



PARAFUSOS

TÓPICOS ABORDADOS

- 1. INTRODUÇÃO**
 - 2. TIPOS DE PARAFUSOS**
 - 3. TIPOS DE ROSCA**
 - 4. DEFINIÇÕES**
 - 5. MATERIAIS E SIMBOLOGIA**
 - 6. PROCESSO DE FABRICAÇÃO**
 - 7. PARAFUSO DE TRANSMISSÃO**
 - 8. DIMENSIONAMENTO - EXERCÍCIOS**
 - 9. UNIÃO POR PARAFUSOS**
- EXERCÍCIOS**

1. INTRODUÇÃO

- Parafusos são elementos de

{

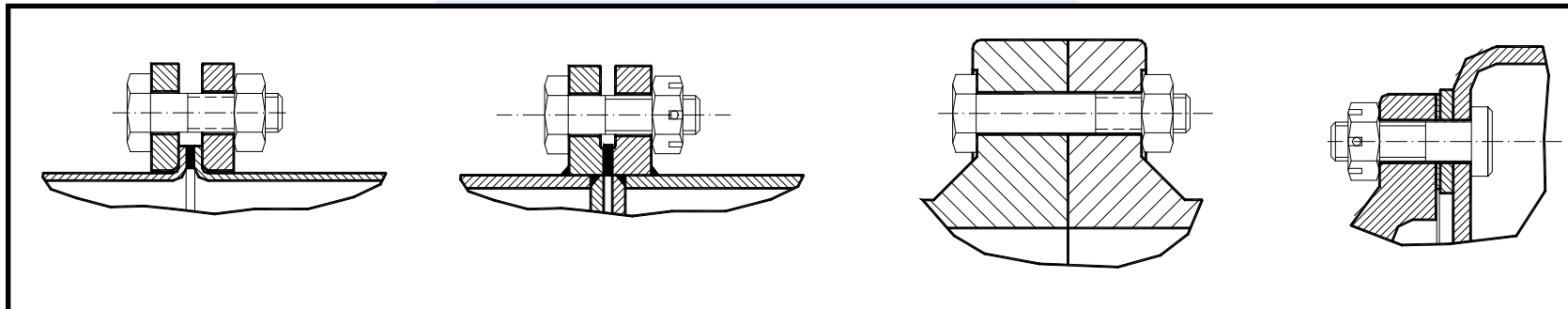
UNIÃO

ou

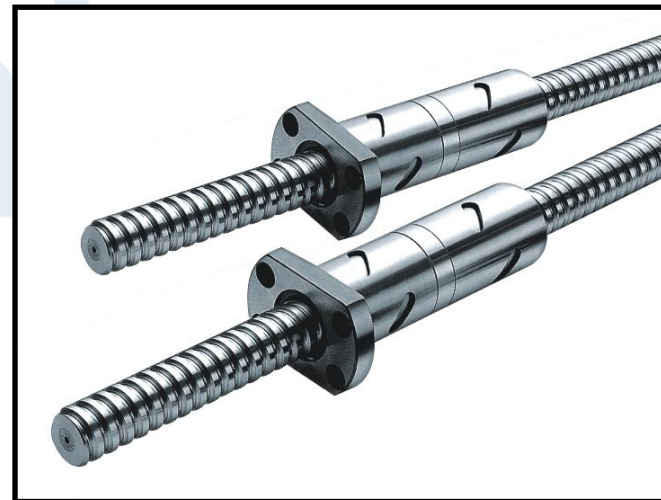
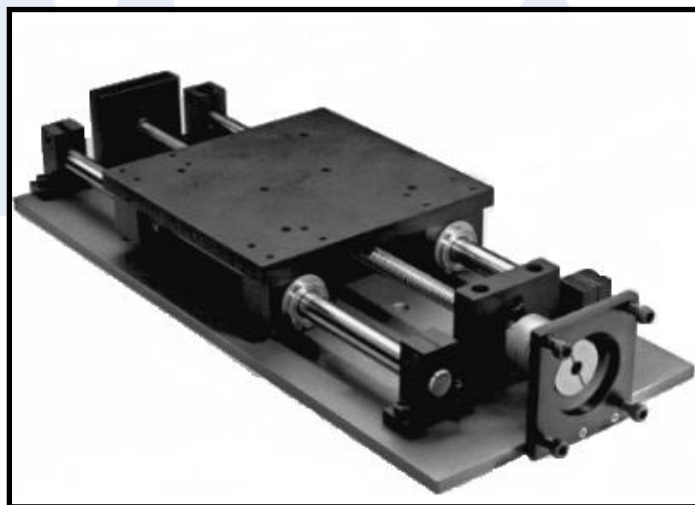
TRANSMISSÃO
- São fabricados nas mais diferentes configurações, variando principalmente:
 - a geometria e as dimensões
 - o tipo de rosca
 - o material de fabricação
 - as formas de cabeça
 - o processo de fabricação

1. INTRODUÇÃO

Parafusos de União



Parafusos de Transmissão



2. TIPOS DE PARAFUSOS



Parafuso hexagonal ou sextavado, porcas, arruelas e arruelas de pressão.

2. TIPOS DE PARAFUSOS

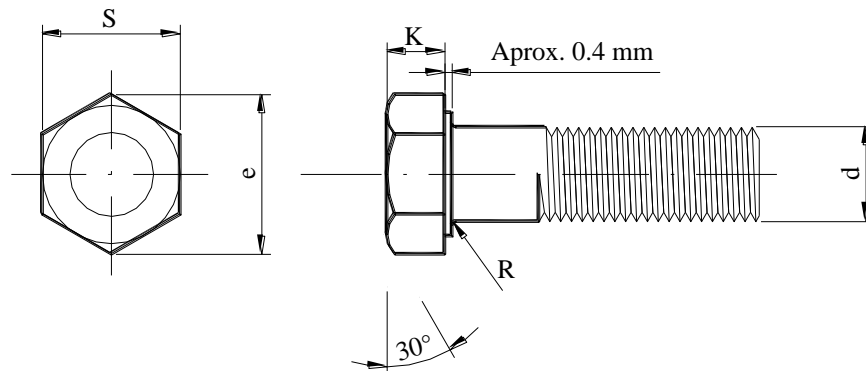


*Parafuso e porcas,
especiais.*

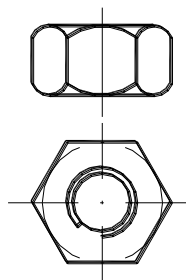
2. TIPOS DE PARAFUSOS

Representações gráficas

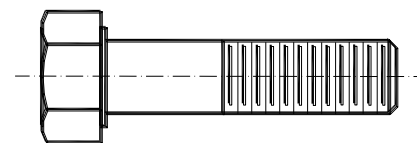
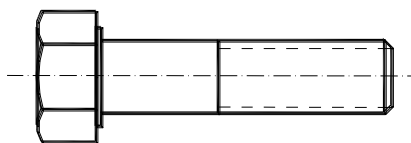
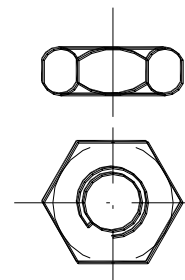
Parafuso Hexagonal (Sextavado)



Porca Sextavada



Porca Sextavada Chata



2. TIPOS DE PARAFUSOS

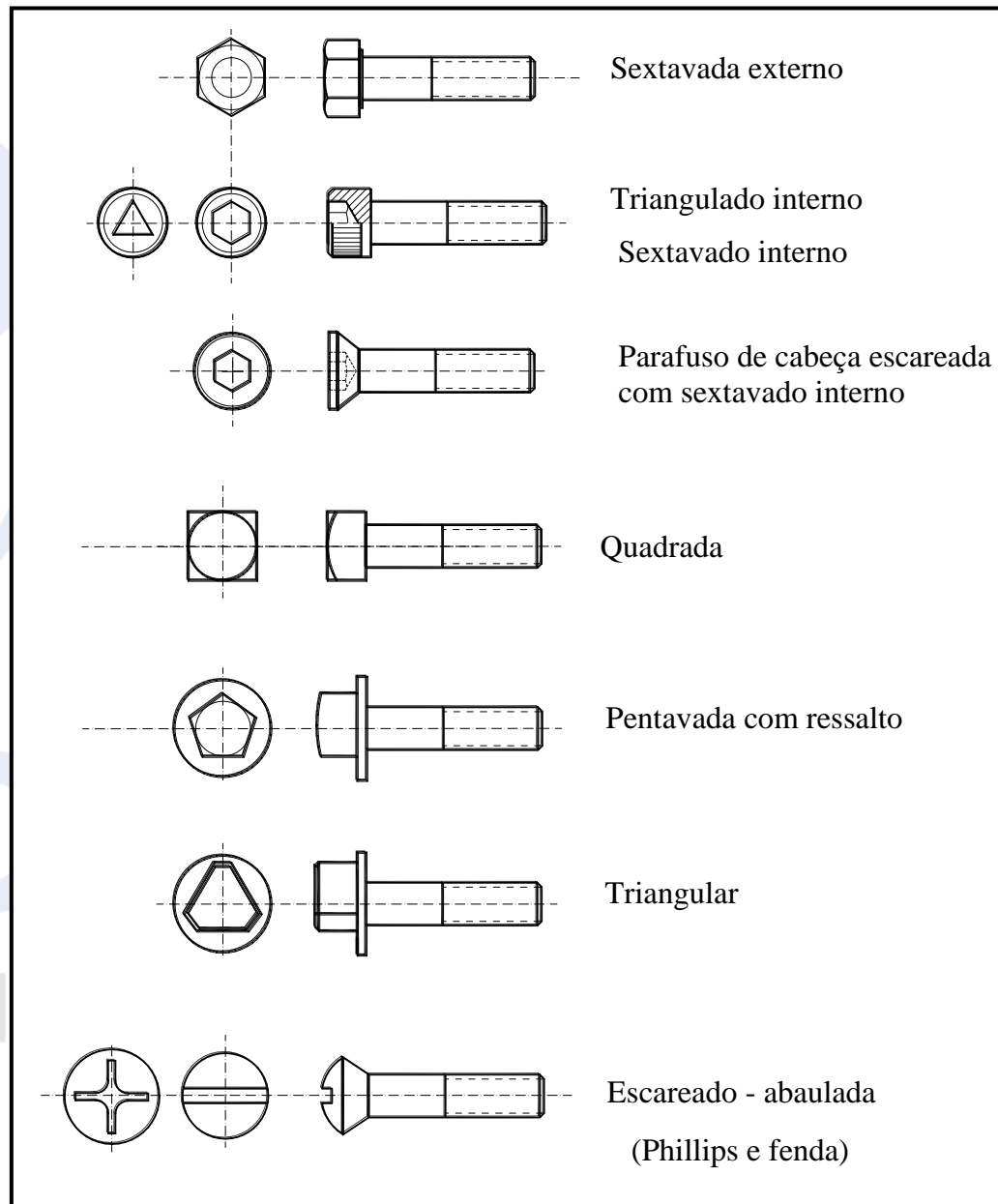


Parafusos “Allen”

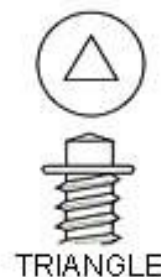
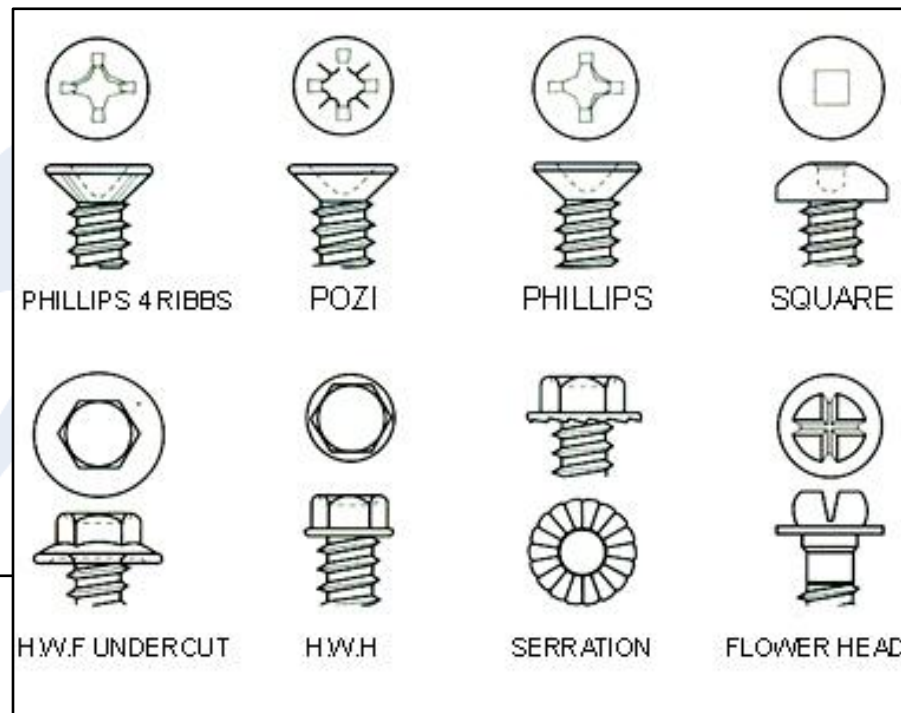
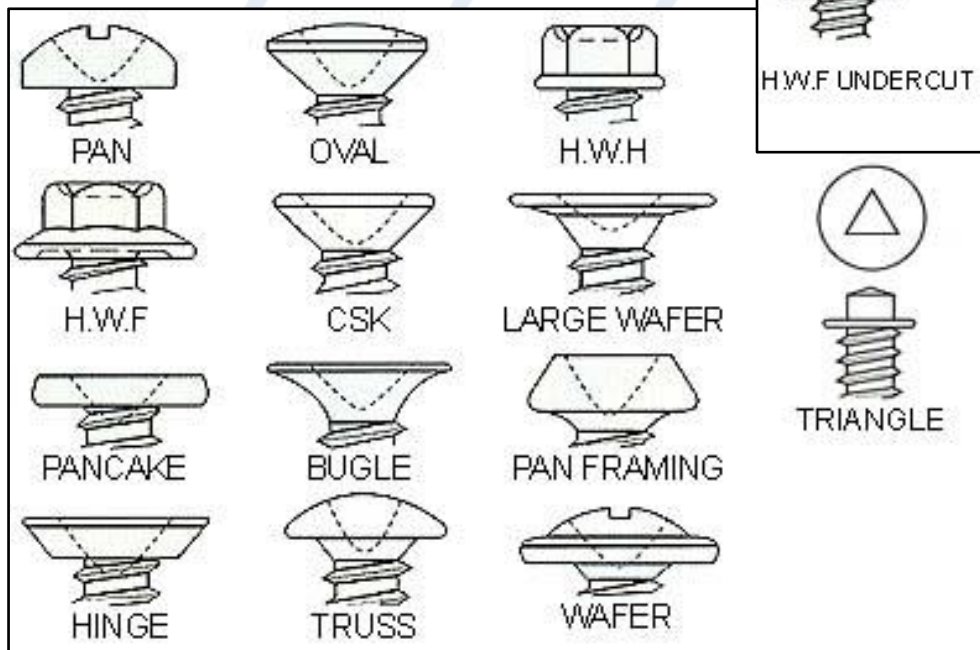


2. TIPOS DE PARAFUSOS

Parafusos “Allen”

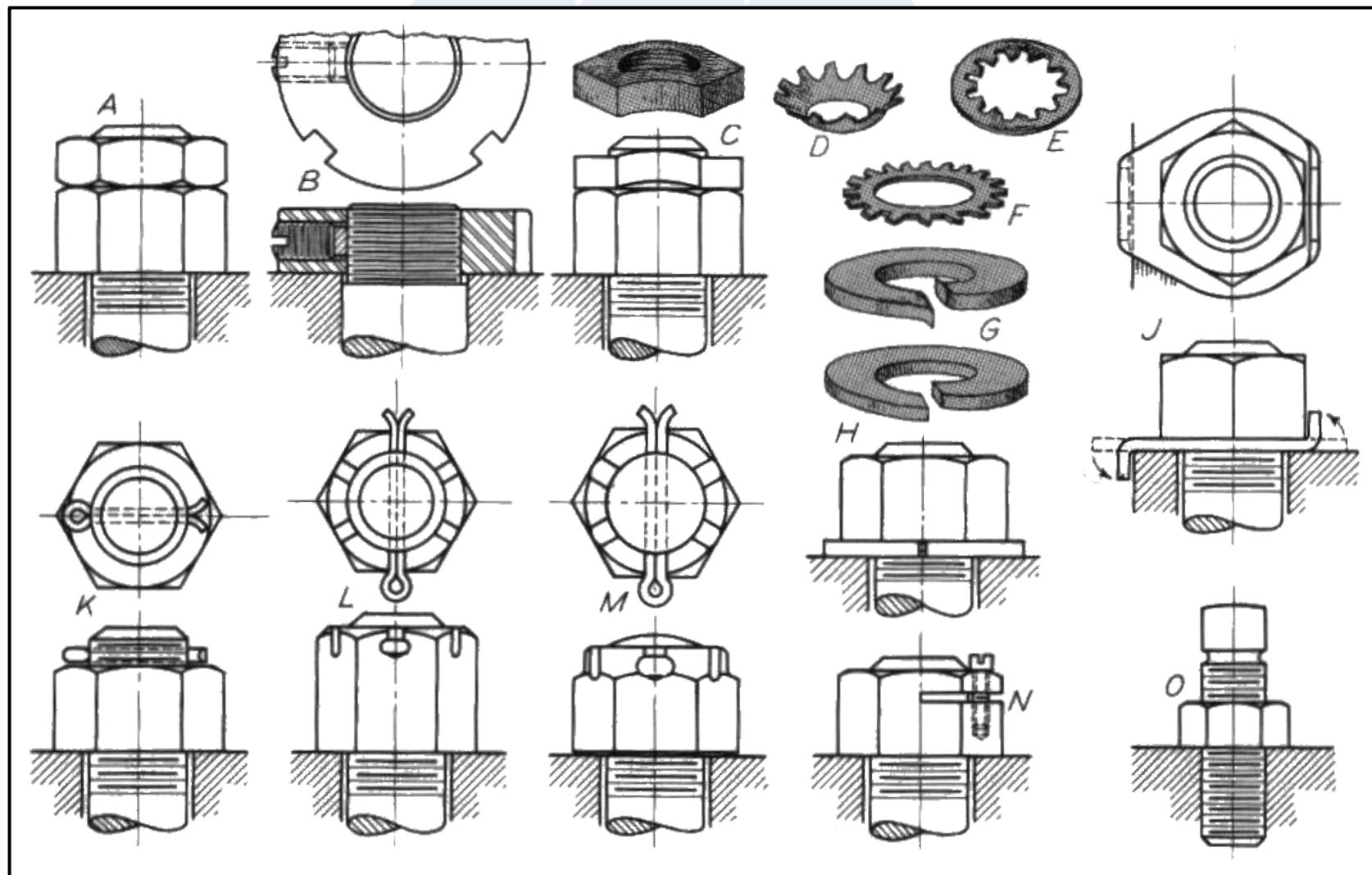


2. TIPOS DE PARAFUSOS

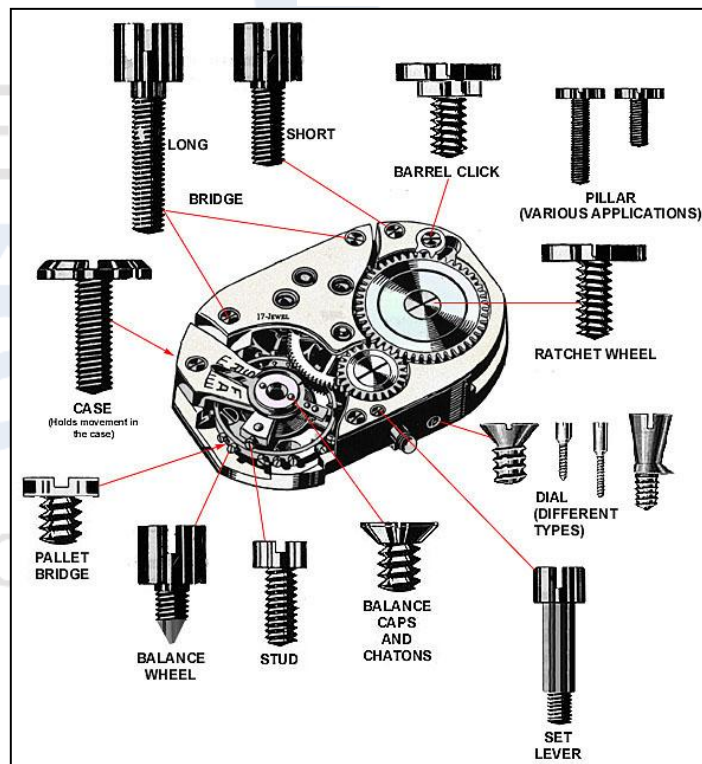


Diversas formas e geometrias de cabeças de parafusos.

