

### III. LIGAÇÕES PARAFUSADAS

#### III.1 - INTRODUÇÃO

Tanto as ligações parafusadas quanto as ligações soldadas são utilizadas largamente nas ligações de fábrica e de campo de estruturas metálicas. É muito comum a utilização de soldas nas ligações de fabrica e de parafusos nas ligações de campo.

As vantagens da utilização de ligações parafusadas são:

- Rapidez de execução das ligações de campo.
- A mão de obra utilizada para instalação e inspeção dos parafusos não precisa ser especializada como a utilizada em ligações soldadas.
- O equipamento de instalação é simples e não necessita de muita energia.

Por outro lado, as desvantagens das ligações parafusadas são:

- Os furos enfraquecem as peças conectadas e, algumas vezes, pode ser necessário reforçar as mesmas.
- As ligações são mais complexas do que as ligações soldadas e exigem um trabalho maior de cálculo, detalhamento e fabricação.
- Necessidade de previsão antecipada para evitar falta de parafusos na obra.

#### III.2. TIPOS DE LIGAÇÕES PARAFUSADAS

As ligações parafusadas podem ser classificadas de acordo com o tipo de esforço que atua nos parafusos. Estes esforços são **tração**, **esforço cortante** e uma **combinação de tração com esforço cortante**. A forma com que estes esforços são introduzidos nos parafusos é bastante diversificada.

Na Fig. IV.1 estão representadas algumas ligações que introduzem esforço cortante nos parafusos. A ligação (a) mostra uma emenda com tala dupla aonde o esforço de tração que chega

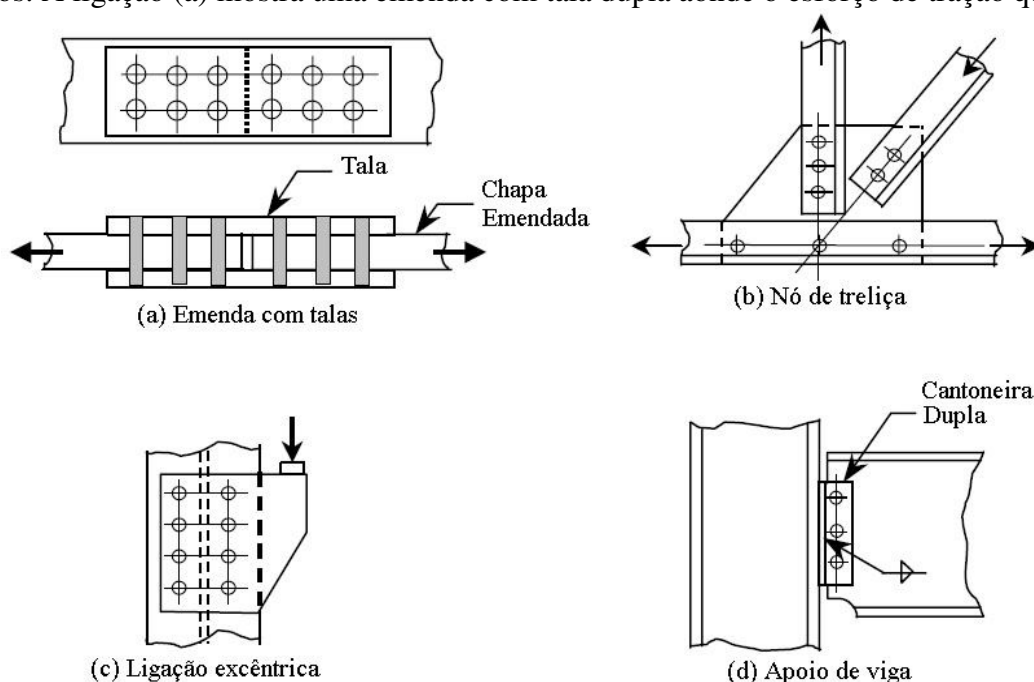
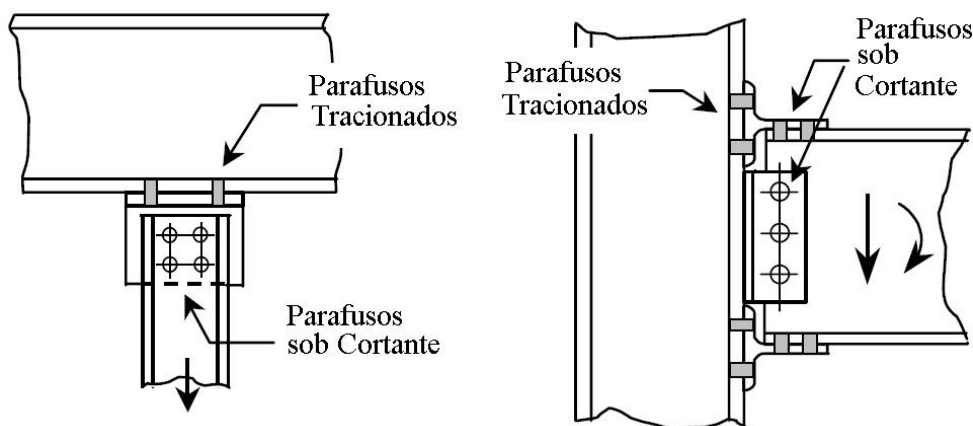


Fig. IV.1 - Ligações parafusadas com cortante nos parafusos

pela chapa emendada deve ser transferido para a outra chapa. Este esforço é transferido para os seis parafusos de metade da ligação, os quais ficam submetidos a esforço cortante. Estes parafusos transferem a carga para as duas talas da emenda, as quais ficam tracionadas. As talas por sua vez transferem o esforço de tração para os seis parafusos da outra metade da emenda, os quais transferem a carga para a outra chapa emendada. Em qualquer ligação é fundamental que o calculista entenda o fluxo das cargas para efetuar corretamente o dimensionamento dos conectores e dos componentes da ligação. Ao analisar o caso (a) percebe-se, entre outras coisas, que seis parafusos, e não doze, devem resistir a carga de tração aplicada na ligação.

