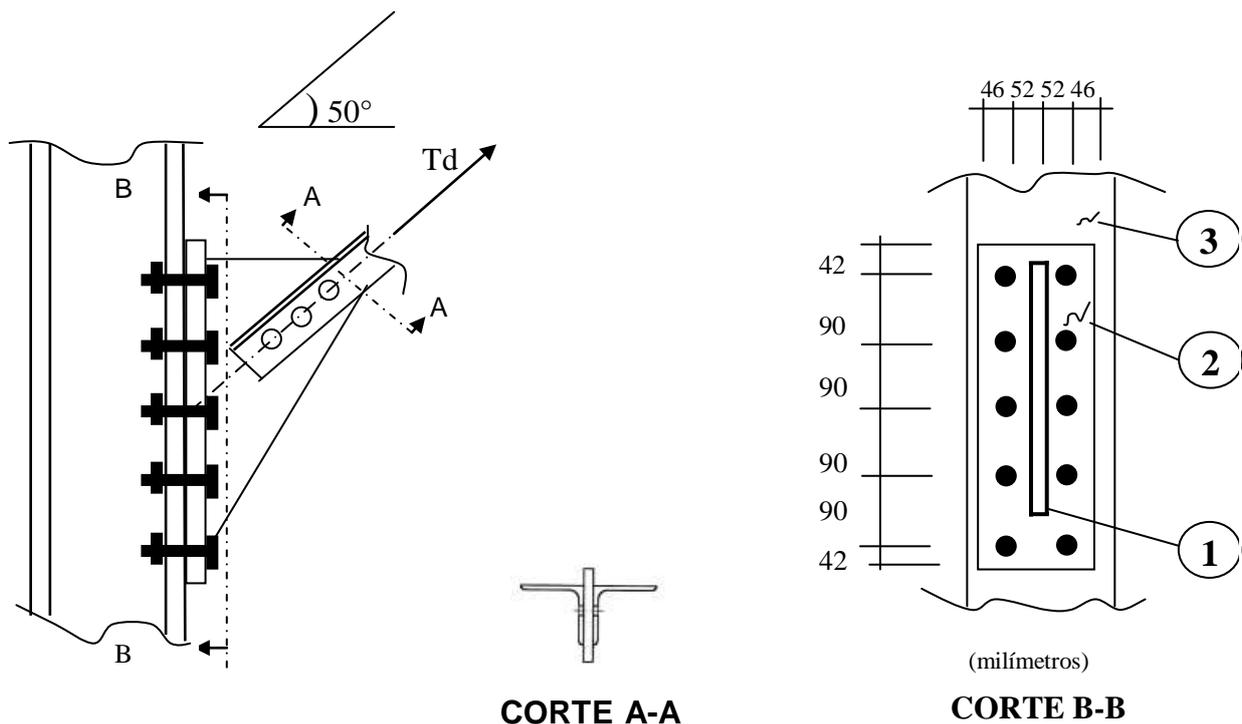


**10.4** Na ligação abaixo, pede-se:

- Determinar o valor da máxima tração axial de cálculo "Td", em estados limites últimos, a ser aplicada no centro de gravidade da barra diagonal de contraventamento abaixo esquematizada, em função da resistência da ligação parafusada da mesma à chapa de ligação (1);
- Verificar a suficiência da ligação parafusada da chapa de ligação (2) à mesa da coluna (3), considerando a ação de uma carga axial de tração de cálculo  $T_d = 254,0$  kN, aplicada no centro de gravidade da barra.

Dados:

- Elementos da ligação em aço ASTM A572 grupo 1, grau 55 com:  $f_y = 380$  MPa e  $f_u = 485$  MPa ;
- Furos do tipo padrão; as deformações nos furos são limitantes do projeto;
- Parafusos comuns ISO 898-1 classe 4.6, com  $d_b = 25$  mm, rosca fora do plano de corte;
- Espaçamentos dos parafusos da ligação da diagonal à chapa (1):  $s = 2,7 d_b$ ;
- Bordas laminadas;
- Dispensada a verificação do efeito de alavanca nas chapas (2) e (3);
- Diagonais em perfis dupla cantoneira 3"x 3"x 3/16";
- Espessuras das chapas na ligação:
  - Chapa de ligação (1):  $t_1 = 1/4" = 6,35$  mm;
  - Chapa de ligação (2):  $t_2 = 1/2" \cong 12,50$  mm;
  - Mesa da coluna... (3):  $t_3 = 3/4" \cong 19,00$  mm;
- Adotar:  $1" = 25,4$  mm = 2,54 cm;
- $1 \text{ kN/cm}^2 = 10 \text{ MPa}$



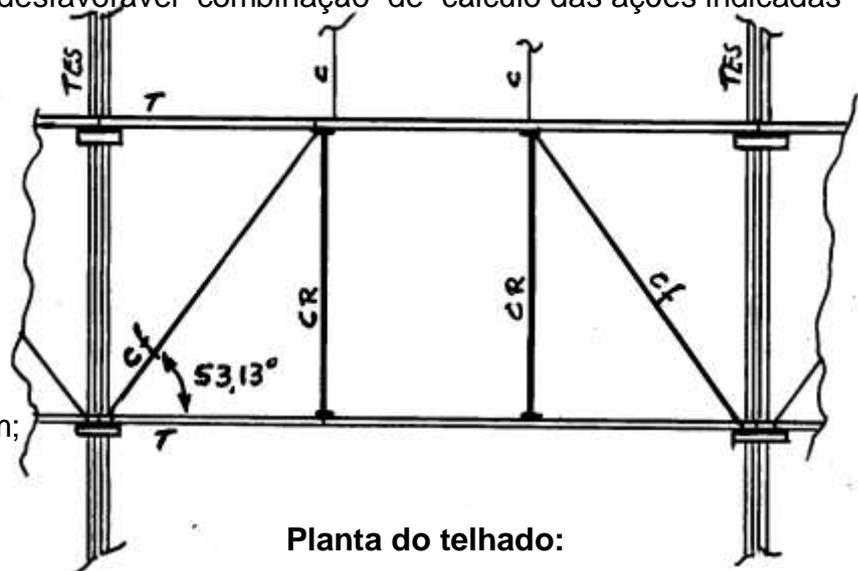
**Resp:**

# RASCUNHOS

Verificar a suficiência a tração axial da corrente frechal ( **cf** ) em ferro redondo, abaixo representada, para a mais desfavorável combinação de cálculo das ações indicadas (**N<sub>d</sub>**), considerando:

- Aço ASTM A-36;
- Adotar:  
 $1 \text{ kN} / \text{cm}^2 = 10 \text{ Mpa}$   
 $1 \text{ " } = 2,54 \text{ cm}$   
 $\alpha = 3$

- Perfis empregados:  
 -Terça em chapa dobrada [ 127x50x 3 mm;  
 -Suporte de terça em cantoneira simples 3" x 3" x 3/16";



- Ferro redondo com diâmetro nominal  $d = 1 / 2 \text{ "}$ , plano de corte pela rosca;
- Ações características de tração, situação normal:

- $N_{g,k} = 1,5 \text{ kN}$ , ação permanente de grande variabilidade;  
 $N_{q,k} = 3,0 \text{ kN}$ ; ação devida a sobrecarga de uso no telhado;  
 $N_{w,k} = 4,5 \text{ kN}$ ; ação devida ao vento.