2. TIPOS DE PARAFUSOS - Travamento de porcas

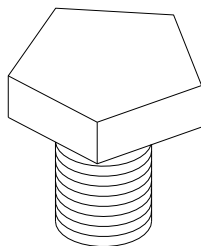


2. TIPOS DE PARAFUSOS - Aplicações especiais

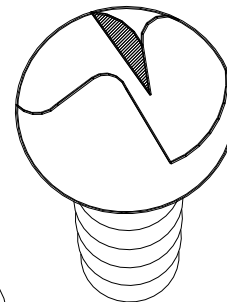


2. TIPOS DE PARAFUSOS - Aplicações especiais

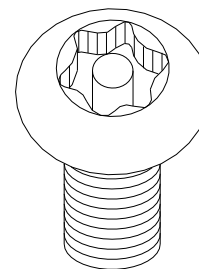
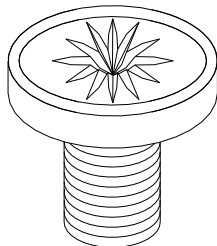
Parafuso Pentavado



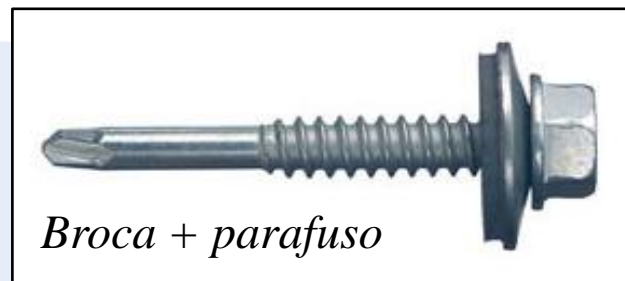
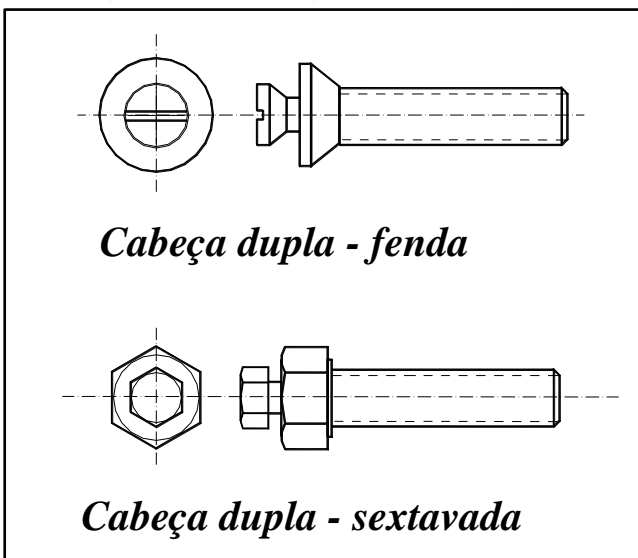
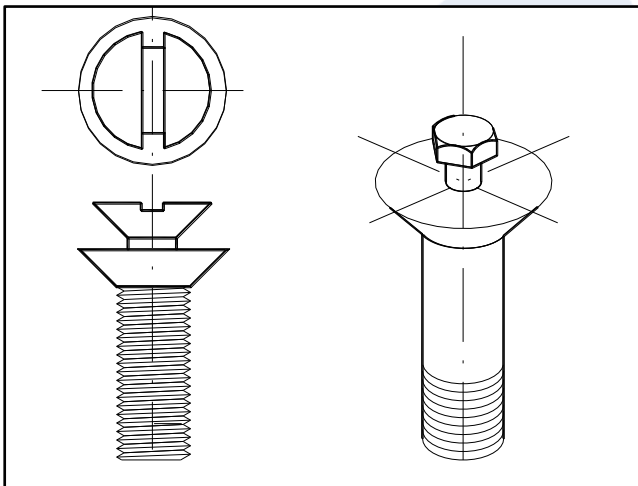
***Torção
Unidirecional***



***Cabeças
especiais***



2. TIPOS DE PARAFUSOS - Aplicações especiais



Existe ?

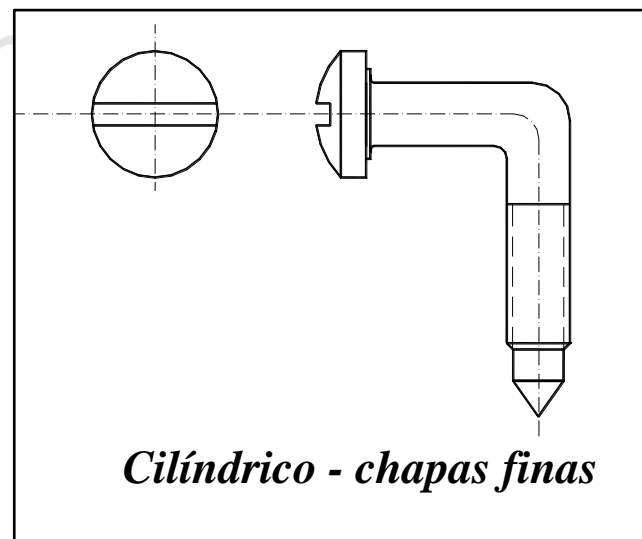
☒ Sim

☐ Não

Existe ?

☒ Sim

☐ Não



Existe ?

☐ Sim

☒ Não

3. TIPOS DE ROSCA

3.1) Métrica

3.2) Quadrada

3.3) ACME

3.4) Apoio

3.5) Whitworth

3.6) Redonda



3. TIPOS DE ROSCA

3.1) Rosca Métrica

P = passo

H = altura do triângulo fundamental = $0.86603 \cdot P$

$D = d$ = diâmetro nominal da rosca (maior diâmetro)

$$D_2 = d_2 = d_m = d - \frac{3}{4}H = d - 0.64953 \cdot P$$

$$D_1 = d_2 - 2 \cdot \left(\frac{H}{2} - \frac{H}{4} \right) = d - 2 \cdot h_i = d - 1.08253 \cdot P$$

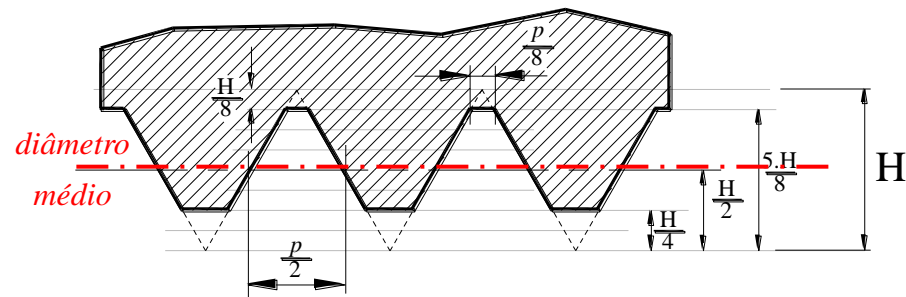
$$d_1 = d_2 - 2 \cdot \left(\frac{H}{2} - \frac{H}{6} \right) = d - 1.22687 \cdot P$$

$$h_i = \frac{5}{8} \cdot H = 0.54127 \cdot P$$

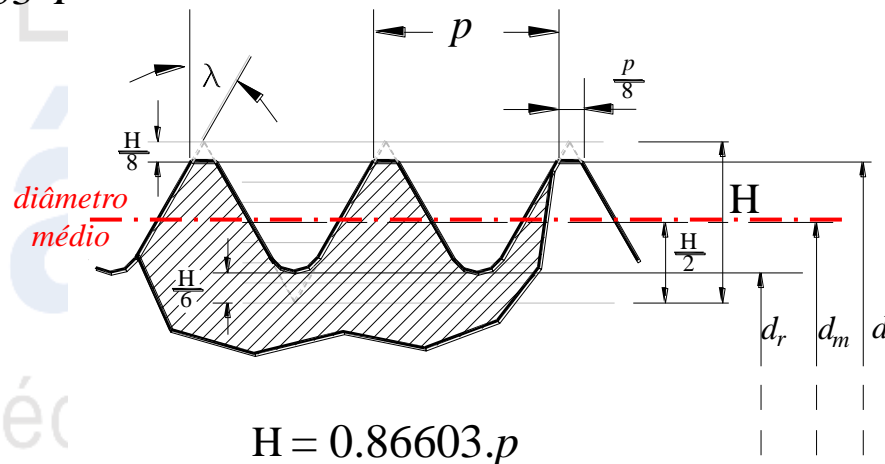
$$h_e = \frac{17}{24} \cdot H = 0.61343 \cdot P$$

$$R = \frac{H}{6} = 0.14434 \cdot P$$

Rosca Interna (porca)



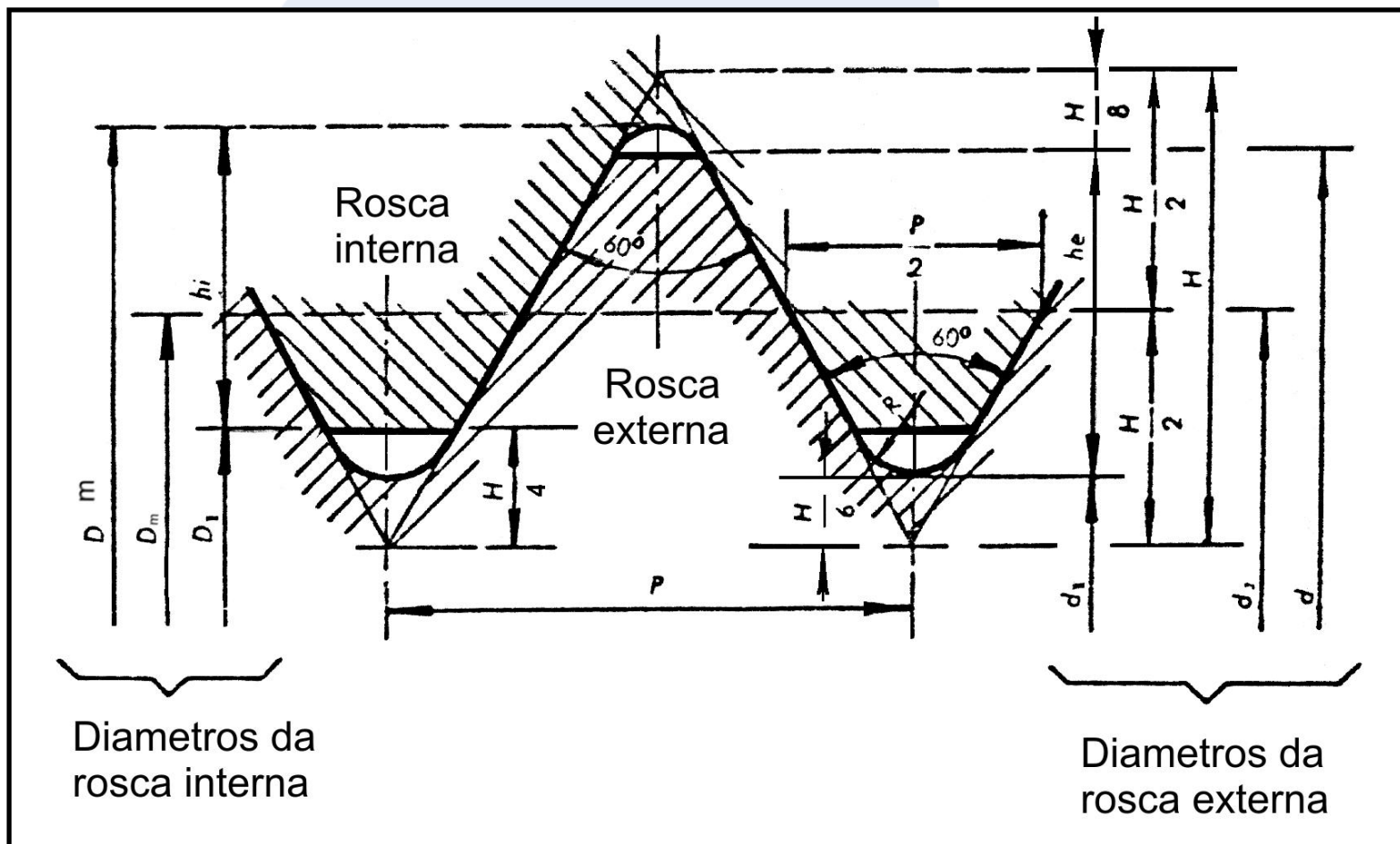
Passo



Rosca Externa (parafuso)

3. TIPOS DE ROSCA

3.1) Rosca Métrica - padronização



3. TIPOS DE ROSCA

3.1) Rosca Métrica

- Designação:

parafuso M12 x 1.75 x 60
classe 5.8

- Aplicação:

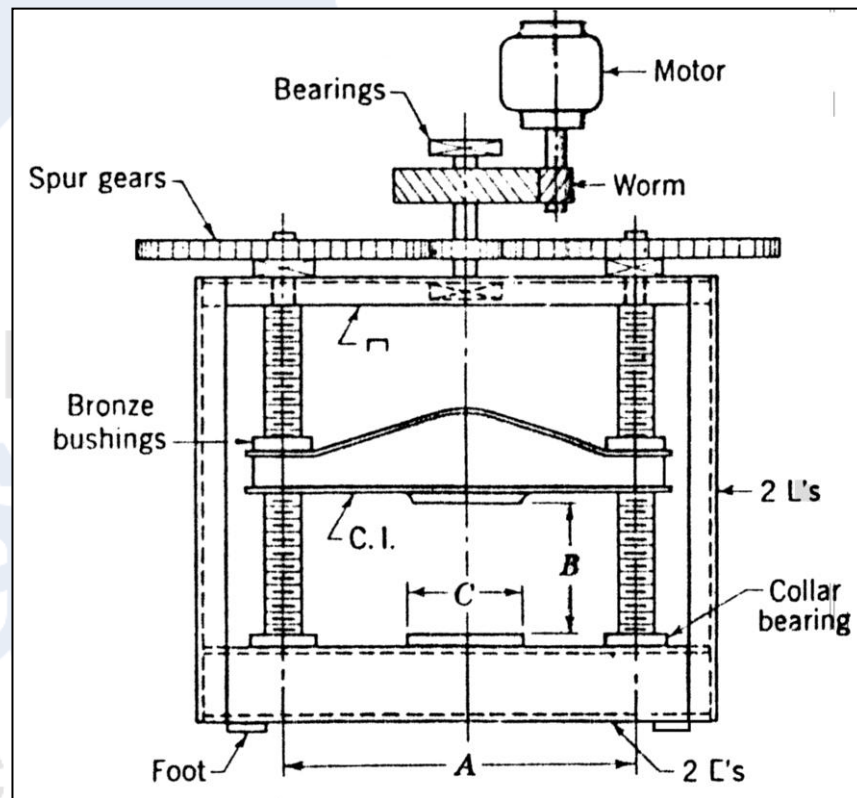
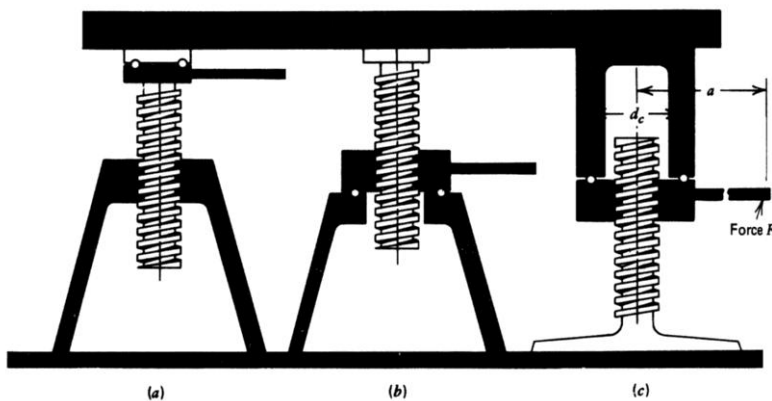
Indústria em geral.