A caso (b) da Fig. IV.1 mostra que as cargas passam dos barras para a chapa de nó, e desta para as outras barras, por meio de corte nos parafusos. Na ligação (c) os parafusos estão submetidos a esforços de corte causados pela carga de uma viga de rolamento, a qual por ser excêntrica aumenta os esforços em alguns parafusos.

Na Fig. IV.2 (a) está representada a ligação de um pendura, onde os parafusos de ligação com a mesa inferior de uma viga estão tracionados. A Fig. IV.2 (b) mostra uma ligação rígida viga-coluna, que tem a capacidade de transmitir cortante e momento. Uma consideração aceitável de cálculo é que todo o cortante seja transmitido pela ligação da alma e que todo o momento seja transferido pelos flanges. Sendo assim, os parafusos da cantoneira dupla de ligação da alma estão submetidos somente a esforço cortante. O esforço no perfil “T” de ligação dos flanges é dado pelo binário, obtido da divisão do momento pela altura do perfil. Os parafusos de ligação do perfil “T” à mesa da viga estão submetidos a esforço de corte enquanto que os parafusos de ligação do perfil “T” com a mesa da coluna estão submetidos a esforço de tração.

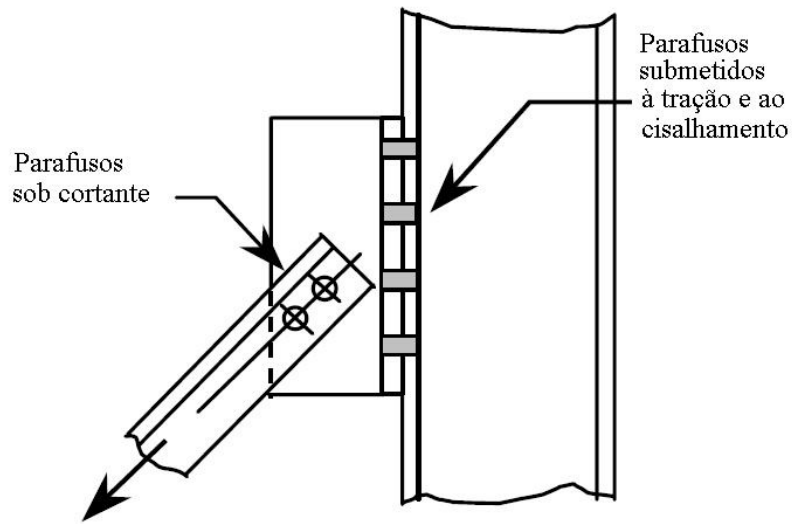


**Fig. IV.2** – Ligações Parafusadas com parafusos tracionados

Na Fig. IV.3 está representada a chegada de uma barra de contraventamento. A componente vertical da carga transmitida por esta barra causa cisalhamento nos parafusos de ligação do “T” com a mesa da coluna. A componente horizontal, por sua vez, causa tração nestes mesmos parafusos. Desta forma os parafusos de ligação do perfil “T” com a mesa da coluna estão submetidos simultaneamente a esforços de corte e de tração.

Para as ligações parafusadas submetidas a esforços de corte uma outra de forma de classificação é de acordo com o mecanismo de transferência entre os componentes da ligação. Neste caso as ligações com parafusos submetidos a esforços cortantes são classificadas da seguinte maneira:

- **Ligações por Contato** – nestas ligações o esforço de corte é transmitido de um componente para outro da ligação através do contato entre o corpo do parafuso e a parede do furo. Na Fig. IV.4 (a) está representada uma ligação por contato, constando de apenas um parafuso. O diagrama de corpo livre obtido quando o parafuso é cortado na interface entre as duas chapas



**Fig. IV.3** – Parafusos submetidos à esforços combinados

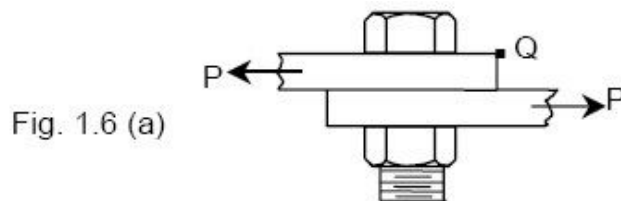


Fig. 1.6 (a)

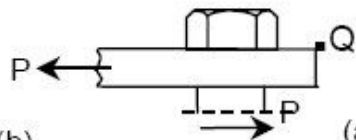


Fig. 1.6 (b)

(and associated shear stress,  $\tau = P/A$ )

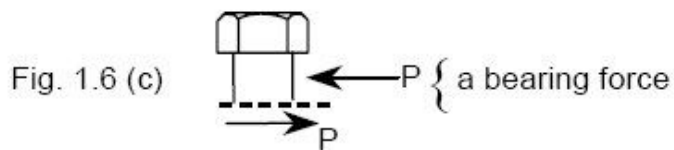


Fig. 1.6 (c)

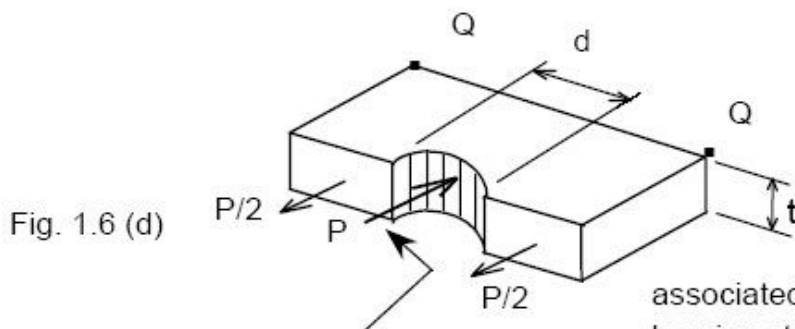


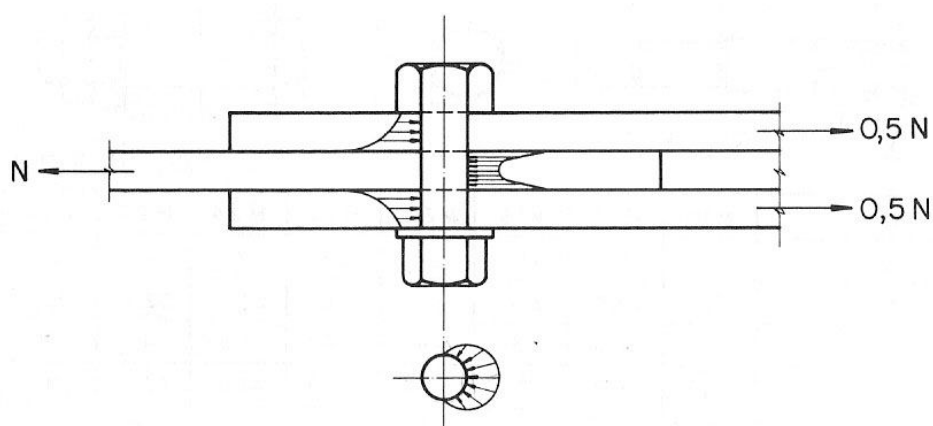
Fig. 1.6 (d)