*Tabela 1 – dimensões
padronizadas e área
sob tensão*

Diâmetro Nominal (Maior) d [mm]	Passo grosso			Passo fino		
	Passo P [mm]	Área sob tração - A [mm ²]	Área do diâmetro menor [mm ²]	Passo P [mm]	Área sob tração - A [mm ²]	Área do diâmetro menor [mm ²]
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36
10	1.5	58	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1120	1050	2	1260	1230
48	5	1470	1380	2	1670	1630
56	5.5	2030	1910	2	2300	2250
64	6	2680	2520	2	3030	2980
72	6	3460	3280	2	3860	3800
80	6	4340	4140	1.5	4850	4800
90	6	5590	5360	2	6100	6020
100	6	6990	6740	2	7560	7470
110				2	9180	9080

3. TIPOS DE ROSCA

3.2) Rosca Quadrada (transmissão)

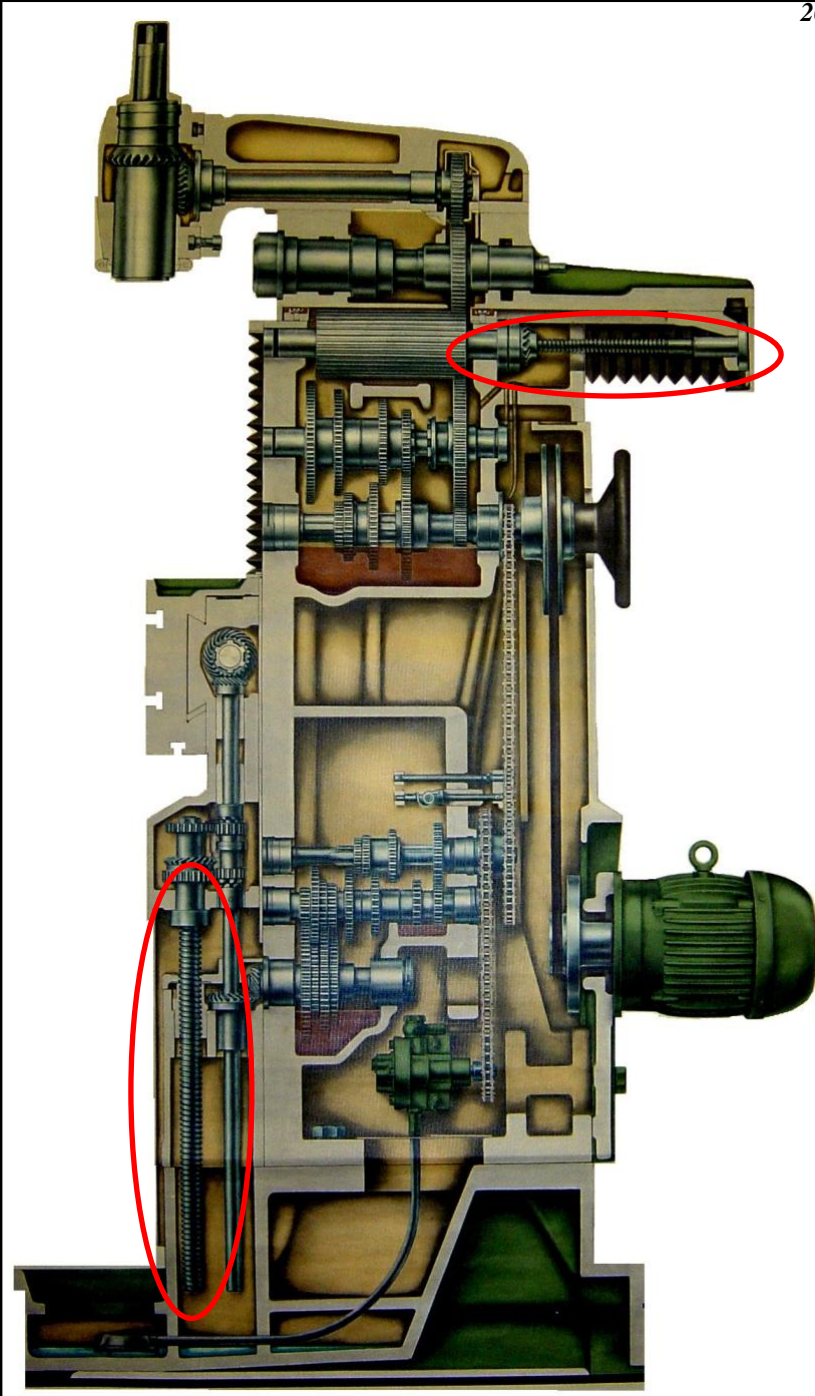


Exemplos de aplicação

3. TIPOS DE ROSCA

3.2) Rosca Quadrada (transmissão)

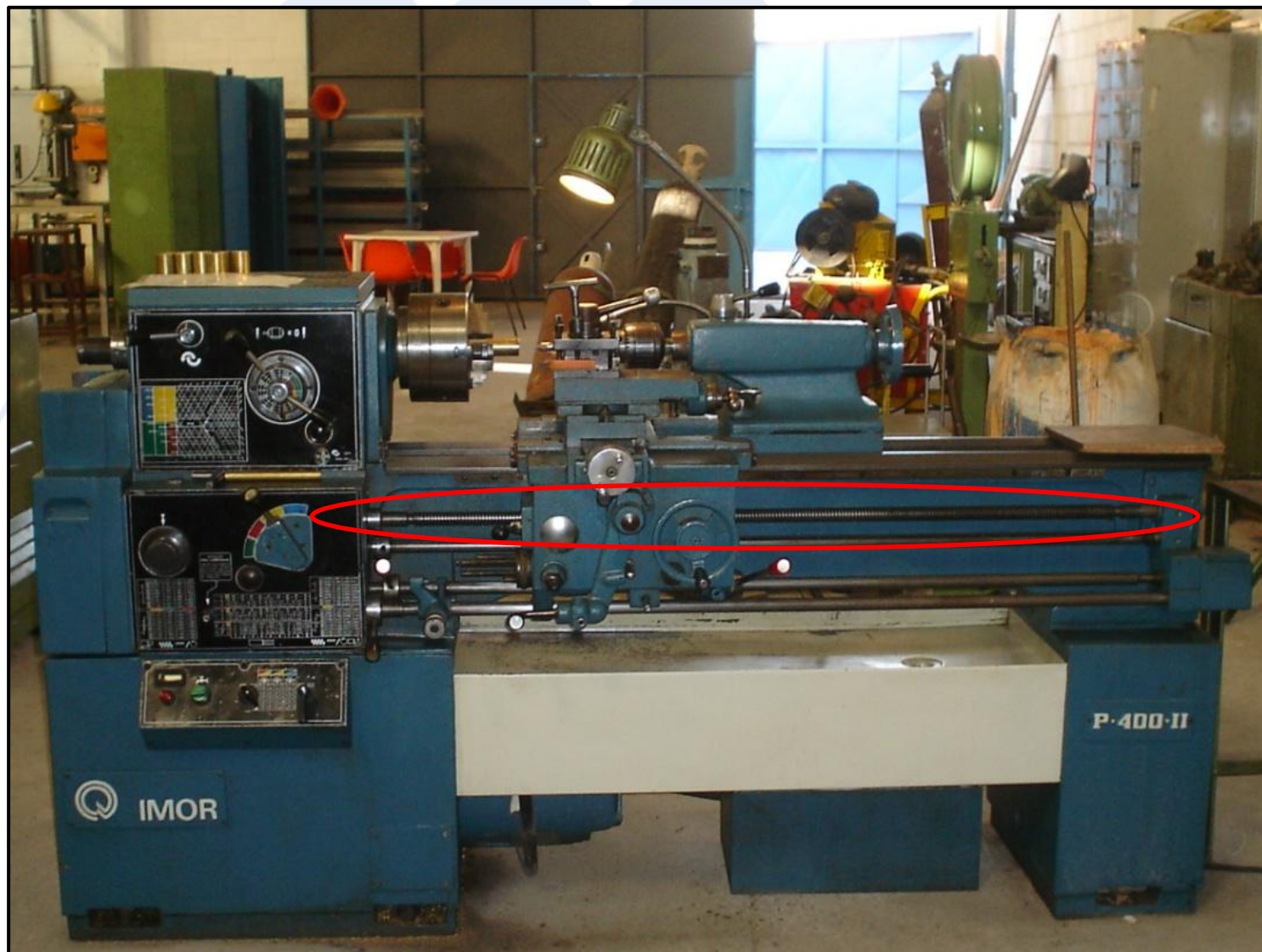
Exemplos de aplicação – M.Opt.



3. TIPOS DE ROSCA

3.2) Rosca Quadrada (transmissão)

Exemplos de aplicação – M.Opt.



3. TIPOS DE ROSCA

3.3) ACME (a) - Aplicação: Fusos

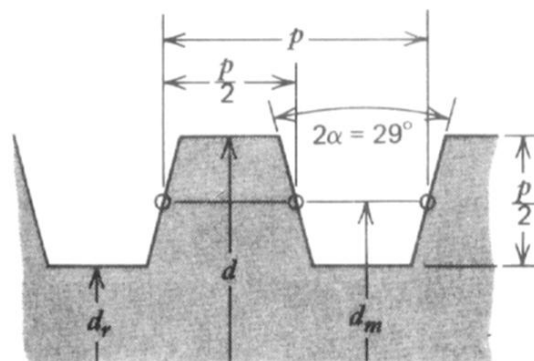
3.3) ACME stub (b) - Aplicação: Fusos

3.2) Quadrada (c)
(transmissão)

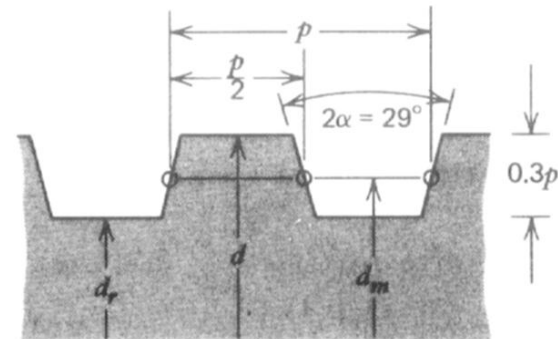
3.2) Quadrada (d)
modificada

3.4) Apoio (e)

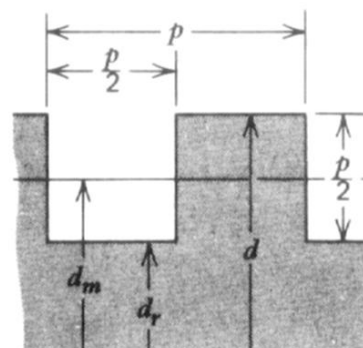
Aplicação: altas
forças em uma
direção



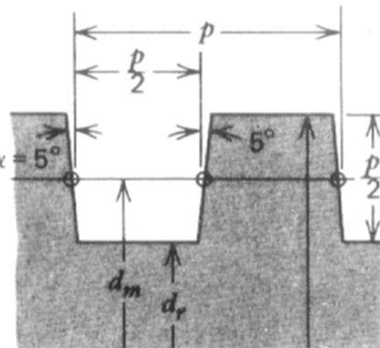
(a) Acme



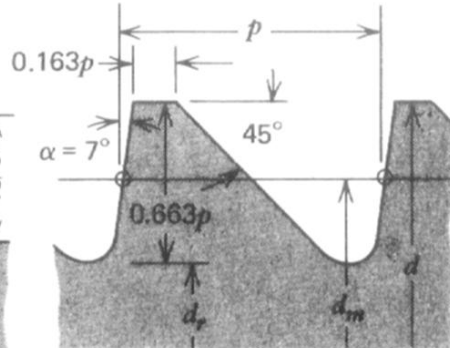
(b) Acme stub



(c) Square



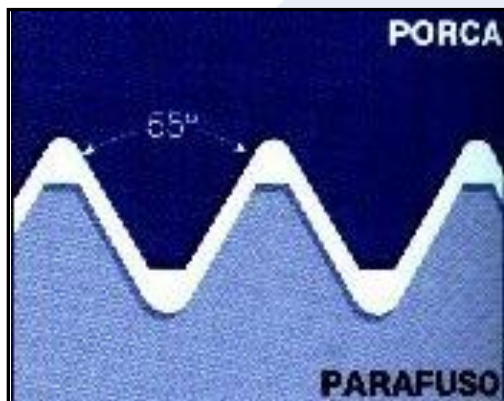
(d) Modified square



(e) Buttress

3. TIPOS DE ROSCA

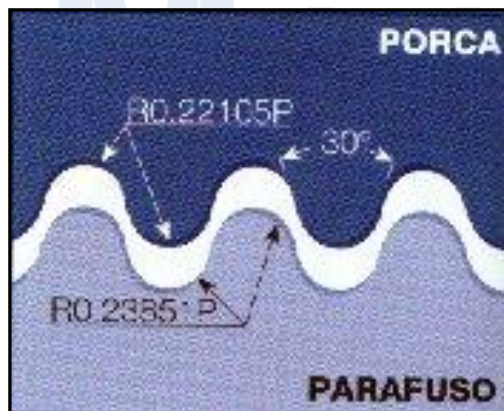
3.5. Whitworth



- Rosca 55°

- Aplicação: Indústria em geral

3.6. Redonda



- Aplicação: Acoplamentos de tubos, lâmpadas

4. DEFINIÇÕES

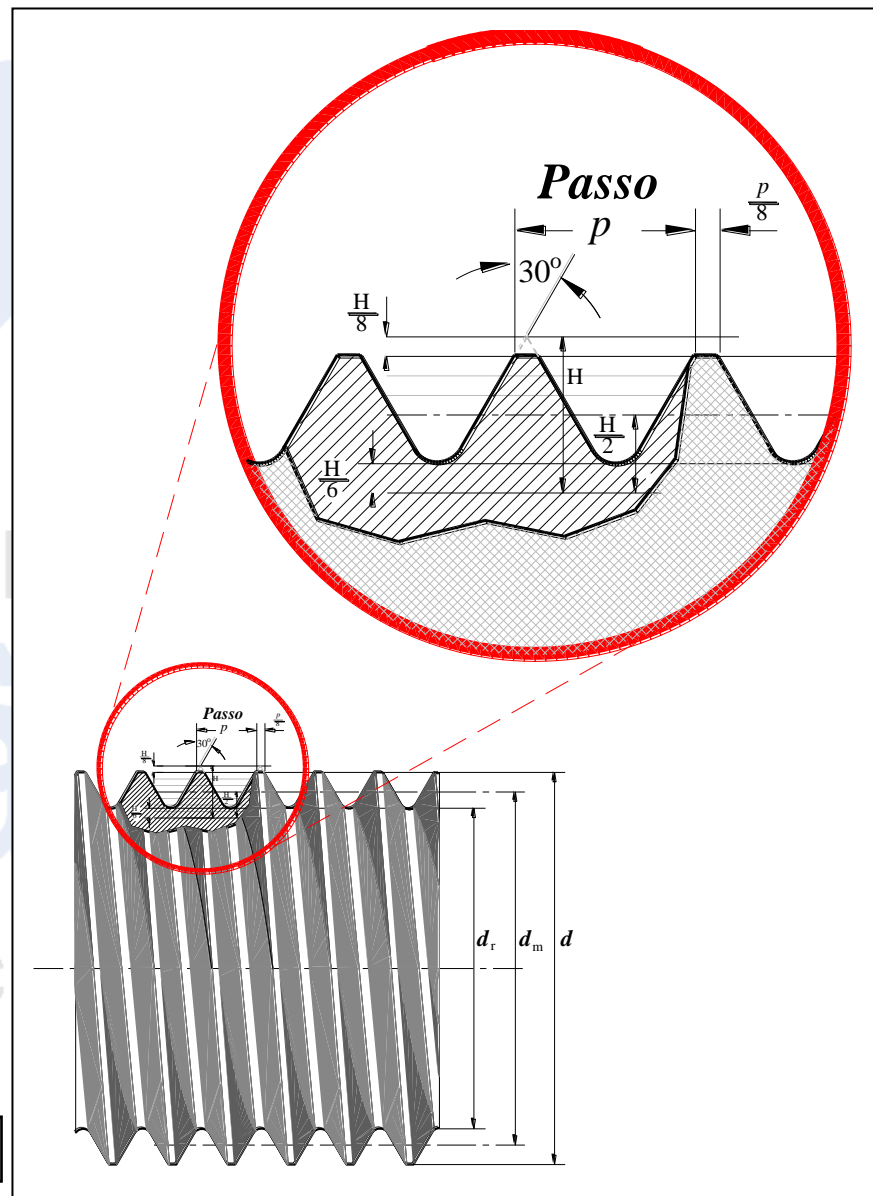
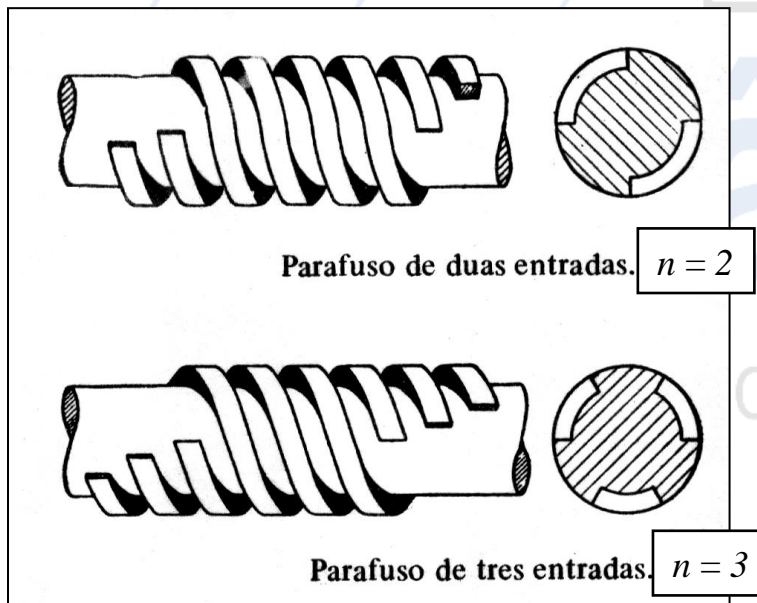
$$\ell \rightarrow \text{avanço} \quad \ell = n \times p$$

onde:

- avanço (ℓ) = distância percorrida em 1 volta (360°)
- $n = n^\circ$ de entradas do parafuso

$\lambda \rightarrow$ ângulo de inclinação da rosca

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{\ell}{\pi \cdot d_m}$$



5. MATERIAIS E SIMBOLOGIA

Os parafusos e porcas são normalmente selecionados baseado na resistência mecânica, vida, peso, resistência à corrosão, propriedades magnéticas, custo e etc.

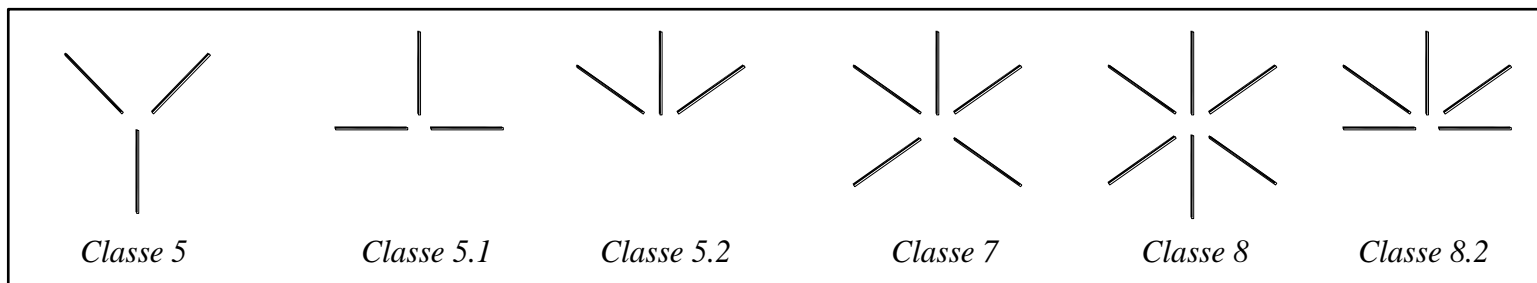
Os principais materiais são:

- Aço
- Ferro Fundido
- Latão, etc.



A resistência mecânica é especificada pelo grau ou classe do parafuso. As tabela 8-9, 8-10 e 8-11 fornecem o valor desta resistência.

Simbologia:



6. PROCESSO DE FABRICAÇÃO

6.1. Processos Manuais

- “Macho” e “Cossinete”

“Machos”

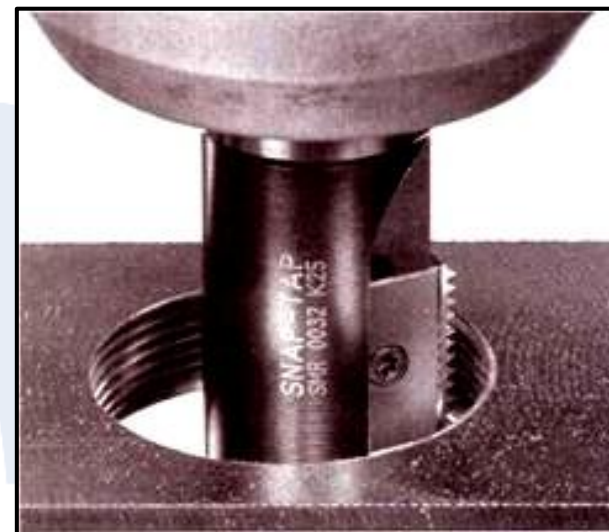
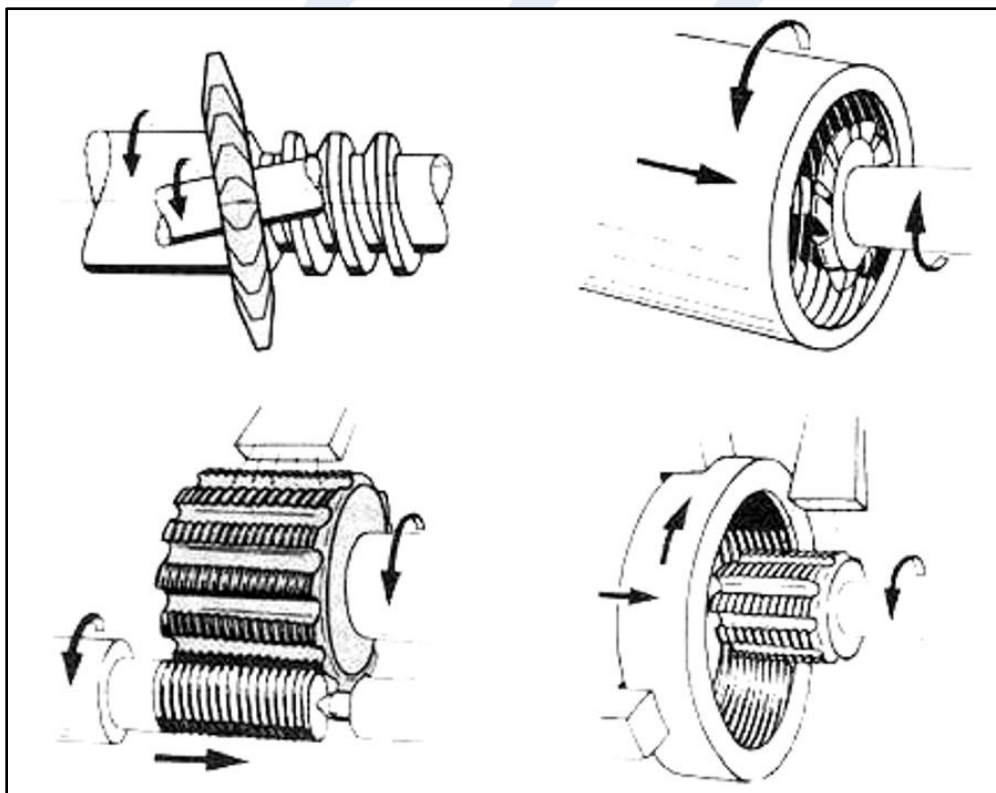


“Cossinete”

6. PROCESSO DE FABRICAÇÃO

6.2. Processos Automáticos

1. Usinagem - Fresamento de roscas



Fresamento de rosca interna



Fresamento de rosca externa

6. PROCESSO DE FABRICAÇÃO

6.2. Processos Automáticos

1. Usinagem - Torneamento de roscas

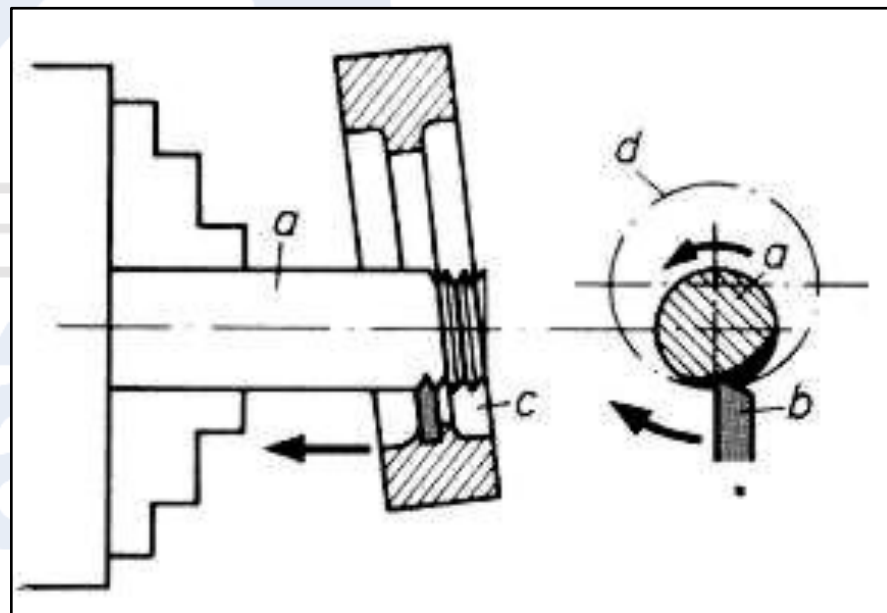


*Detalhe da ferramenta para
torneamento de rosca externa*

6. PROCESSO DE FABRICAÇÃO

6.2. Processos Automáticos

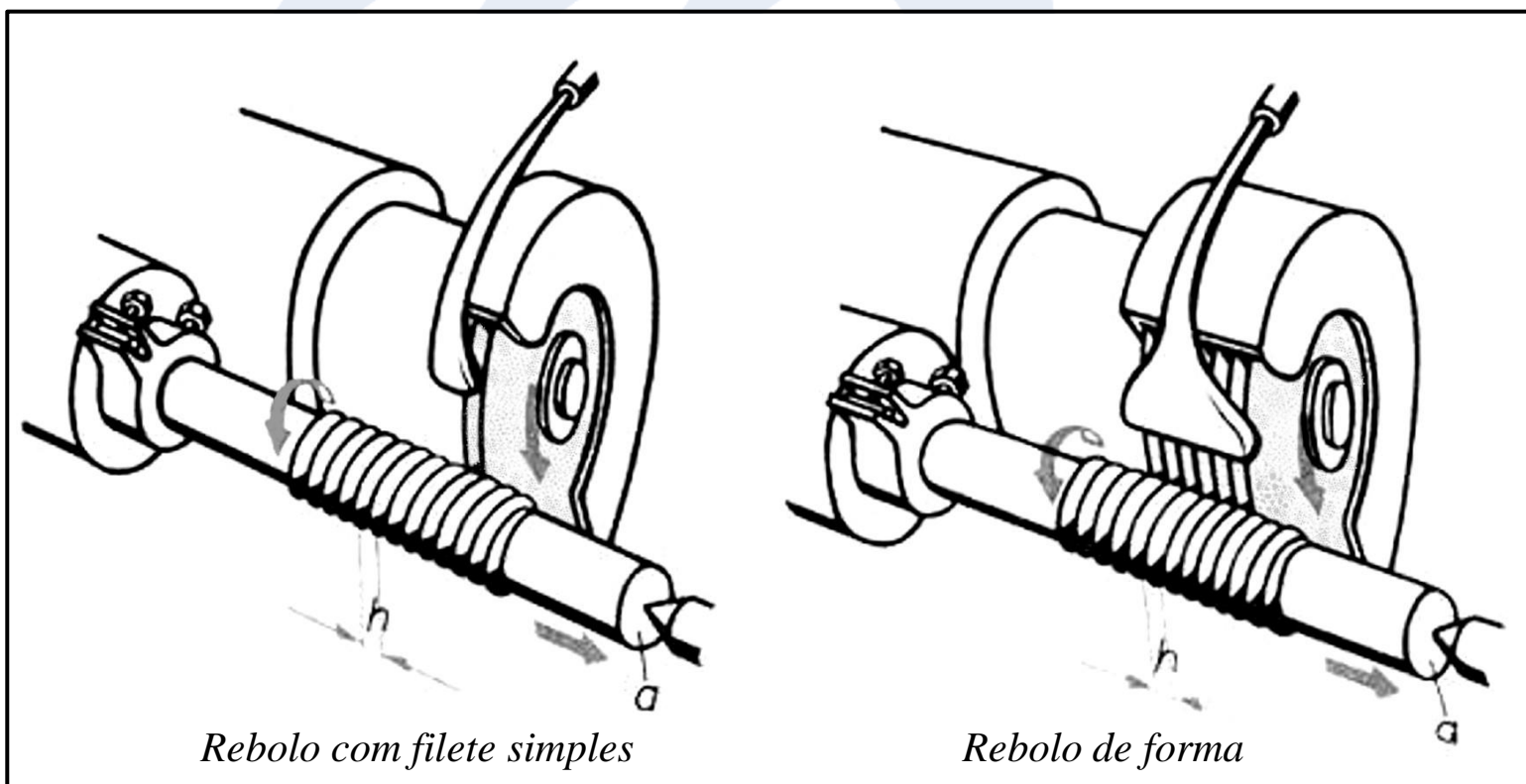
1. Usinagem - Turbilhonamento de roscas



6. PROCESSO DE FABRICAÇÃO

6.2. Processos Automáticos

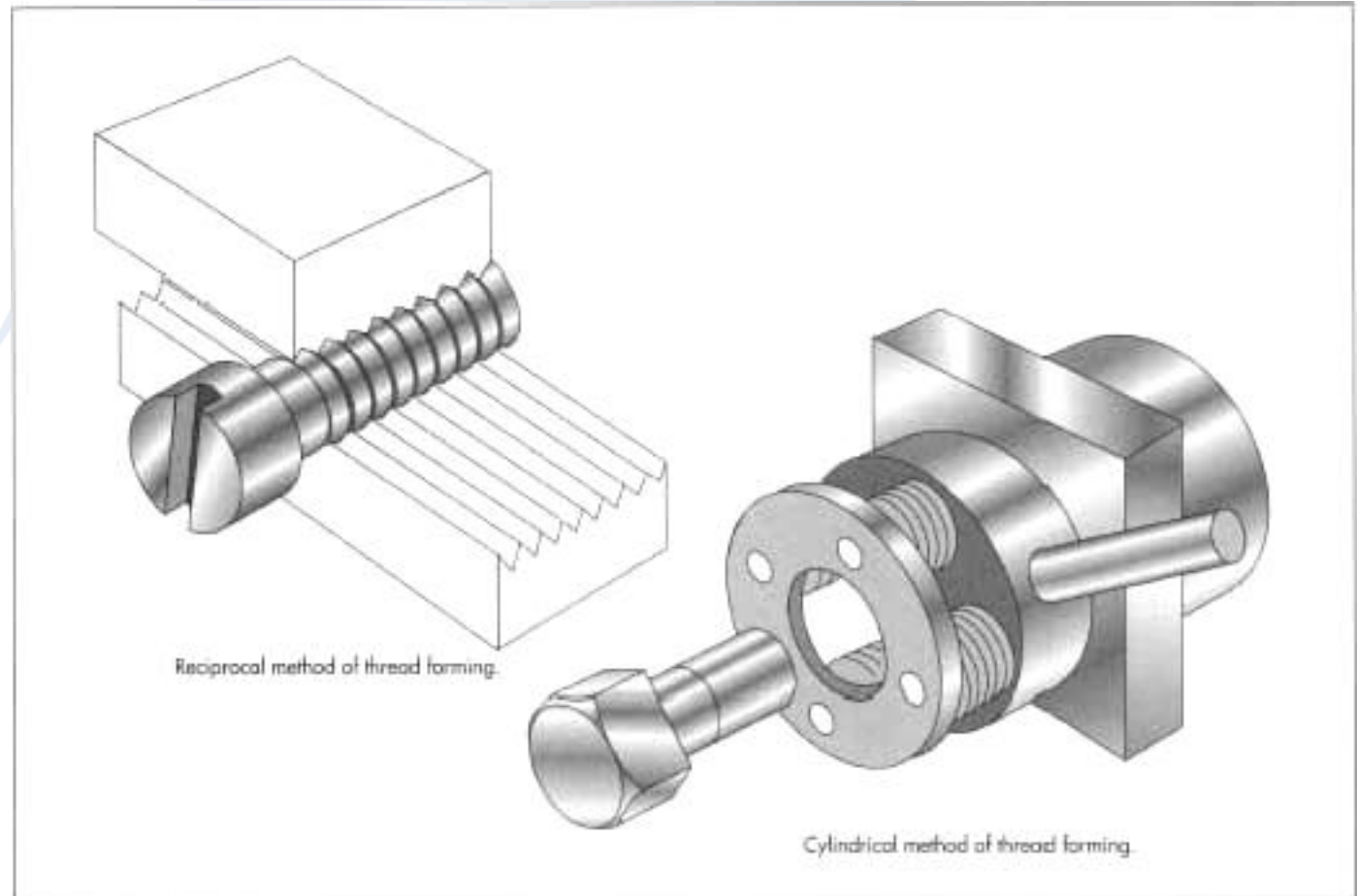
1. Usinagem - Retificação de roscas de precisão



6. PROCESSO DE FABRICAÇÃO

6.2. Processos Automáticos

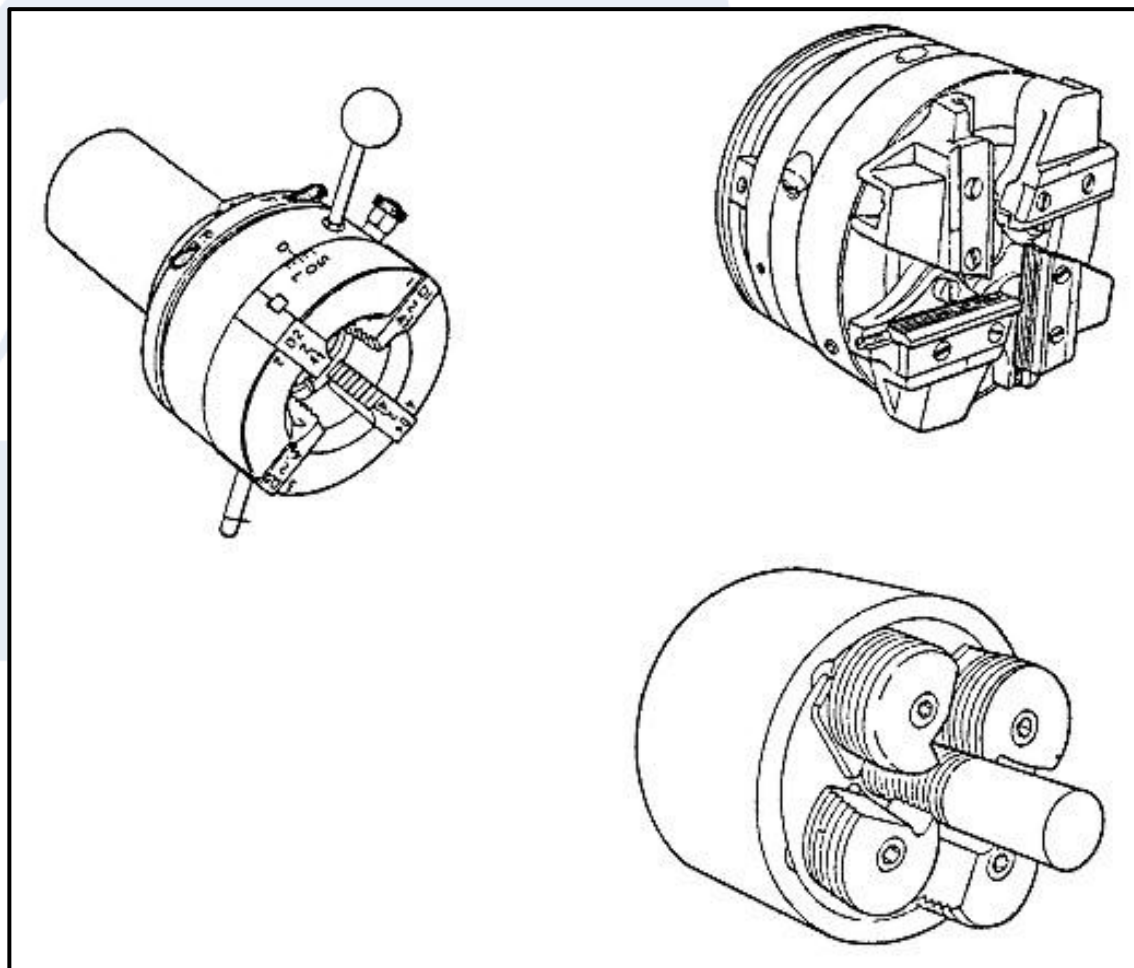
1. Usinagem - Rosqueamento com cabeçotes automáticos



6. PROCESSO DE FABRICAÇÃO

6.2. Processos Automáticos

1. Usinagem - Rosqueamento com cabeçotes automáticos

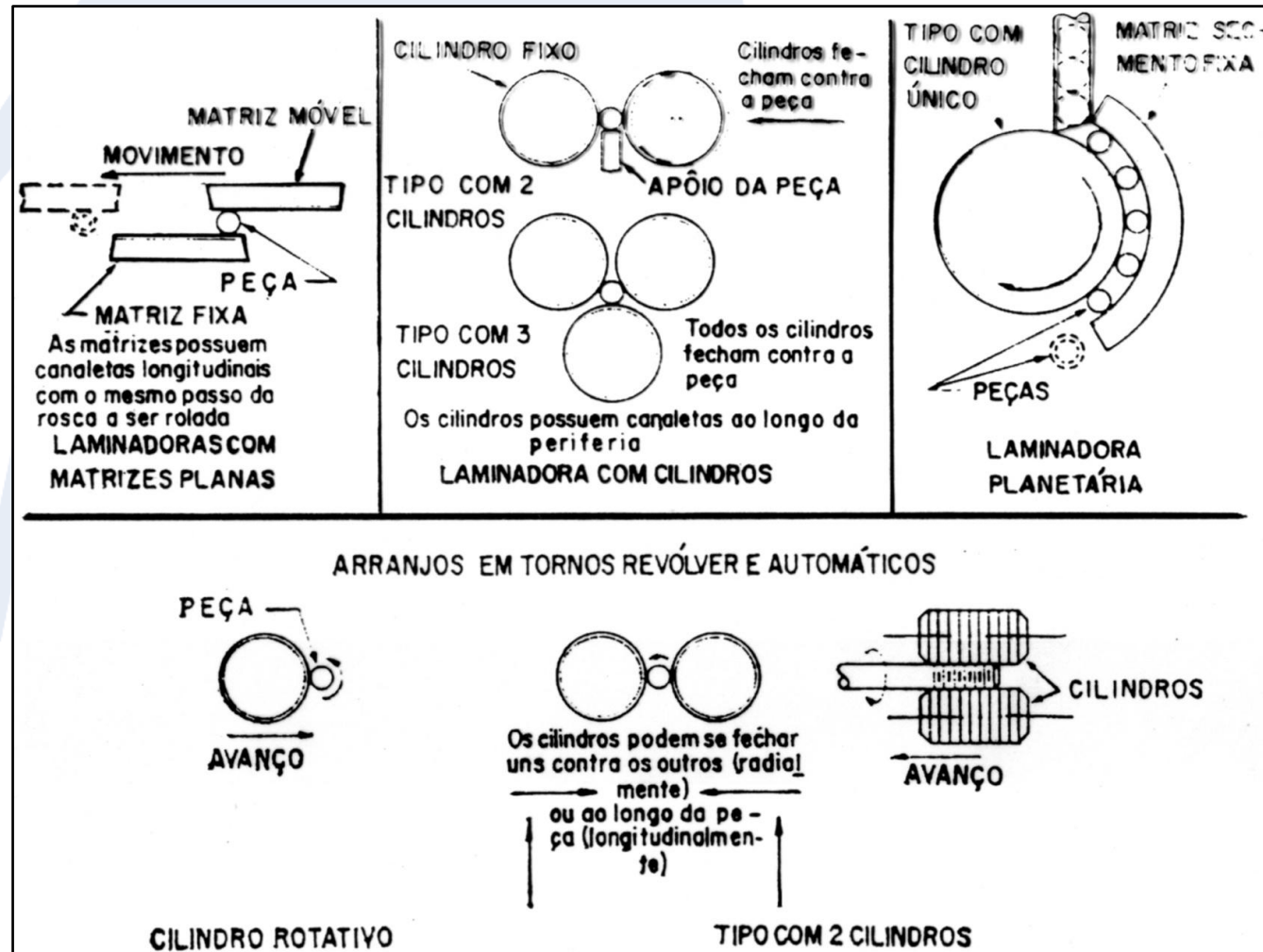


6. PROCESSO DE FABRICAÇÃO

6.2. Processos Automáticos

2. Conformação

- Rolamento
- Fresamento
- Laminadora planetária



6. PROCESSO DE FABRICAÇÃO

6.2. Processos Automáticos

2. Conformação

- *Rolamento*
- *Fresamento*
- *Laminadora planetária*



7. PARAFUSO DE TRANSMISSÃO *(de acionamento ou de potência)*

- *Normalmente rosca quadrada ou quadrada modificada.*
- *Transformar movimento angular em linear.*
- *Permitem grandes reduções (sem-fim/coróa)*
- *Pequenos deslocamentos (diferencial)*

Exemplos:

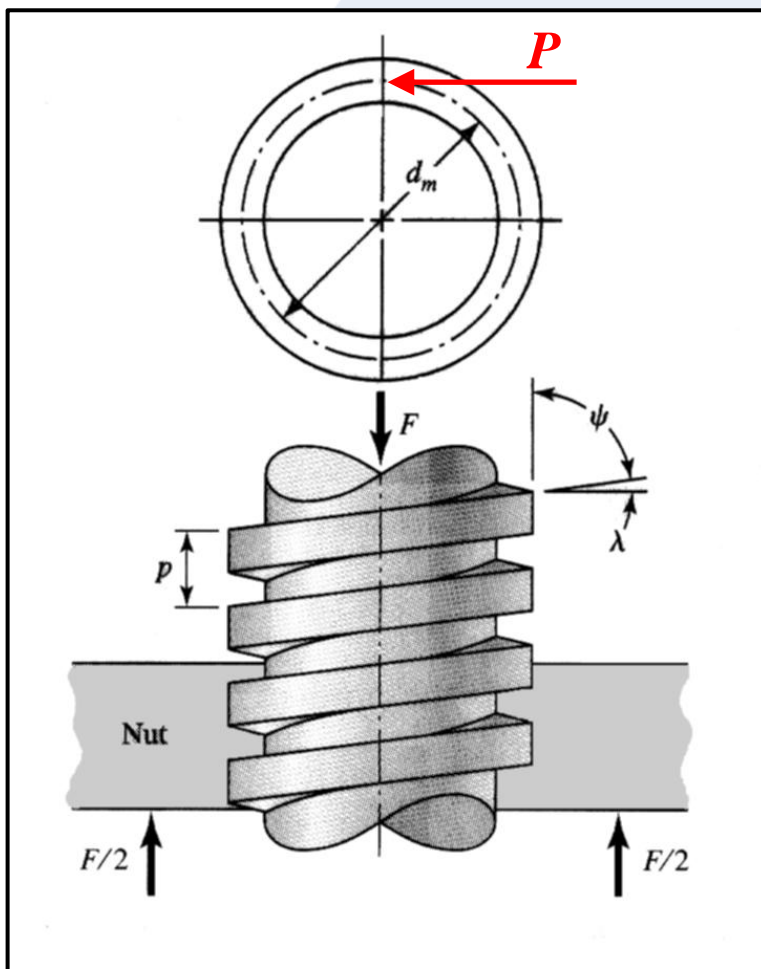
- *Fusos de máquinas operatrizes;*
- *Máquinas de tração;*
- *Máquinas elevadoras (“macaco” de automóvel);*
- *Presilhas em “C”;*



7. PARAFUSO DE TRANSMISSÃO

7.1. Torque para elevar (T_s) e baixar (T_d) uma carga F :

1. Rosca quadrada



$F \rightarrow$ Carga a ser deslocada

$P \rightarrow$ Esforço necessário

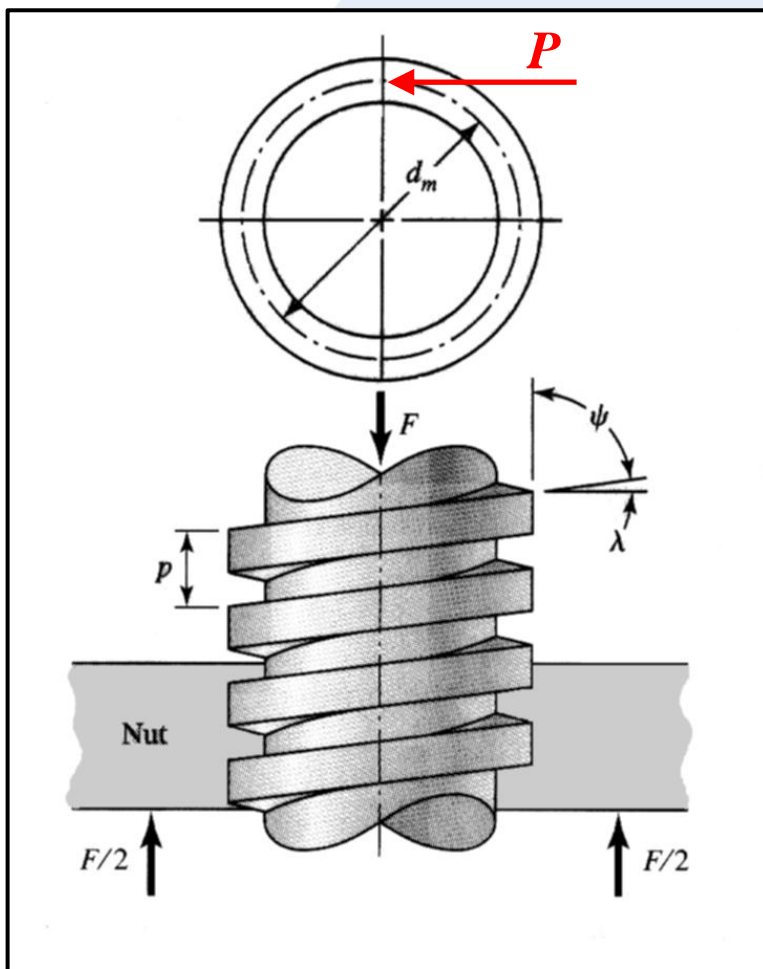
$T \rightarrow$ Torque para elevar ou baixar

$$T = P \cdot \frac{d_m}{2}$$

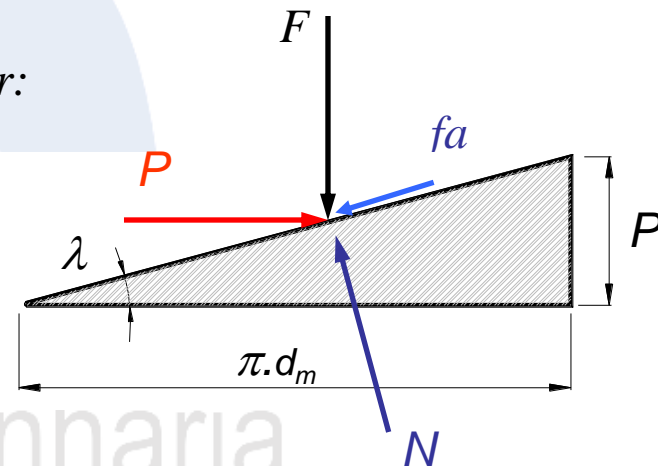
7. PARAFUSO DE TRANSMISSÃO

7.1. Torque para elevar (T_s) e baixar (T_d) uma carga F :

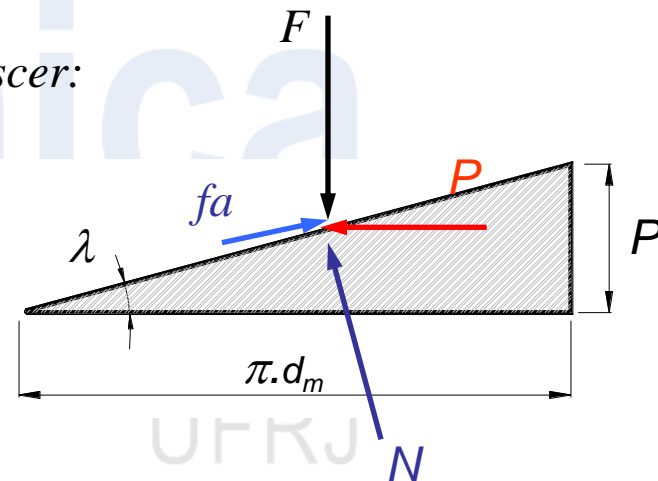
1. Rosca quadrada



Subir:



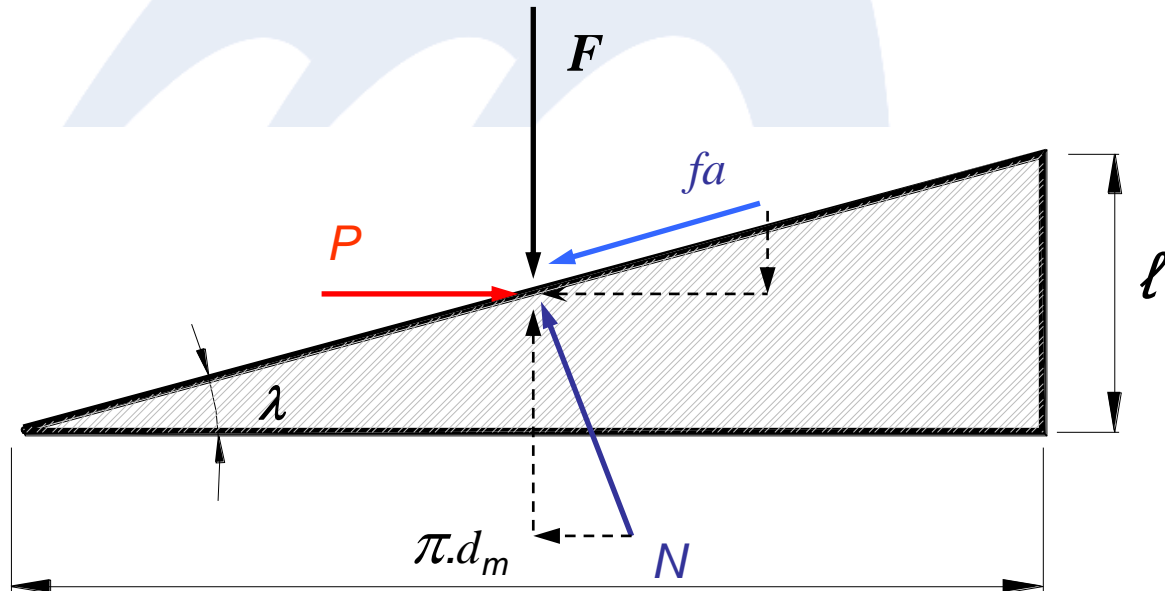
Descer:



7. PARAFUSO DE TRANSMISSÃO

7.1. Torque para elevar (T_s) e baixar (T_d) uma carga F :

1. Rosca quadrada - Subir:



Equações de equilíbrio:

$$\sum F_H = 0 \Rightarrow P - N \cdot \sin \lambda - \mu \cdot N \cdot \cos \lambda = 0 \Rightarrow P = N \cdot (\sin \lambda + \mu \cdot \cos \lambda)$$

$$\sum F_v = 0 \Rightarrow F - N \cdot \cos \lambda + \mu \cdot N \cdot \sin \lambda = 0 \Rightarrow F = N \cdot (\cos \lambda - \mu \cdot \sin \lambda)$$

7. PARAFUSO DE TRANSMISSÃO

7.1. Torque para elevar (T_s) e baixar (T_d) uma carga F :

1. Rosca quadrada - Subir:

$$N = \frac{P}{\sin \lambda + \mu \cdot \cos \lambda} = \frac{F}{\cos \lambda - \mu \cdot \sin \lambda} \Rightarrow$$

$$P = F \cdot \left(\frac{\sin \lambda + \mu \cdot \cos \lambda}{\cos \lambda - \mu \sin \lambda} \right) \quad \div \cos \lambda, \text{ vem:}$$

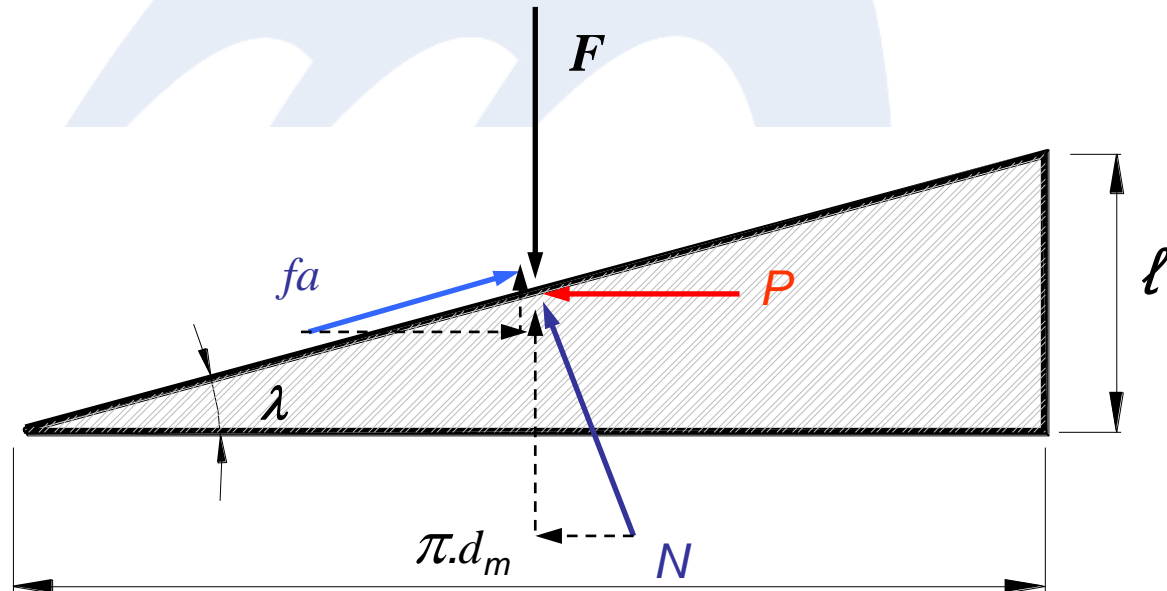
$$P = F \cdot \frac{\left(\frac{\sin \lambda}{\cos \lambda} \right)^{tg(\lambda)} + \mu \cdot \left(\frac{\cos \lambda}{\cos \lambda} \right)}{\left(\frac{\cos \lambda}{\cos \lambda} \right) - \mu \cdot \left(\frac{\sin \lambda}{\cos \lambda} \right)^{tg(\lambda)}} = F \cdot \frac{tg \lambda + \mu}{1 - \mu \cdot tg \lambda} \quad \text{mas, } tg \lambda = \frac{\ell}{\pi \cdot d_m}$$

$$P = F \cdot \frac{\left(\frac{\ell}{\pi \cdot d_m} \right) + \mu}{1 - \mu \cdot \left(\frac{\ell}{\pi \cdot d_m} \right)}$$

7. PARAFUSO DE TRANSMISSÃO

7.1. Torque para elevar (T_s) e baixar (T_d) uma carga F :

1. Rosca quadrada - Descer:



$$\sum F_H = 0 \Rightarrow P - \mu \cdot N \cdot \cos \lambda + N \cdot \sin \lambda = 0 \Rightarrow P = N \cdot (\mu \cdot \cos \lambda - \sin \lambda)$$

$$\sum F_v = 0 \Rightarrow F - N \cdot \cos \lambda - \mu \cdot N \cdot \sin \lambda = 0 \Rightarrow F = N (\cos \lambda + \mu \cdot \sin \lambda)$$

7. PARAFUSO DE TRANSMISSÃO

7.1. Torque para elevar (T_s) e baixar (T_d) uma carga F :

1. Rosca quadrada - Descer:

$$N = \frac{P}{\mu \cdot \cos \lambda - \sin \lambda} = \frac{F}{\cos \lambda + \mu \cdot \sin \lambda} \Rightarrow$$

Idem,

Idem,

idem...

$$P = F \cdot \frac{\mu - \left(\frac{\ell}{\pi \cdot d_m} \right)}{\mu \cdot \left(\frac{\ell}{\pi \cdot d_m} \right) + 1}$$

7. PARAFUSO DE TRANSMISSÃO

7.1. Torque para elevar (T_s) e baixar (T_d) uma carga F :

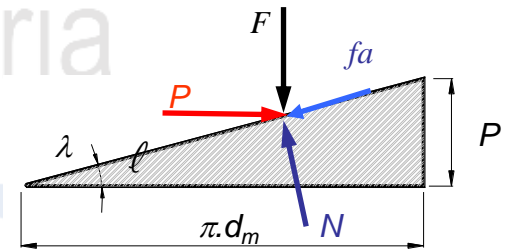
1. Rosca quadrada

Torque necessário:

$$T = P \cdot \frac{d_m}{2}$$

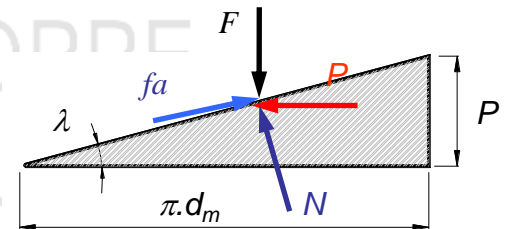
Assim, para **ELEVAR** a carga F e vencer a componente do atrito, vem:

$$T_s = \frac{F \cdot d_m}{2} \cdot \left(\frac{\ell + \mu \cdot \pi \cdot d_m}{\pi \cdot d_m - \mu \cdot \ell} \right) \dots(1)$$



Para **BAIXAR** a carga F , vem:

$$T_D = \frac{F \cdot d_m}{2} \cdot \left(\frac{\mu \cdot \pi \cdot d_m - \ell}{\pi \cdot d_m + \mu \cdot \ell} \right) \dots(2)$$



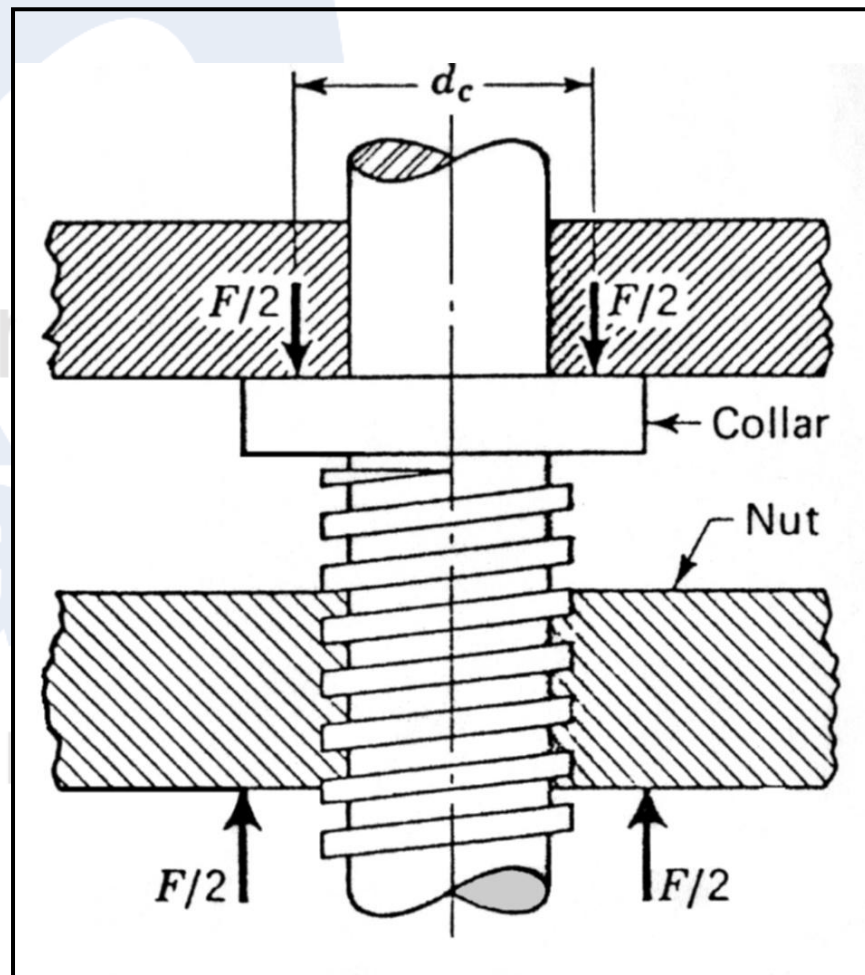
7. PARAFUSO DE TRANSMISSÃO

7.1. Torque para elevar (T_s) e baixar (T_d) uma carga F :

1. Rosca quadrada - Torque no “COLAR” - T_c

$$T_c = \frac{F \cdot \mu_c \cdot dm_c}{2}$$

onde: $dm_c \rightarrow$ diâmetro médio do colar



7. PARAFUSO DE TRANSMISSÃO

7.1. Torque para elevar (T_s) e baixar (T_d) uma carga F :

1. Rosca quadrada

Assim, o torque total é:

$$T_s = \frac{F \cdot d_m}{2} \cdot \left(\frac{\ell + \mu \cdot \pi \cdot d_m}{\pi \cdot d_m - \mu \cdot \ell} \right) + \frac{F \cdot \mu_c \cdot d_m}{2}$$

$$T_D = \frac{F \cdot d_m}{2} \cdot \left(\frac{\mu \cdot \pi \cdot d_m - \ell}{\pi \cdot d_m + \mu \cdot \ell} \right) + \frac{F \cdot \mu_c \cdot d_m}{2}$$

7. PARAFUSO DE TRANSMISSÃO

7.1. Torque para elevar (T_s) e baixar (T_d) uma carga F :

1. Rosca quadrada - Condição de auto-travamento: $T_D \neq 0$

Eq. (2):

$$T_D = \frac{F \cdot d_m}{2} \cdot \left(\frac{\mu \cdot \pi \cdot d_m - \ell}{\pi \cdot d_m + \mu \cdot \ell} \right)$$

Se $\pi \cdot \mu \cdot d_m \leq \ell \Rightarrow T_D = 0$

\Rightarrow Não é necessário qualquer esforço para baixar a carga.