associated average bearing stress:  $\sigma = P/A = P/(txd)$

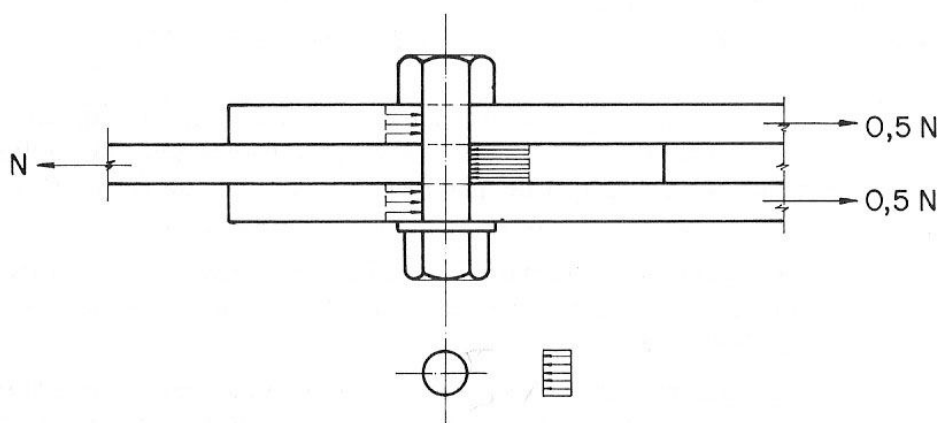
note that this force is equal and opposite to the bearing force shown

**Fig. IV.4** – Transmissão das cargas em ligação por contato

é mostrado na Fig. IV.4 (b). A força na chapa “ $P$ ” deve ser equilibrada pela força no parafuso; este é o esforço de corte no parafuso. Este esforço de corte causará uma tensão de cisalhamento no parafuso “ $f_v$ ” que é obtida dividindo-se o esforço de corte no parafuso pela área da seção transversal do parafuso,  $f_v = P/A$ . Para que a carga  $P$  seja transferida da chapa para o parafuso é preciso que a borda do furo da chapa se apóie no corpo do parafuso (Fig. IV.4 (c)). A carga  $P$  é então transferida por contato, sendo chamada “*carga de contato*”. A carga de contato gera uma tensão de contato na chapa,  $f_c = P/(\phi t)$ , a qual é utilizada para verificar o esmagamento da chapa. A distribuição real das tensões nas paredes do furo é mostrada na Fig. IV.5(a). Na Fig. IV.5(b) está representada a hipótese simplificada considerada no cálculo. Esta distribuição simplificada é baseada em valores obtidos em testes de ruptura e apresenta a segurança necessária para permitir a redistribuição das tensões quando estas atingem o escoamento. A superfície de contato é chamada de plano de corte pois é neste plano que se dá o cisalhamento do parafuso. A presença da rosca no plano de corte reduz a resistência do parafuso ao cisalhamento.



a) Distribuição real das tensões

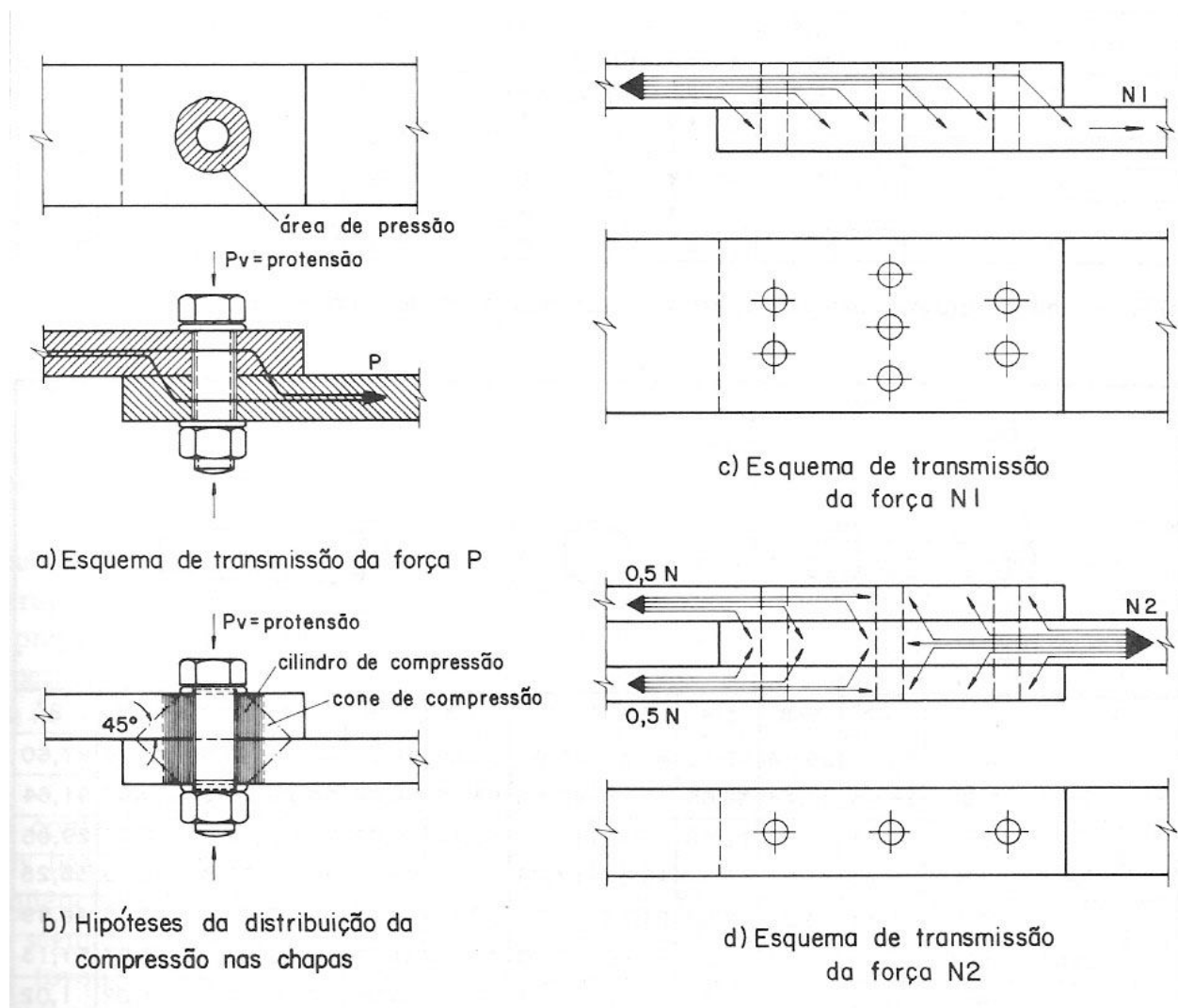


b) Distribuição admitida no cálculo

**Fig. IV.5** – Tensões nas paredes do furo em ligações por contato

- **Ligações por Atrito** – nestas ligações os parafusos são montados com protensão de modo que se desenvolve uma elevada pressão entre as peças na superfície de contato (Fig. IV.6). Cada parafuso desenvolve um cone de pressão constituído por regiões circulares das chapas, altamente comprimidas, com o parafuso no centro, altamente tracionado (a protensão dada nos parafusos vale 70% da resistência nominal à tração do parafuso). Ao tender a deslizar uma

peça sobre a outra se desenvolve na superfície de contato uma tensão de atrito que impede o escorregamento das peças e garante o funcionamento da ligação. Para garantir o coeficiente de atrito necessário entre as superfícies em contato estas devem ter um acabamento superficial de acordo com especificação da norma.



**Fig. IV.6** – Transmissão das cargas em ligação por atrito

As ligações por atrito são indicadas para carregamentos dinâmicos e para os caso onde o deslizamento da ligação entre as partes conectadas possa afetar o comportamento previsto para a estrutura.

As ligações por contato são indicadas para carregamentos predominantemente estáticos, onde um eventual deslizamento entre as partes conectadas não afete a vida útil dos parafusos e da própria ligação e nem o comportamento global da estrutura.

### III.3 - TIPOS DE PARAFUSOS

Os tipos de parafusos maiias utilizados em estruturas metálicas são os **parafusos comuns** (normalmente o ASTM A307) e os **parafusos de alta resistência** (o ASTM A325 ou o ASTM A490).

Os parafusos de alta resistência podem necessitar de protensão na sua instalação (torque de montagem) e necessitam de cuidados especiais em relação às arruelas e às condições de acabamento das superfícies em contato das partes conectadas.

Os parafusos comuns são instalados sem necessidade de protensão e não necessitam de cuidados especiais. Entretanto a resistência destes parafusos é bem inferior à resistência dos parafusos de alta resistência.

Os parafusos de alta resistência são utilizados em ligações de maior responsabilidade enquanto que os parafusos comuns são utilizados em ligações secundárias. Os parafusos comuns são utilizados em estruturas leves, peças secundárias, plataformas, passadiços, terças, pequenas treliças, etc., em que as cargas são baixas e estáticas. Os parafusos de alta resistência são utilizados em ligações onde atuam cargas elevadas e nas ligações principais de estruturas submetidas a cargas dinâmicas. O item 7.1.10 da NBR 8800:1986, transcrito a seguir, define as ligações de campo onde é necessário utilizar parafusos de alta resistência:

Devem ser usados soldas ou parafusos de alta resistência nos seguintes casos:

- a) ligações de vigas e treliças das quais depende o sistema de contraventamento, ligações de vigas e treliças com pilares, e emendas de pilares nas estruturas com mais de 30 m de altura;
- b) ligações e emendas de treliças de cobertura, ligações de treliças com pilares, emendas de pilares, ligações de contraventamentos de pilares, ligações de mãos francesas ou mísulas usadas para reforço de pórticos, e ligações de peças suportes de pontes rolantes, nas estruturas com pontes rolantes de capacidade superior a 50 kN;
- c) emendas de pilares, nas estruturas com menos de 30 m de altura, caso a menor dimensão horizontal da estrutura seja inferior a 25% da altura;
- d) ligações de peças suportes de maquinário ou peças sujeitas a impactos ou cargas cíclicas;
- e) qualquer outra ligação que for especificada nos desenhos da estrutura

Notas: a) Para os demais casos, não citados acima, as ligações podem ser feitas com parafusos comuns ASTM A 307 ou ISO 4.6.

b) Para efeito das alíneas a) e c), a altura de uma estrutura deve ser considerada como a distância vertical entre o nível médio do terreno que circunda a estrutura e o topo das vigas da cobertura, no caso de coberturas planas. No caso de coberturas inclinadas, a distância vertical é medida entre aquele nível médio e o topo das vigas de cobertura, à meia altura da parte inclinada.

c) As mansardas ou casas de máquinas de elevadores podem ser excluídas na determinação da altura da estrutura.

Os parafusos são instalados em furos brocados, puncionados ou cortados na chama.

## III.4 – RESISTÊNCIA DE CÁLCULO DOS PARAFUSOS E BARRAS ROSQUEADAS

### III.4.1 - INTRODUÇÃO

#### Bases de dimensionamento

Ligações consistem de elementos de ligação (enrijecedores, chapas de ligação, cantoneiras, consolos, etc.) e meios de ligação (soldas, parafusos e pinos). Esses componentes devem ser dimensionados de forma que sua resistência de cálculo seja igual ou superior à solicitação de cálculo, determinada: (1) pela análise da estrutura sujeita às ações multiplicadas pelos seus coeficientes de ponderação; (2) como uma porcentagem especificada da resistência da barra ligada. A resistência de cálculo pode também ser baseada em estado limite de utilização.