Então, $\pi \cdot \mu \cdot d_m > \ell \Rightarrow \mu > \frac{\ell}{\pi \cdot d_m} \Rightarrow \mu > \tan \lambda$

OBS.:

- determina a faixa de ângulos de inclinação dos parafusos $\Rightarrow \lambda = f(d, p, \text{material})$

7. PARAFUSO DE TRANSMISSÃO

7.1. Torque para elevar (T_s) e baixar (T_d) uma carga F :

1. Rosca quadrada - Eficiência da transmissão - e : (subida)

$$e = \frac{T_0}{T_s}$$

$$\Rightarrow T_0 = T_s, \text{ caso } \mu = 0 \Rightarrow T_s = \frac{F \cdot d_m}{2} \cdot \left(\frac{\ell + \mu \cdot \pi \cdot d_m}{\pi \cdot d_m - \mu \cdot \ell} \right) = T_0 = \frac{F \cdot \ell}{2 \cdot \pi}$$

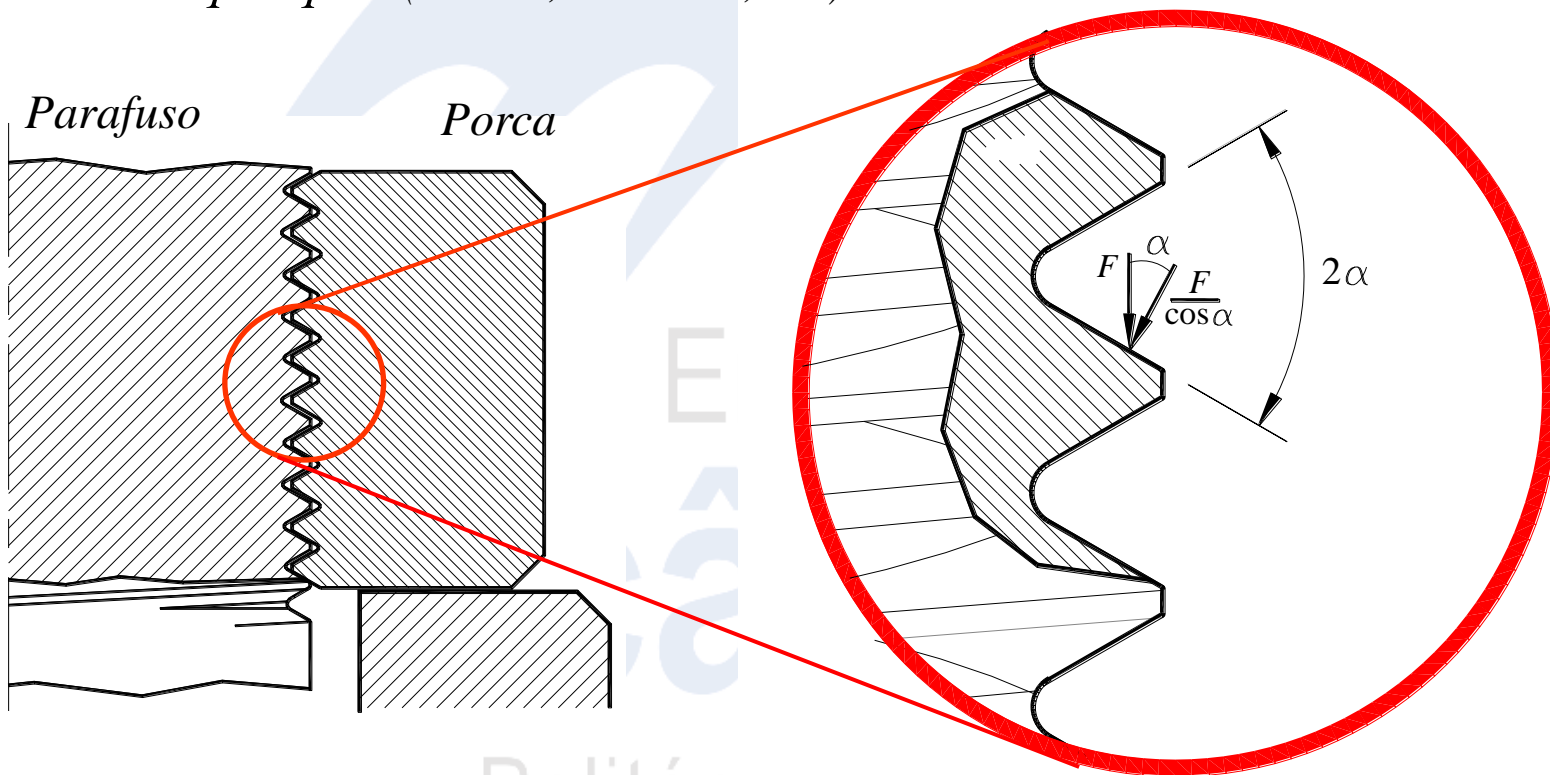
Assim,

$$e = \frac{F \cdot \ell}{2 \cdot \pi \cdot T_s}$$

7. PARAFUSO DE TRANSMISSÃO

7.1. Torque para elevar (T_s) e baixar (T_d) uma carga F :

2. Rosca qualquer (métrica, whitworth, etc.)



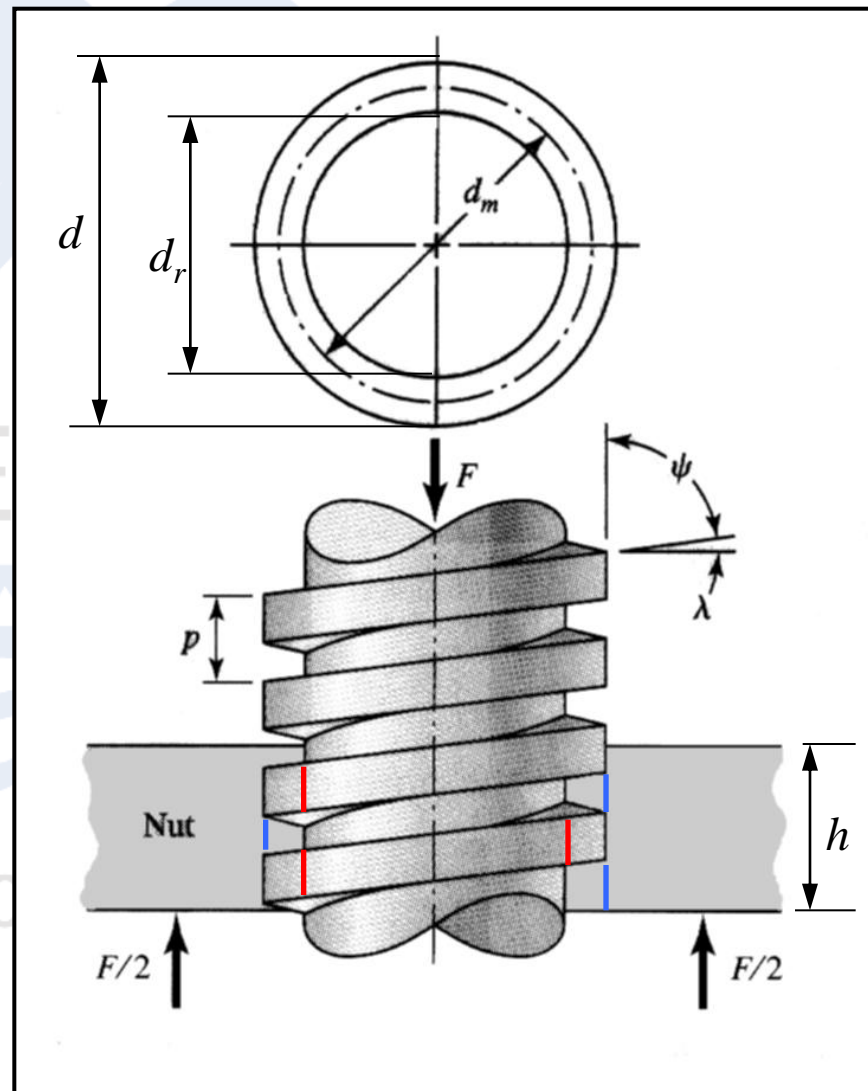
$$T_s = \frac{F \cdot dm}{2} \cdot \left[\frac{\ell + \pi \cdot \mu \cdot dm \cdot \sec \alpha}{\pi \cdot dm - \mu \cdot \ell \cdot \sec \alpha} \right] + \frac{F \cdot \mu_c \cdot dm_c}{2}$$

8. DIMENSIONAMENTO - TENSÃO NOS FILETES

1. Cisalhamento: $\tau = \frac{F}{A}$

- parafuso: $A_{cis} = \pi \cdot d_r \cdot \left(\frac{h}{2}\right)$

- porca: $A_{cis} = \pi \cdot d \cdot \left(\frac{h}{2}\right)$



8. **DIMENSIONAMENTO** - TENSÃO NOS FILETES

Substituindo, vem:

$$\tau_p = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d_r \cdot h}$$

$$\tau_r = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d \cdot h}$$

OBS.: - se parafuso e porca fabricados do mesmo material, dimensionar apenas o parafuso.

$$\tau_p > \tau_r$$

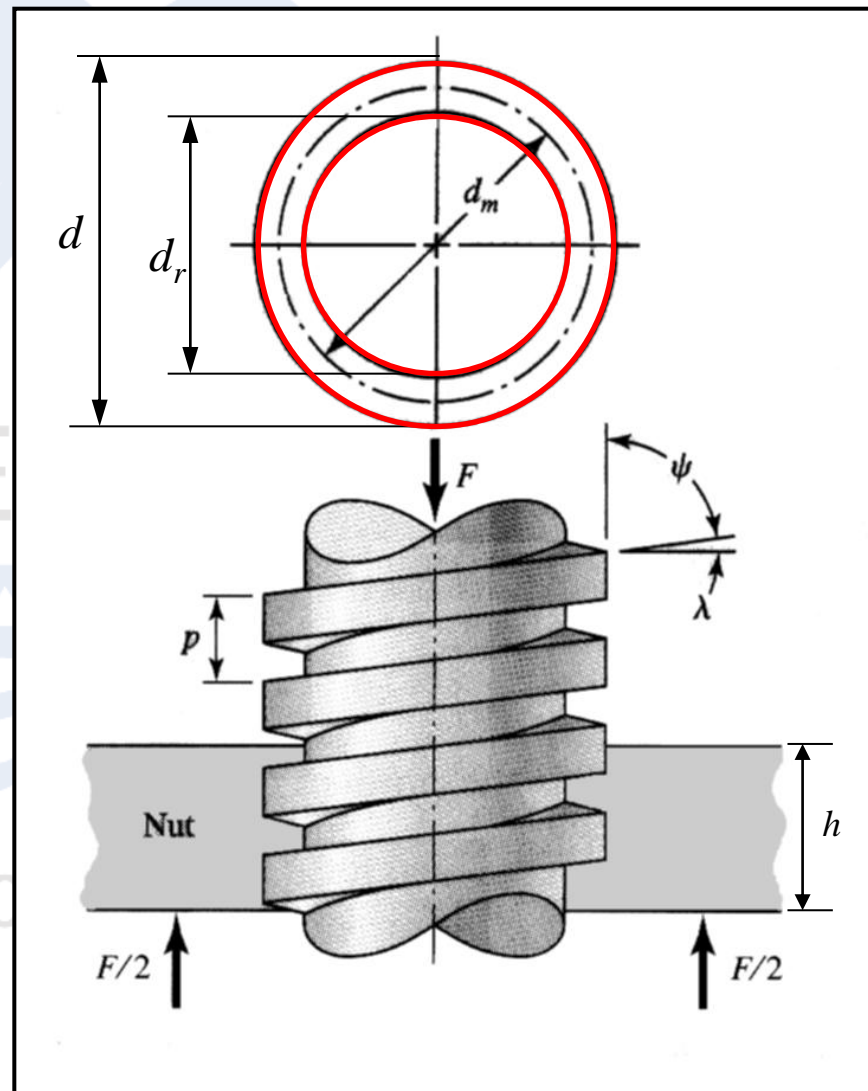
8. DIMENSIONAMENTO - TENSÃO NOS FILETES

2. Compressão: $\sigma = \frac{F}{A}$

$$A_{comp} = \frac{\pi}{4} \cdot (d^2 - d_r^2) \cdot \frac{h}{p}$$

Substituindo, vem:

$$\sigma = \frac{4 \cdot F \cdot p}{\pi \cdot h \cdot (d^2 - d_r^2)}$$



8. ***DIMENSIONAMENTO*** - *TENSÃO NOS FILETES*

Assim, as tensões atuantes nos filetes de rosca dos parafusos são:

$$\tau_p = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d_r \cdot h}$$

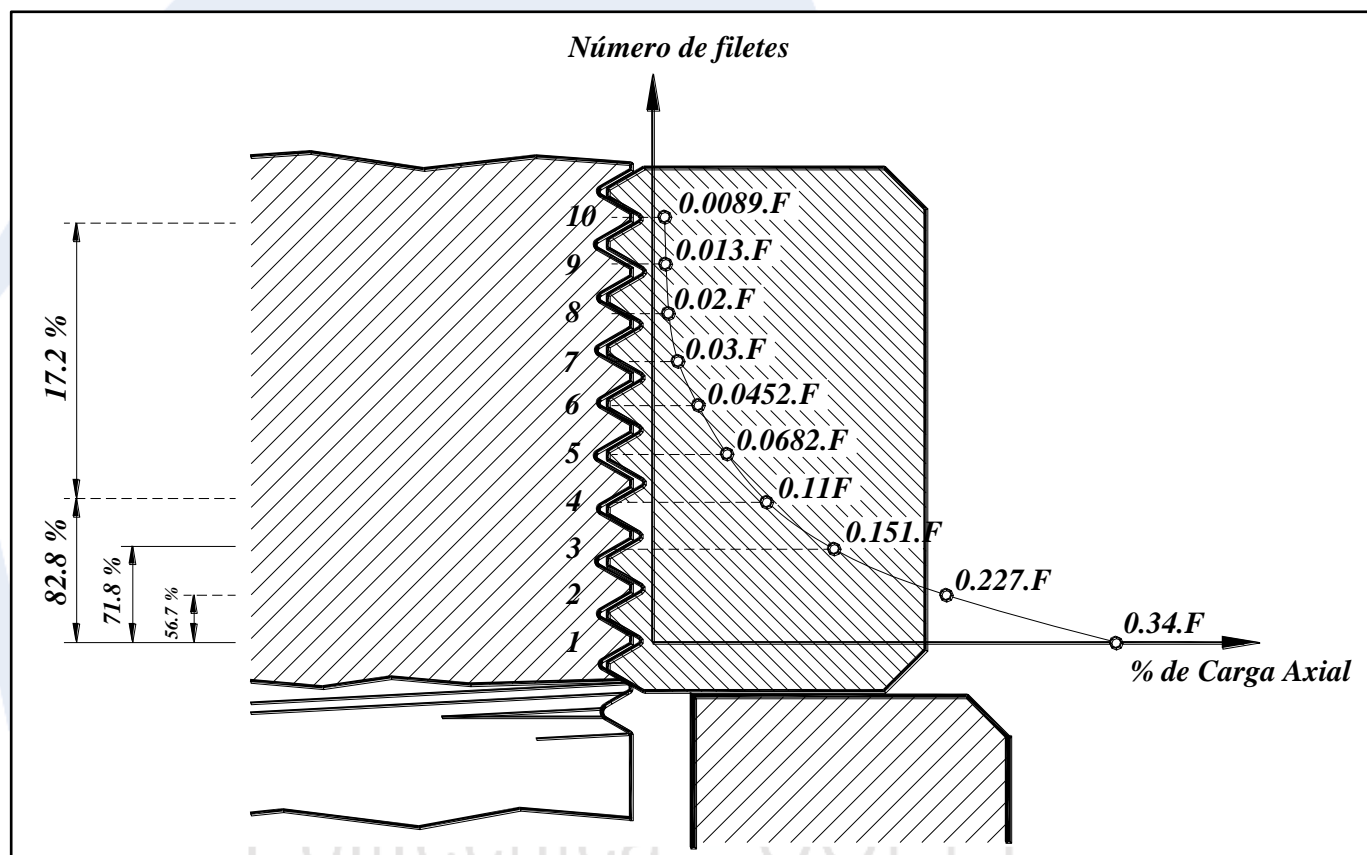
\Rightarrow *Cisalhamento*

$$\sigma = \frac{4 \cdot F \cdot p}{\pi \cdot h \cdot (d^2 - d_r^2)}$$

\Rightarrow *Compressão*

8. DIMENSIONAMENTO - TENSÃO NOS FILETES

- Distribuição de tensões nos filetes da rosca



OBS:

- Devido à incerteza da distribuição de tensões nos filetes e por filete de rosca recomenda-se o seguinte intervalo para o coeficiente de segurança:

$$2 < CS < 3$$

8. DIMENSIONAMENTO - Exercícios

1. Um parafuso de acionamento de rosca quadrada deve movimentar uma carga de 6670 N. As características do parafuso são:

- passo [mm] = 3
- diâmetro nominal [mm] = 24
- diâmetro médio do colar [mm] = 40
- coeficiente de atrito: $\mu = \mu_c = 0.08$
- material do parafuso e da porca: Aço médio carbono - $S_u [MPa] = 550$
- $S_y [MPa] = 300$

Pede-se:

- a) a profundidade, diâmetro médio e da raiz e o avanço do parafuso;
- b) o torque necessário para elevar e abaixar a carga;
- c) a altura mínima necessária à rosca;
- d) a potência necessária ao motor para que a altura de 2.4 m seja atingida em 20 s;
- e) a eficiência do parafuso.

9. UNIÃO POR PARAFUSOS

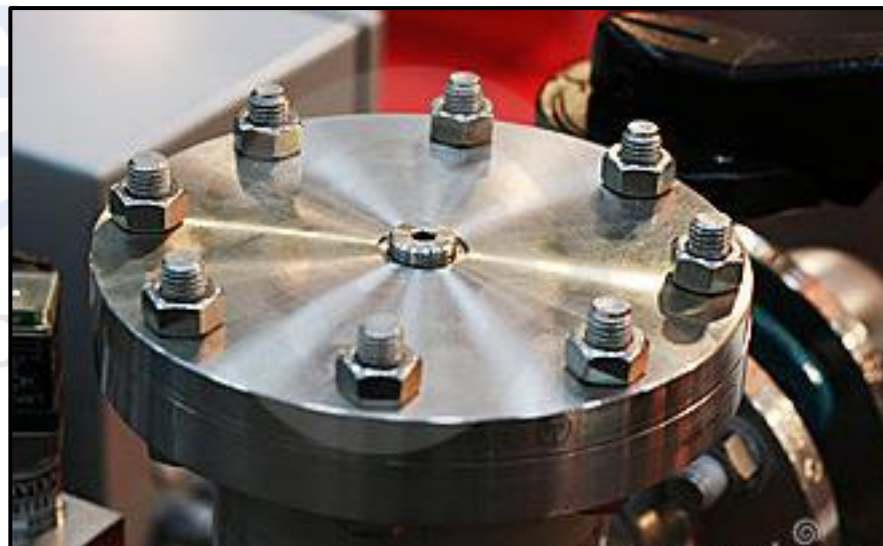
9.1. Aplicações



Vedação e selagem de tubulações



Válvulas



9. UNIÃO POR PARAFUSOS

9.2. Tensões Limite de Parafusos

$S_p \Rightarrow$ tensão de prova [MPa] - carga máxima sem deformação

$S_y \Rightarrow$ tensão de escoamento [MPa]

$S_u \Rightarrow$ tensão de ruptura [MPa]

Tabela 8-11, pág. 446

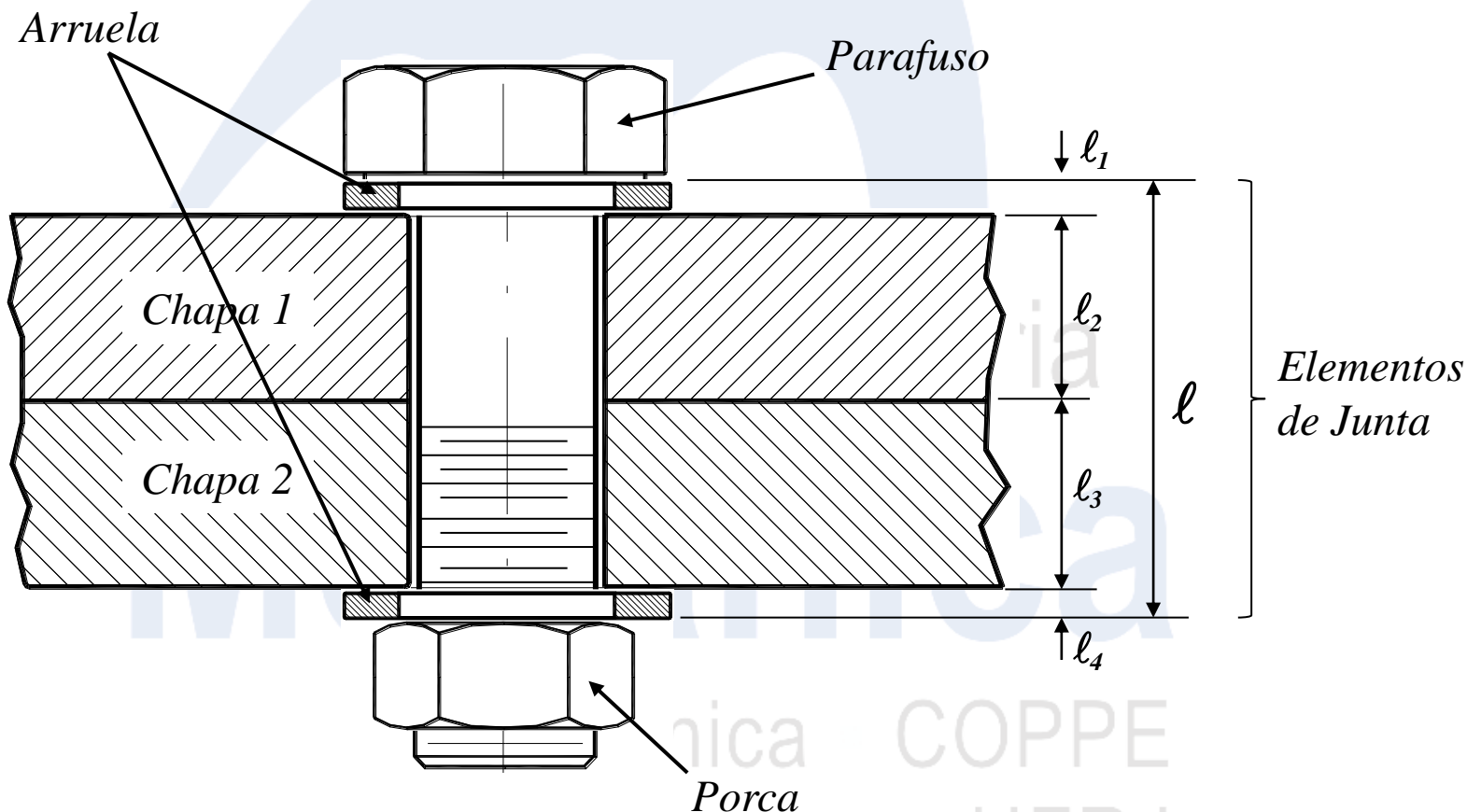
$$S_p < S_y$$

$$S_p = \frac{F_p}{A_t}$$

Classe	Tamanho	Tensão de Prova S_p [MPa]	Tensão de Escoamento S_y [MPa]	Tensão de Ruptura S_u [MPa]	Material	Marcação
4.6	M5 – M36	225	240	400	Baixo ou médio carbono	4.6
4.8	M1.6 – M16	310	340	420	Baixo ou médio carbono	4.8
5.8	M5 – M24	380	420	520	Baixo ou médio carbono	5.8
8.8	M16 – M36	600	660	830	Médio carbono, Q&T	8.8
9.8	M1.6 – M16	650	720	900	Médio carbono, Q&T	9.8
10.9	M5 – M36	830	940	1040	Baixo carbono, martensita Q&T	10.9
12.9	M1.6 – M36	970	1100	1220	Liga Q&T	12.9

9. UNIÃO POR PARAFUSOS

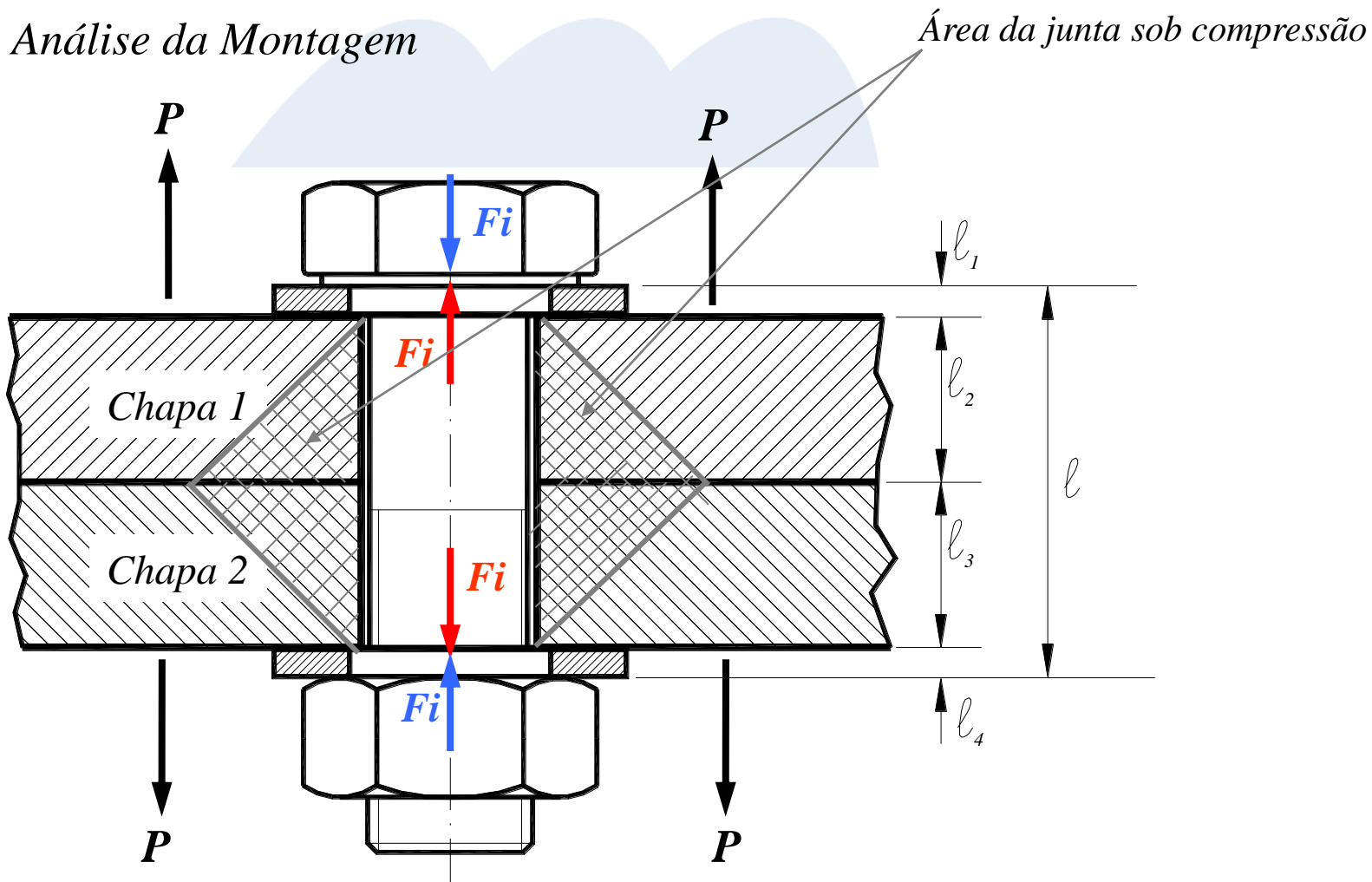
9.3. Nomenclatura e componentes



$$\ell = \text{comprimento total da junta} = \ell_1 + \ell_2 + \ell_3 + \ell_4$$

9. UNIÃO POR PARAFUSOS

9.4. Análise da Montagem



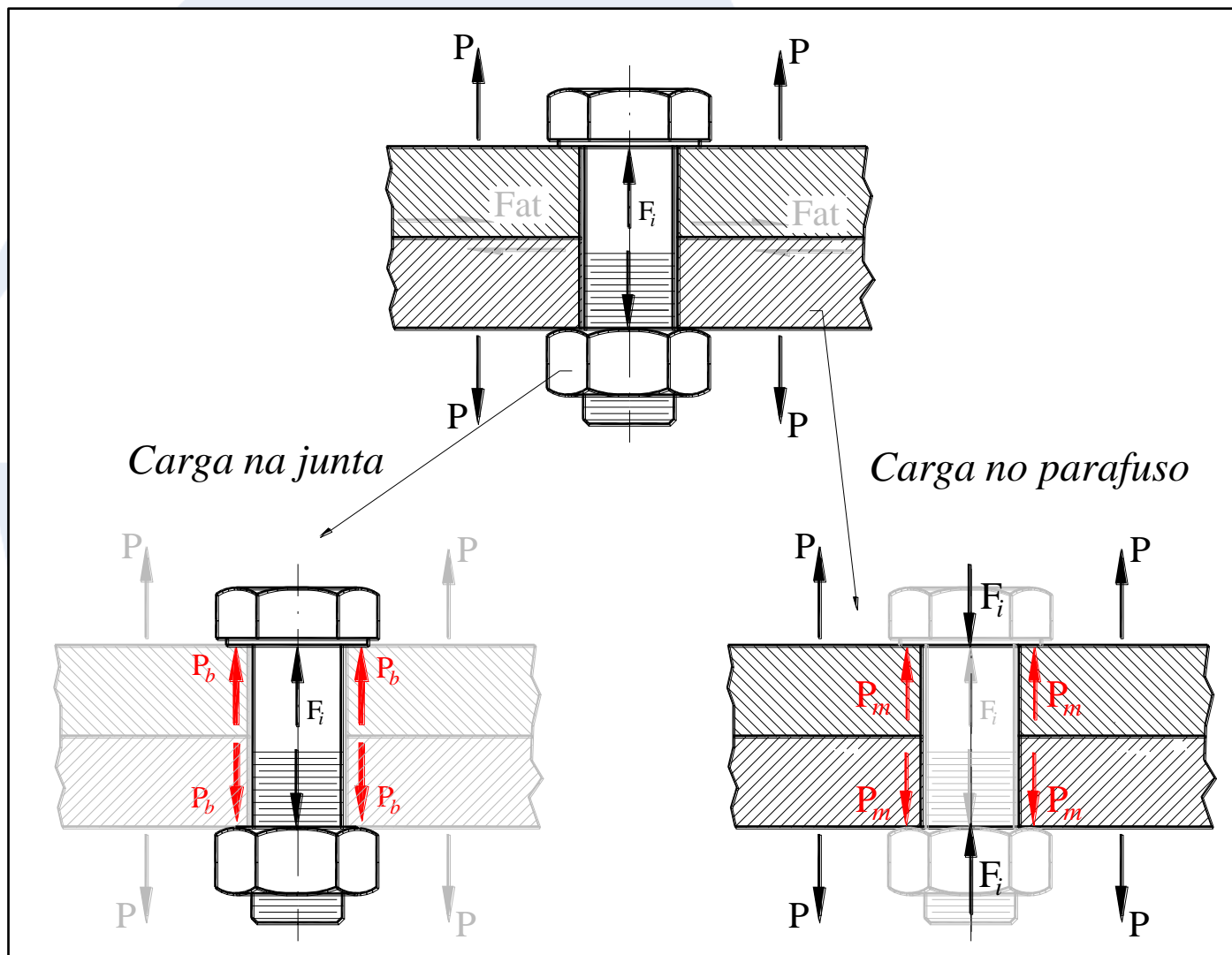
F_i = carga inicial de aperto

P = carga externa na junta

l = comprimento total da junta = $l_1 + l_2 + l_3 + l_4$

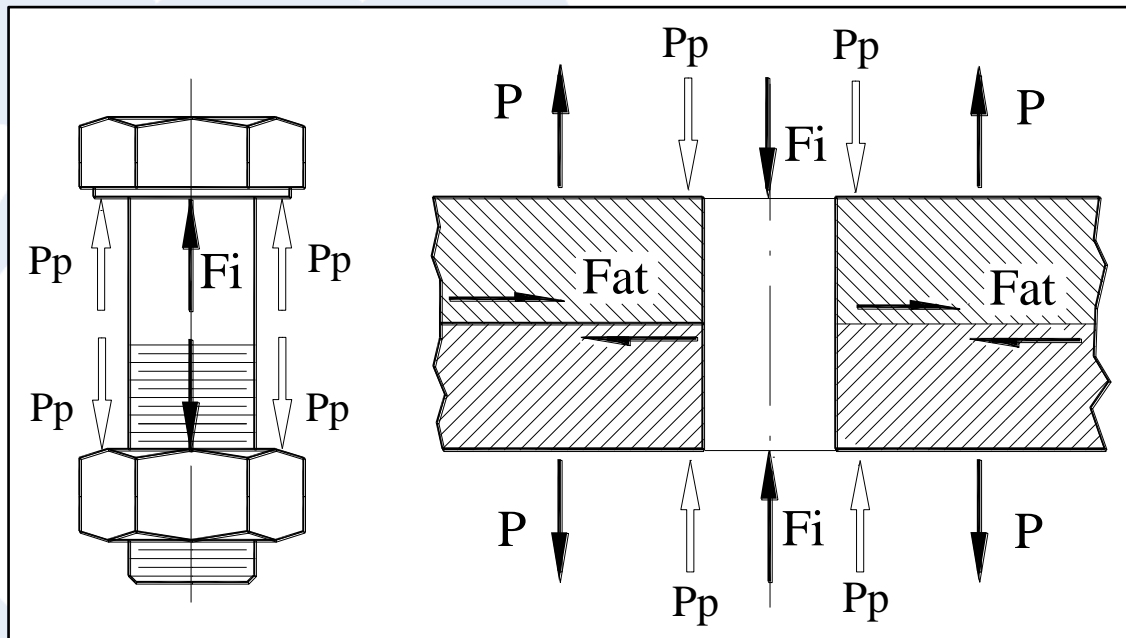
9. UNIÃO POR PARAFUSOS

9.4. Análise da Montagem



9. UNIÃO POR PARAFUSOS

9.4. Análise da Montagem



F_i = carga inicial

P = carga externa atuante na junta

P_b = porção da carga P absorvida pelo parafuso

P_m = porção da carga P absorvida pela junta

F_b = carga total no parafuso (tração)

$$F_b = P_b + F_i \quad \dots(1)$$

F_m = carga total na junta

$$F_m = P_m - F_i \quad \dots(2)$$

$$F_m = P_m - F_i$$

$$F_b = P_b + F_i$$

9. UNIÃO POR PARAFUSOS

9.5. Determinação das cargas P_b e P_m

$$P_b = K_b \cdot \Delta \delta_b$$

$$P_m = K_m \cdot \Delta \delta_m$$

$$P = P_m + P_b \quad \dots(3)$$

Dentro da faixa elástica (mola)
e sem separação.