#### Resistências mínimas de ligações

As ligações sujeitas à solicitação de cálculo inferior a 40 kN, excetuando-se diagonais de travessamento de barras compostas, tirantes constituídos de barras redondas e travessas de fechamento lateral de edifícios, devem ser dimensionadas para uma solicitação de cálculo igual a 40 kN.

As ligações de barras tracionadas ou comprimidas, além de resistirem às forças normais de cálculo na barra, devem ser dimensionadas também para forças de cálculo iguais a 50% das resistências de cálculo da barra aos tipos de força normal (tração ou compressão) que nela atuam.

### III.4.2 – ÁREAS DE CÁLCULO

#### 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.

#### 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:

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

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)

### III.4.3 – RESISTÊNCIA DE CÁLCULO À TRAÇÃO

A resistência de cálculo “ $\phi R_n$ ” de parafusos e de partes rosqueadas deve ser determinada pelo produto do coeficiente de resistência  $\phi$  pela resistência nominal “ $R_n$ ”. Na determinação da solicitação de cálculo para parafusos sujeitos à tração além das solicitações externas deve ser levado em conta o efeito de alavanca (*prying action*), se existir, e excluída a força de protensão obtida pelo aperto dos parafusos.

A resistência de cálculo de uma barra tracionada com extremidade rosqueada é o menor dos valores obtidos com base no estado limite de escoamento da seção bruta e no estado limite da ruptura da parte rosqueada. A resistência de cálculo para este último estado limite, aplicável também a parafusos tracionados é “ $\phi_t R_{nt}$ ”, onde  $\phi_t = 0,75$  para parafusos ASTM A325 ou A490 e  $\phi_t = 0,65$  para os demais parafusos e barras rosqueadas; “ $R_{nt}$ ” é a resistência nominal, dada a seguir para um parafuso ou barra rosqueada considerando diâmetro nominal igual ou superior a 12mm:

$$R_{nt} = 0,75 A_p f_u$$

ou, alternativamente, para diâmetros nominais superiores a 25 mm:

$$R_{nt} = 0,95 A_r f_u$$

Onde:

- $f_u$  = resistência à tração do material do parafuso ou barra rosqueada
- $A_p$  = área bruta, baseada no diâmetro nominal “ $d$ ” do parafuso ou barra rosqueada =  $\pi d^2/4$
- $A_r$  = área efetiva à tração (ver Tab. IV.1)

**Tab. IV.1 – Área Bruta e Área resistente de Parafusos e Barras Rosqueadas**

ISO	UNC	P (passo em mm)	$A_p$ (mm <sup>2</sup> )	$A_r$ (mm <sup>2</sup> )	$A_r/A_p$
M12	-	1,75	113	84,3	0,95
-	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	298	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



### III.4.4 – RESISTÊNCIA DE CÁLCULO À FORÇA CORTANTE (EM LIGAÇÕES POR CONTATO)

A resistência de cálculo à força cortante para um parafuso ou barra rosqueada, exceto nos casos de pega longa e ligações de grande comprimento, deve ser tomada com base na (o que for mais crítico):

- Resistência à pressão de contato em furos (dada a seguir);
- Resistência ao corte do parafuso ou barra rosqueada, igual " $\phi_v R_{nv}$ ", onde  $\phi_v = 0,65$  para parafusos ASTM A325 e ASTM A490 e  $\phi_v = 0,60$  para os demais parafusos e para barras rosqueadas;

" $R_{nv}$ " são as resistências nominais dadas a seguir, para um plano de corte, por parafuso ou barra rosqueada:

- parafusos A325 ou A490 quando o plano de corte passa pela rosca; os demais parafusos e barras rosqueadas para qualquer posição do plano corte

$$R_{nv} = 0,42 A_p f_u$$

- parafusos A325 ou A490 quando o plano de corte não passa pela rosca

$$R_{nv} = 0,60 A_p f_u$$

#### Pressão de contato em furos

A resistência à pressão de contato na parede de um furo, é feita levando em conta simultaneamente o esmagamento da parede do furo e a resistência ao rasgamento entre dois furos consecutivos, ou entre um furo extremo e a borda. Esta resistência é dada por " $\phi R_n$ ", onde  $\phi = 0,75$  e " $R_n$ " é a resistência nominal definida a seguir:

$$R_n = \alpha A_b f_u$$

- Para esmagamento sem rasgamento(furo longe das bordas e de outros furos):  $\alpha = 3,0$ ;
- Para rasgamento entre dois furos consecutivos, cujos centros sejam espaçados de "s" quando não houver ortogonalidade entre a força no parafuso analisado e a reta que liga esses centros,  $\alpha = (s/d) - \eta_1 \leq 3,0$ ; quando houver tal ortogonalidade,  $\alpha = 3,0$ ;
- Para rasgamento entre um furo e uma borda situada à distancia "e" do centro do furo, quando não houver paralelismo entre essa borda e a força no parafuso analisado,  $\alpha = (e/d) - \eta_2 \leq 3,0$ ; quando houver tal paralelismo,  $\alpha = 3,0$ ; havendo duas bordas a considerar (furos próximos a cantos), prevalece a que der o menor valor de " $\alpha$ ".

Onde

- $A_b$  = área efetiva para pressão de contato
- $f_u$  = resistência à tração do material da chapa
- $d$  = diâmetro nominal do parafuso ou barra rosqueada
- $\eta_1, \eta_2$  = coeficientes dados na Tabela IV.2.

**Tab. IV.2 - Valores de  $\eta_1$  e  $\eta_2$** 

Tipo de furo	$\eta_1$	$\eta_2$
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	1,94 para $d \leq 40$ 2,0 para $d > 40$	0,75

**Obs.:** os valores de  $\alpha$  definidos neste item devem ser limitados em 2,4 para evitar deformação excessiva do furo.

**Tab. IV.3 – Resistência de cálculo à força cortante e à tração (em ligações por contato)**

ESPECIFICAÇÃO A S T M		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 <sup>2</sup>										
		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 PLANO 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

**NOTAS:**

- 1 – Na determinação da solicitação de cálculo para parafusos sujeitos à tração, além das solicitações externas, deve ser levado em conta o efeito de alavanca ("Prying Action"), que pode aumentar consideravelmente a força de tração nos parafusos.
- 2 – Nas ligações por contato, além da Resistência à Tração e/ou ao corte, estas ligações devem ainda atender aos itens 7.3.2.4 e/ou 7.3.2.5 da NBR 8.800.
- 3 – Esta tabela só é aplicável ao Método dos Estados Limites, não se aplicando ao Método das Tensões Admissíveis. As solicitações nominais deverão ser majoradas pelos respectivos coeficientes de ponderação.

### III.4.5 – RESISTÊNCIA DE CÁLCULO À TRAÇÃO QUANDO ATUAM TRAÇÃO E CORTANTE SIMULTANEAMENTE (EM LIGAÇÕES POR CONTATO)

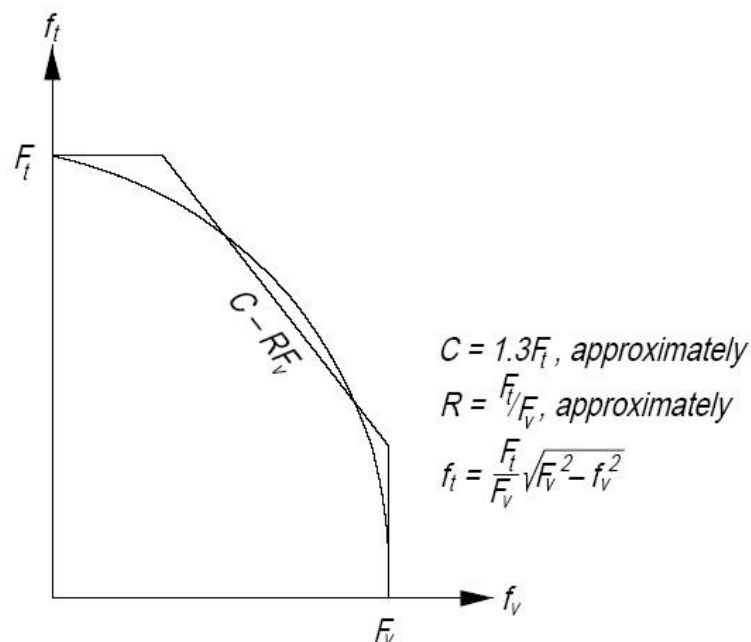
Quando um parafuso ou barra rosqueada estiver sujeito à ação simultânea de tração e força cortante, além das verificações para os dois esforços isolados, conforme itens anteriores, deverão ser atendidas também as exigências da Tab. IV.4. A curva de resistência deste tipo de ligação é uma elipse que pode ser aproximada por 3 retas (Fig. IV.7).

**Tab. IV.4** – Tração e força cortante combinadas

Meio de ligação	Limitação adicional do valor da resistência de cálculo à tração por parafuso ou barra rosqueada
Parafusos ASTM A 307 ou ISO 4.6	$\phi_t R_{nt} \leq 0,64 f_u A_p - 1,93 V_d$
Parafusos ASTM A 325	$\phi_t R_{nt} \leq 0,69 f_u A_p - 1,93 V_d$ (nota 1) $\phi_t R_{nt} \leq 0,69 f_u A_p - 1,93 V_d$ (nota 2)
Parafusos ASTM A 490	$\phi_t R_{nt} \leq 0,69 f_u A_p - 1,93 V_d$ (nota 1) $\phi_t R_{nt} \leq 0,69 f_u A_p - 1,93 V_d$ (nota 2)
Parafusos ASTM A 449 (d > 38 mm) e barras rosqueadas em geral	$\phi_t R_{nt} \leq 0,64 f_u A_p - 1,93 V_d$

Notas: (1) Plano de corte passa pela rosca.  
(2) Plano de corte não passa pela rosca.

Na Tab. IV.4,  $V_d$  = força cortante de cálculo no plano de corte do parafuso ou barra rosqueada

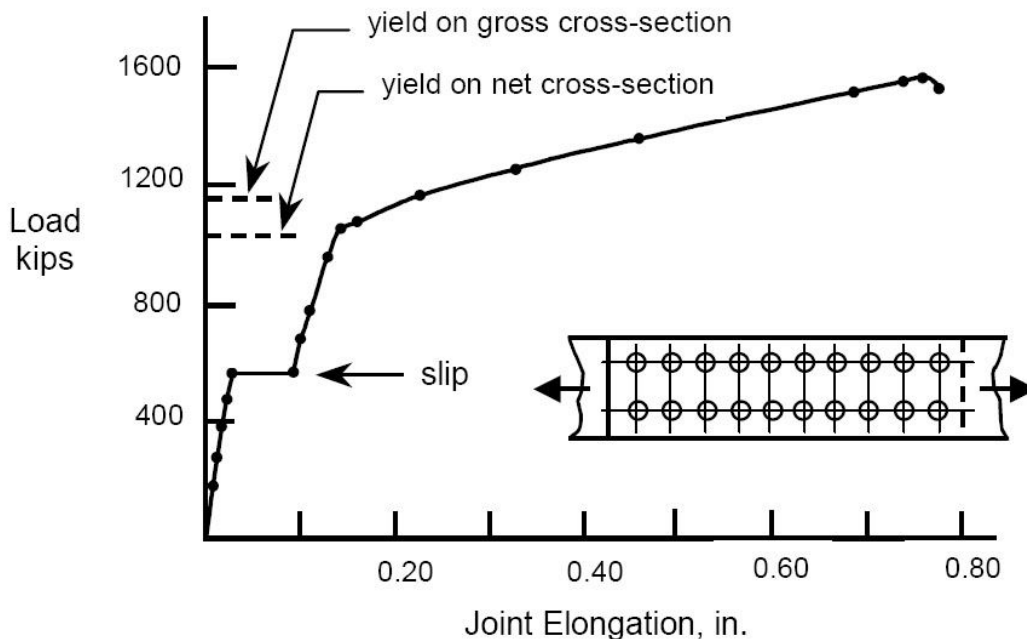


**Fig. IV.7** – Curva de resistência de parafuso submetido à esforços combinados

### III.4.6 – RESISTÊNCIA DE LIGAÇÕES POR ATRITO

A condição básica prescrita para uma ligação por atrito é a de que não ocorra deslizamento entre os componentes da ligação. Para isto, a força cortante no parafuso, produzida pelas combinações

aplicáveis de **ações nominais**, não pode ultrapassar a **resistência ao deslizamento** dada a seguir. Além disto, as **forças de cálculo** no parafuso, produzidas pelas combinações aplicáveis de ações de cálculo, não podem ultrapassar as **resistências de cálculo dadas nos itens anteriores** para ligações por contato. Quaisquer outras partes de ligações por atrito devem ser dimensionadas também para solicitações produzidas por combinações aplicáveis de ações de cálculo. Na Fig. IV.8 está representado o comportamento de uma ligação por atrito.



**Fig. IV.8** – Comportamento de ligação por atrito

Nas ligações por atrito a NBR 8800:1986 só permite a utilização de parafusos de alta resistência ASTM A325 e ASTM A 490, devendo as superfícies de contato atenderem a uma das condições da Tab. IV.5.

A resistência ao deslizamento de uma ligação com parafusos de alta resistência sujeitos à força cortante, combinada ou não com tração, por plano de corte e para um parafuso, é " $\phi_v R_{nv}$ ", onde  $\phi_v = 1,00$  e:

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

Onde:

- $T_b$  = força mínima de protensão no parafuso, dada na Tab. IV.6 ou por  $T_b = 0,70 A_r f_u$
- $T$  = força de tração no parafuso, calculada com base nas ações nominais, porém, com a carga permanente multiplicada por 0,75 caso ela seja mais desfavorável
- $\mu$  = coeficiente de atrito, para as diversas condições de superfície, conforme Tab. IV.5
- $f_u A_r$  = definido anteriormente
- $\xi$  = fator de redução, devido ao tipo de furo
- $\xi = 1,00$  para furos padrão
- $\xi = 0,85$  para furos alargados ou pouco alongados ( $\xi = 0,70$  caso a ocorrência de deslizamento esteja associada a qualquer tipo de redução de resistência ou acréscimo de solicitação)
- $\xi = 0,70$  para furos muito alongados ( $\xi = 0,50$  para solicitação na direção do alongamento do furo).

**Tab. IV.5 – Valores do coeficiente  $\mu$** 

Condições de superfícies das partes parafusadas	$\mu$
a) Superfícies laminadas limpas, isentas de óleos ou graxas, jateadas ou não, sem pintura	0,28 (os coeficientes de atrito para as condições "b", "c" e "d" são superiores a 0,28; entretanto, este valor deve ser usado nos cálculos para evitar a ocorrência de outros estados limites)
b) Superfícies galvanizadas por imersão a quente, com rugosidade superficial aumentada através da aplicação de jateamento ou escova de aço, após a galvanização e antes da montagem	
c) Superfícies jateadas e pintadas com tintas orgânicas ou inorgânicas ricas em zinco, conforme SSPC-PS 12.00	
d) Superfícies jateadas, metalizadas com zinco ou alumínio, conforme AWS C2.2 (sem utilizar tratamentos posteriores descritos na seção IV daquela norma)	
e) Superfícies nas quais seja aplicado banho vinílico conforme SSPC-PT 3	0,25

**Tab. IV.6 - Força de protensão mínima em parafusos<sup>(A)</sup> (kN)**

Diâmetro do parafuso em polegadas	ASTM	
	A325	A490
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

(A) Igual a 70% da resistência mínima à tração especificada para o parafuso =  $0,70 A_s f_u$ 

Os valores de  $\xi$  considerados na resistência ao deslizamento de ligações por atrito, definida anteriormente, são válidos se forem obedecidas as dimensões máximas de furos indicadas na Tab. IV.7.

**Tab. IV.7 – Dimensões máximas de furos para parafusos e barras rosqueadas**

	Diâmetro nominal do parafuso ou barra rosqueada "d"	Diâmetro do furo padrão	Diâmetro do furo alargado	Dimensões de um furo pouco alongado	Dimensões um furo muito alongado
Dimensões em mm	$\leq 24$	$d + 1,5$	$d + 5$	$(d+1,5) \times (d+6)$	$(d+1,5) \times 2,5d$
	27	28,5	33	$28,5 \times 35$	$28,5 \times 67,5$
	$\geq 30$	$d + 1,5$	$d + 8$	$(d+1,5) \times (d+9,5)$	$(d+1,5) \times 2,5d$
Dimensões em polegadas	$\leq 7/8"$	$d + 1/16"$	$d + 3/16"$	$(d+1/16") \times (d+1/4")$	$(d+1/16") \times 2,5d$
	1"	$1 1/16"$	$1 1/4"$	$1 1/16" \times 1 5/16"$	$1 1/16" \times 2 1/2"$
	$\geq 1 1/8"$	$d + 1/16"$	$d + 5/16"$	$(d+1/16") \times (d+3/8")$	$(d+1/16") \times 2,5d$

A Tab. IV.8 fornece a resistência ao deslizamento de ligações por atrito onde não ocorre tração nos parafusos:

**Tab. IV.8** – Resistência ao deslizamento em ligações por atrito

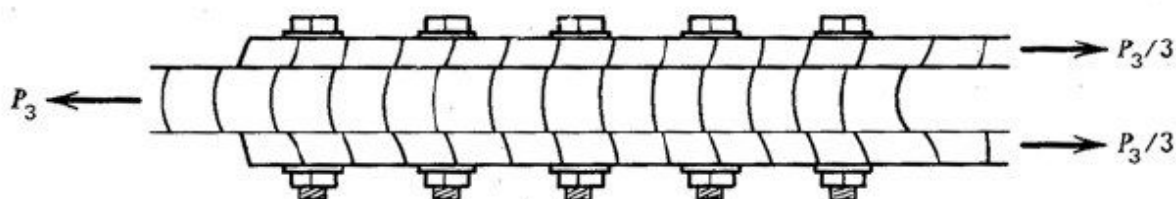
DIÂMETRO DO PARAFUSO	RESISTÊNCIA AO DESLIZAMENTO $\phi_v R_{nv}$ (kN)	
	PARAFUSO ASTM A-325	PARAFUSO ASTM A-490
1/2"	14,84	18,48
5/8"	23,80	29,68
3/4"	35,00	43,68
7/8"	48,44	60,48
1"	63,56	79,24
1 1/8"	70,00	99,96
1 1/4"	88,76	126,84
1 1/2"	128,80	184,52

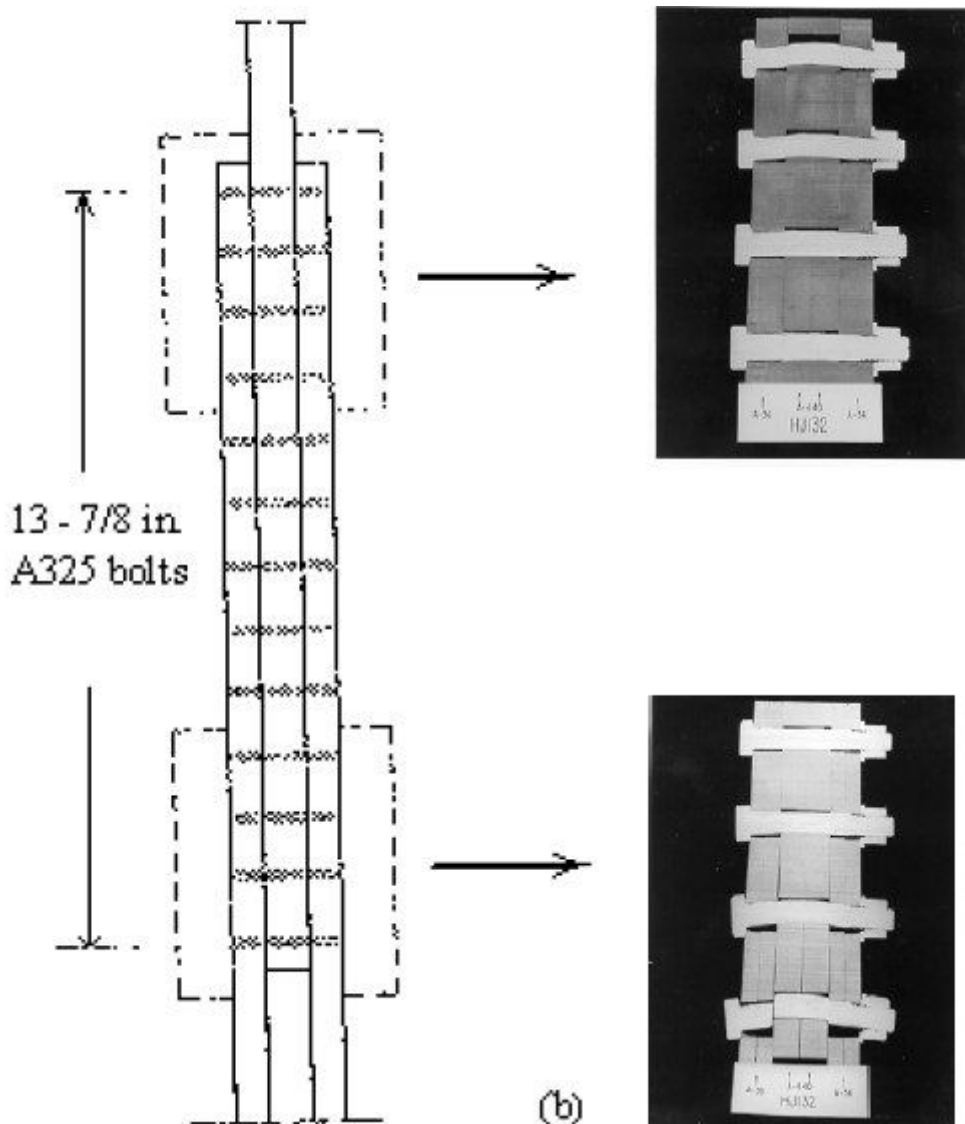
**NOTAS:**

- 1 – A resistência ao deslizamento não pode ser superposta à resistência do parafuso ao corte.
- 2 – A tabela é aplicável a ligações parafusadas em que os parafusos não estejam sujeitos à força de tração ( $T=0$ ).
- 3 – Os furos da ligação são padrão ( $\xi = 1$ ) e o coeficiente de atrito das superfícies de contacto  $\mu$  é 0,28.
- 4 – Esta tabela só é aplicável ao Método dos Estados Limites, não se aplicando ao Método das Tensões Admissíveis. As solicitações nominais deverão ser majoradas pelos respectivos coeficientes de ponderação.

### III.4.7 – PARAFUSOS COM PEGA LONGA E LIGAÇÕES DE GRANDE COMPRIMENTO

Exceto nos casos dos parafusos de alta resistência ASTM A 325 e ASTM A 490, que são montados com protensão inicial, quando o comprimento de pega excede "5d" o número necessário de parafusos ou barras rosqueadas deve ser aumentado 1 por cento para cada 1,5 mm adicionais de pega (d = diâmetro do parafuso ou barra rosqueada). Quando ligações por contato, usadas em emendas de barras tracionadas, tiverem um comprimento superior a 630 mm na direção da força externa, a força cortante de cálculo " $V_d$ " nos parafusos, bem como a solicitação de cálculo usada para verificar pressão de contato em furos, serão multiplicadas por 1,25 para levar em conta a distribuição não uniforme da força externa pelos parafusos (Fig. IV.9).





**Fig.IV.9** – Distribuição não uniforme da força pelos parafusos

### III.4.8 – PARAFUSOS COM VÁRIOS PLANOS DE CORTE

Nas juntas parafusadas sobrepostas (solicitação de corte) usualmente se tem um ou dois planos de corte. Nestes casos se diz que o parafuso está submetido a **cisalhamento simples** ou **cisalhamento duplo**, respectivamente. Tanto para as ligações por contato quanto para as ligações por atrito, quando um parafuso está submetido a cisalhamento duplo a sua resistência ao corte (ou ao deslizamento) dobra. Para os casos de mais planos de cisalhamento a solicitação em cada plano de corte deve ser avaliada pelo esforço transmitido pela chapa.