- Determinação das constantes K_m e K_b :

$$\delta = \frac{F \cdot \ell}{A \cdot E}$$

$$K = \frac{F}{\delta} = \frac{A \cdot E}{\ell} = \frac{\overbrace{\left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} \right)}^{\text{Área}} \cdot E_p}{\ell} \Rightarrow K_b = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot E}{4 \cdot \ell}$$

Área sob tensão
no parafuso (?)

$$F_m = P_m - F_i$$

$$F_b = P_b + F_i$$

9. UNIÃO POR PARAFUSOS

9.5. Determinação das cargas P_b e P_m

$$\left. \begin{aligned} P_b &= K_b \cdot \Delta \delta_b \\ P_m &= K_m \cdot \Delta \delta_m \end{aligned} \right\} P = P_m + P_b$$

- Determinação das constantes K_m e K_b :

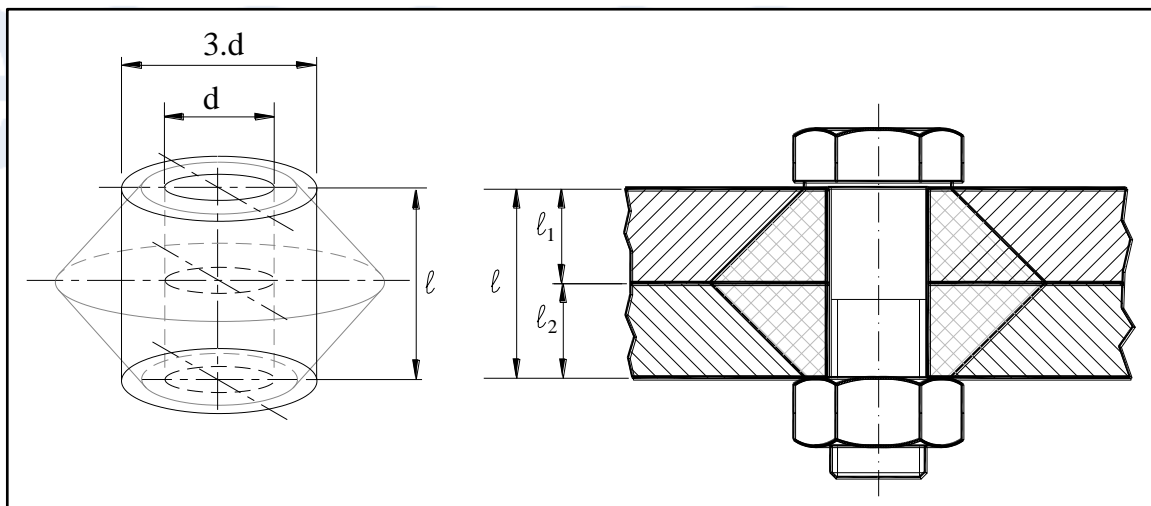
$$\delta = \frac{F \cdot \ell}{A \cdot E}$$

$$K = \frac{F}{\delta} = \frac{A \cdot E}{\ell}$$

Área sob tensão
na junta (?)

$$= \left[\frac{\pi}{4} \cdot \overbrace{(9 \cdot d^2 - d^2)}^{\text{Área}} \cdot E \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow K_m = \frac{2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot E}{\ell}$$



$$F_m = P_m - F_i$$

$$F_b = P_b + F_i$$

9. UNIÃO POR PARAFUSOS

9.5. Determinação das cargas P_b e P_m

Observações:

1. Se parafuso e porca fabricados do mesmo material $\Rightarrow E_b = E_m \Rightarrow$

$$K_b = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot E}{4 \cdot \ell} \times 8 = K_m = \frac{2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot E}{\ell}$$

$$K_m = 8 \cdot K_b$$

2. Se elementos de junta fabricados com materiais diferentes \Rightarrow

$$\frac{1}{K_m} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \dots$$

$$\frac{1}{K_m} = \frac{1}{\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot E_1}{\ell_1} \right)} + \frac{1}{\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot E_2}{\ell_2} \right)} + \dots$$

$$K_m = \frac{2 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot E}{\ell}$$

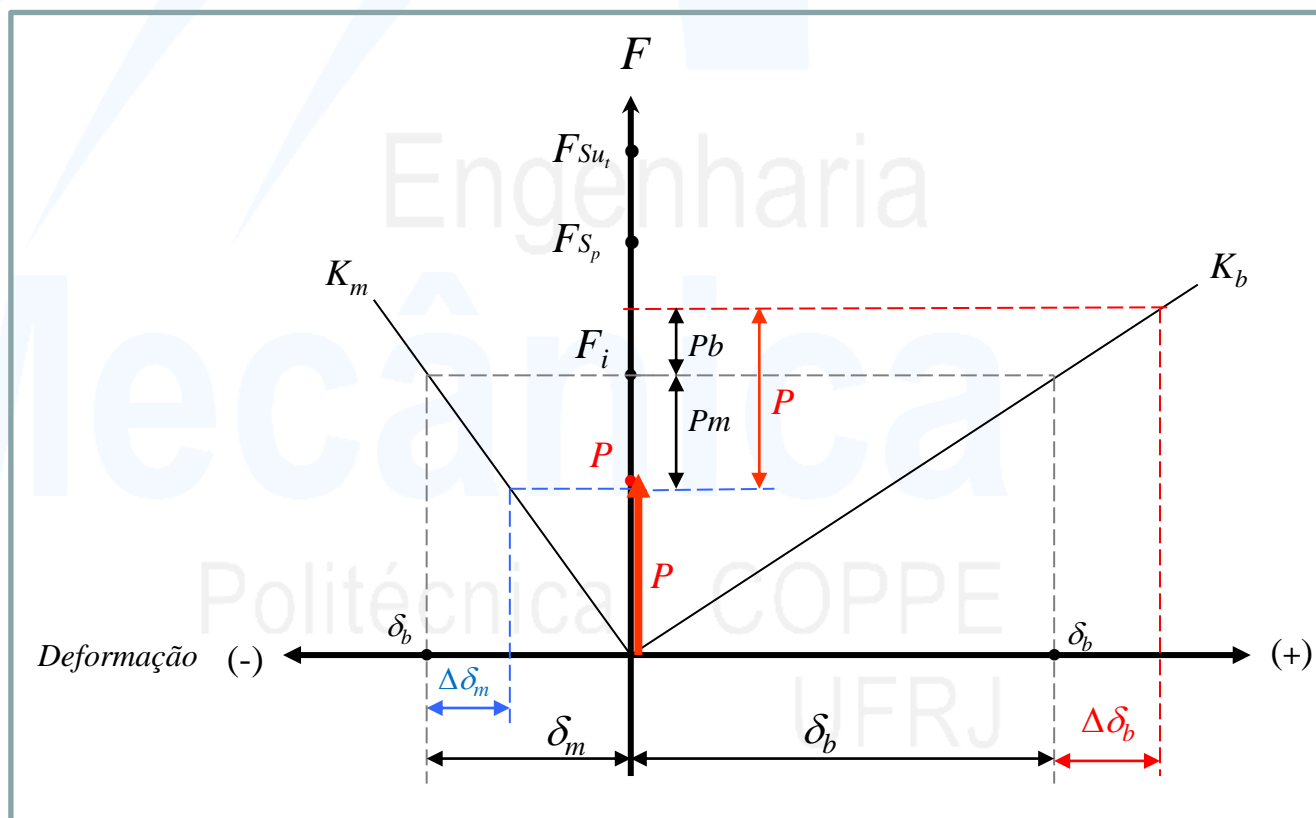
$$F_m = P_m - F_i$$

$$F_b = P_b + F_i$$

9. UNIÃO POR PARAFUSOS

9.5. Determinação das cargas P_b e P_m

$$\left. \begin{array}{l} \Delta\delta_B = \frac{P_b}{K_b} \\ \Delta\delta_M = \frac{P_m}{K_m} \end{array} \right\} \text{ como } \overbrace{\Delta\delta_b = \Delta\delta_m}^{(\text{sem separação})} \Rightarrow \boxed{\frac{P_b}{K_b} = \frac{P_m}{K_m}} \dots(4)$$



$$F_m = P_m - F_i$$

$$F_b = P_b + F_i$$

9. UNIÃO POR PARAFUSOS

9.5. Determinação das cargas P_b e P_m

Assim, $\left\{ \begin{array}{l} P = P_m + P_b \end{array} \right. \dots(3)$

$$\frac{P_b}{K_b} = \frac{P_m}{K_m} \dots(4)$$

- Substituindo (3) em (4), vem:

$$P_b = \frac{P \cdot K_b}{K_m + K_b}$$

$$P_m = \frac{P \cdot K_m}{K_m + K_b}$$

- Substituindo em (1) e (2), vem:

$$F_b = \frac{P \cdot K_b}{K_m + K_b} + F_i$$

$$F_m = \frac{P \cdot K_m}{K_m + K_b} - F_i$$

$$F_b = P_b + F_i \dots(1)$$

$$F_m = P_m - F_i \dots(2)$$

$$F_m = P_m - Fi$$

$$F_b = P_b - Fi$$

9. UNIÃO POR PARAFUSOS

9.6. Análise da carga inicial de aperto - Fi

9.6.1. Torque inicial - T_i

$$T_i = k_1 \cdot Fi \cdot d$$

9.6.2. Carregamento estático

- Recomendações

$$Fi = A_t \cdot S_y - Cb \cdot n \cdot P$$

$$0.75 \cdot F_p \leq Fi \leq 0.9 \cdot F_p$$

9.6.3. Carregamento variável

- Recomendações

$$Fi = A_t \cdot Su_t - \frac{Cb \cdot n \cdot P}{2} \cdot \left(\frac{Su_t}{S_e} + 1 \right)$$

$$Fi = A_t \cdot S_y - Cb \cdot n \cdot P$$

Utilizar O MENOR !!

9. UNIÃO POR PARAFUSOS

9.6. Análise da carga inicial de aperto - F_i

9.6.1. Torque inicial - T_i

$$T_i = \frac{F_i \cdot dm}{2} \left(\frac{\ell + \pi \cdot \mu \cdot dm \cdot \sec \alpha}{\pi \cdot dm - \mu \cdot \tan \lambda \cdot \sec \alpha} \right) + \frac{F_i \cdot \mu_c \cdot d_c}{2} \quad \tan \lambda = \frac{\ell}{\pi \cdot dm} \quad e \quad (\div \pi \cdot dm)$$

$$T_i = \frac{F_i \cdot dm}{2} \left(\frac{\tan \lambda + \pi \cdot \mu \cdot \sec \alpha}{1 - \mu \cdot \tan \lambda \cdot \sec \alpha} \right) + \frac{F_i \cdot \mu_c \cdot d_c}{2} \quad d_c = \frac{d + 1.5 \cdot d}{2} = 1.25 \cdot d$$

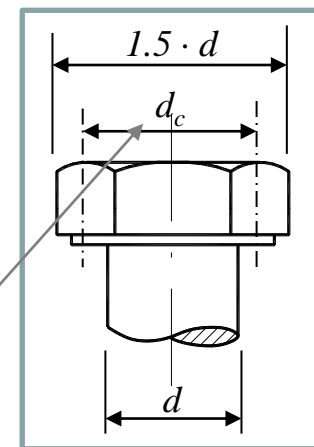
$$T_i = F_i \cdot d \cdot \left[\left(\frac{dm}{2 \cdot d} \right) \left(\frac{\tan \lambda + \pi \cdot \mu \cdot \sec \alpha}{1 - \mu \cdot \tan \lambda \cdot \sec \alpha} \right) + 0.625 \cdot \mu_c \right]$$

Utilizando valores padronizados para λ e α ;
Aço: $\mu = \mu_c = 0.15$

k_1

$$\Rightarrow k_1 = 0.208$$

$$T_i = k_1 \cdot F_i \cdot d$$



$$F_m = \frac{P \cdot K_m}{K_m + K_b} - F_i \quad F_b = \frac{P \cdot K_b}{K_m + K_b} + F_i$$

9. UNIÃO POR PARAFUSOS

9.6. Análise da carga inicial de aperto - F_i

9.6.2. Carregamento estático

$$F_b = P \cdot \left(\underbrace{\frac{K_b}{K_b + K_m}}_{C_b} \right) + F_i \Rightarrow F_b = C_b + F_i$$

- Análise da montagem - Limites:

Não haver separação da junta

$$\left. \begin{array}{l} F_i > C_b \cdot P \\ F_i < A_t \cdot S_y \end{array} \right\} n \cdot C_b \cdot P < F_i < A_t \cdot S_y \Rightarrow F_i = A_t \cdot S_y - C_b \cdot n \cdot P$$

(Recomendação 1)

Coeficiente de segurança ≥ 1.5

Não haver ruptura do parafuso

$$F_m = \frac{P \cdot K_m}{K_m + K_b} - Fi \quad F_b = \frac{P \cdot K_b}{K_m + K_b} + Fi$$

9. UNIÃO POR PARAFUSOS

9.6. Análise da carga inicial de aperto - Fi

9.6.2. Carregamento estático $Su_t \Rightarrow$ tensão de ruptura [MPa]

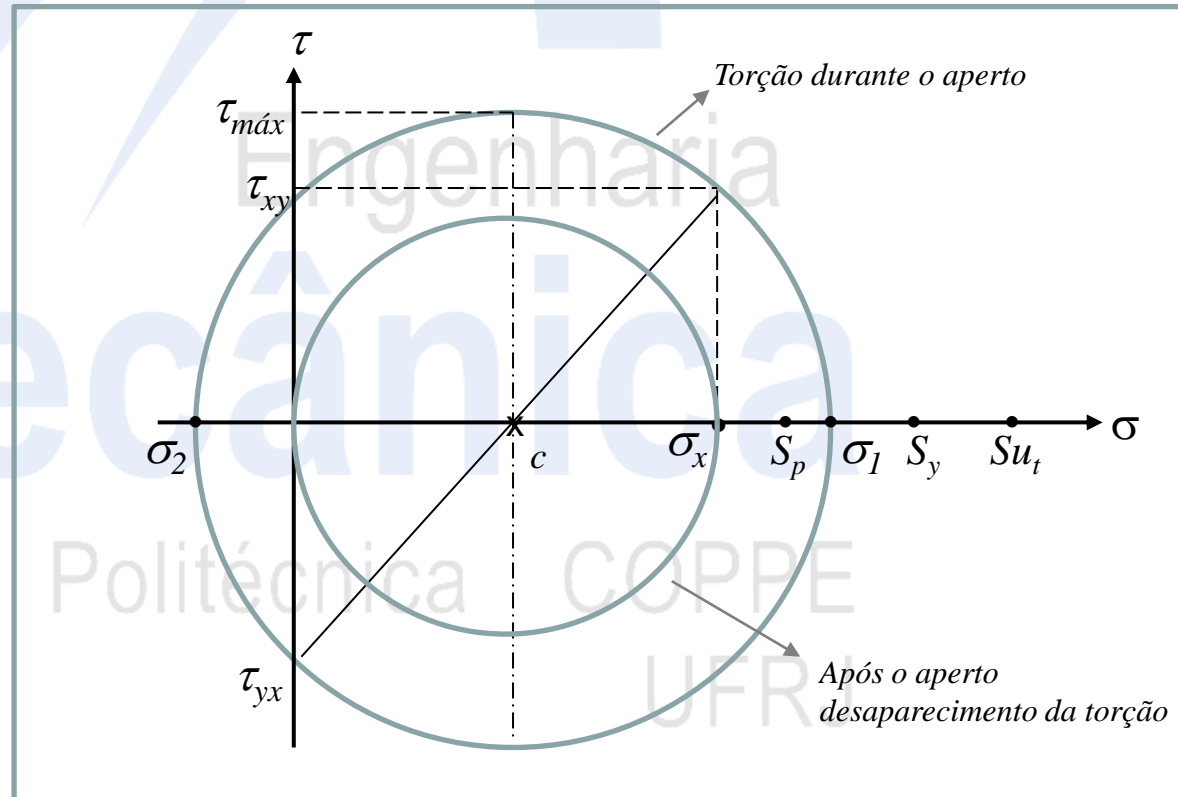
$S_y \Rightarrow$ tensão de escoamento [MPa]

$S_p \Rightarrow$ tensão de prova [MPa]

$$S_p < S_y$$

$$S_p = \frac{F_p}{A_t}$$

Círculo de Mohr



Recomendação 2:

$$0.75 \cdot F_p \leq Fi \leq 0.9 \cdot F_p$$

$$F_m = \frac{P \cdot K_m}{K_m + K_b} - Fi \quad F_b = \frac{P \cdot K_b}{K_m + K_b} + Fi$$

9. UNIÃO POR PARAFUSOS

9.6. Análise da carga inicial de aperto - Fi

9.6.3. Carregamento variável

$$Fb = P \cdot \underbrace{\left(\frac{K_b}{K_b + K_m} \right)}_{Cb} + Fi \Rightarrow Fb = Cb + Fi$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{\min} = 0 \Rightarrow Fb_{\min} = Fi \\ P_{\max} = P \Rightarrow Fb_{\max} = Cb \cdot P + Fi \end{array} \right.$$

$$Fb_a = \frac{Fb_{\max} - Fb_{\min}}{2} = \frac{Cb \cdot P + Fi - Fi}{2} = \frac{Cb \cdot P}{2}$$

$$\sigma_a = \frac{Fb_a}{A_t} \Rightarrow \sigma_a = \frac{Cb \cdot P}{2 \cdot A_t}$$

$$Fb_m = \frac{Fb_{\max} + Fb_{\min}}{2} = \frac{Cb \cdot P + Fi + Fi}{2} = \frac{Cb \cdot P}{2} + Fi$$

$$\sigma_m = \frac{Fb_m}{A_t} \Rightarrow \sigma_m = \frac{Cb \cdot P}{2 \cdot A_t} + \frac{Fi}{A_t}$$

$$F_m = \frac{P \cdot K_m}{K_m + K_b} - Fi \quad F_b = \frac{P \cdot K_b}{K_m + K_b} + Fi$$

9. UNIÃO POR PARAFUSOS

9.6. Análise da carga inicial de aperto - Fi

9.6.3. Carregamento variável

$$\sigma_a = \frac{Cb \cdot P}{2 \cdot A_t}$$

$$\sigma_m = \frac{Cb \cdot P}{2 \cdot A_t} + \frac{Fi}{A_t}$$

Obs.:

Parafusos são fabricados com materiais de alta dureza

($HB > 200$) \Rightarrow Critério de Goodman

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{u_t}} = 1$$

$$\Rightarrow Fi = A_t \cdot S_{u_t} - \frac{Cb \cdot n \cdot P}{2} \cdot \left(\frac{S_{u_t}}{S_e} + 1 \right)$$

Recomendação 3

Utilizar O MENOR !!

$$Fi = A_t \cdot S_y - Cb \cdot n \cdot P$$

Recomendação 1

9. UNIÃO POR PARAFUSOS

9.7. Fadiga em Parafusos

$$S_e = k_a \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times S_e'$$

$$S_e' = [0.566 - 9.68 \times 10^{-5} \times Su_t] \times Su_t$$

$$k_a = \text{idem}$$

$$k_b = 1 \Rightarrow \text{incluído em } S_e'$$

$$k_c \text{ e } k_d = \text{idem}$$

$$k_e = \frac{1}{k_f^*}$$

Valores de k_f^*

Grau SAE	Grau Métrico	Processo de Fabricação		
		laminadas	cortadas	filetadas
0 a 2	3.6 a 5.8	2.2	2.8	2.1
4 a 8	6.6 a 10.9	3.0	3.8	2.3

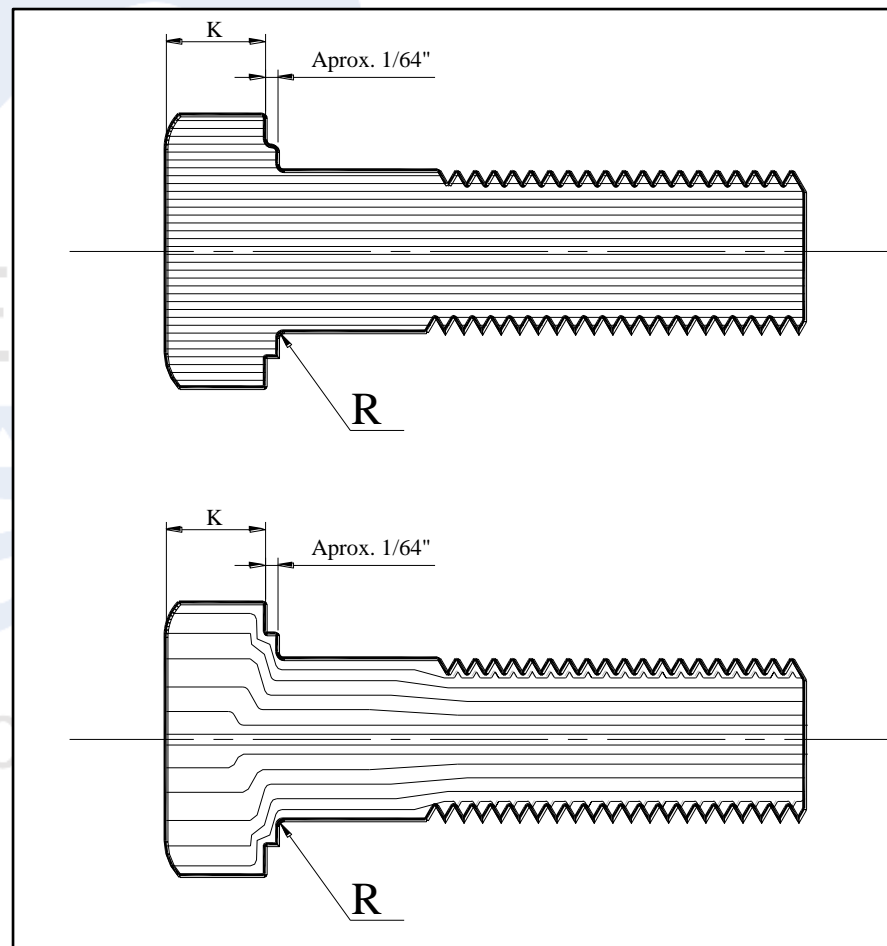
9. UNIÃO POR PARAFUSOS

9.7. Fadiga em Parafusos

- *Concentração de tensões no parafuso*

- *Parafuso USINADO*

- *Parafuso CONFORMADO*

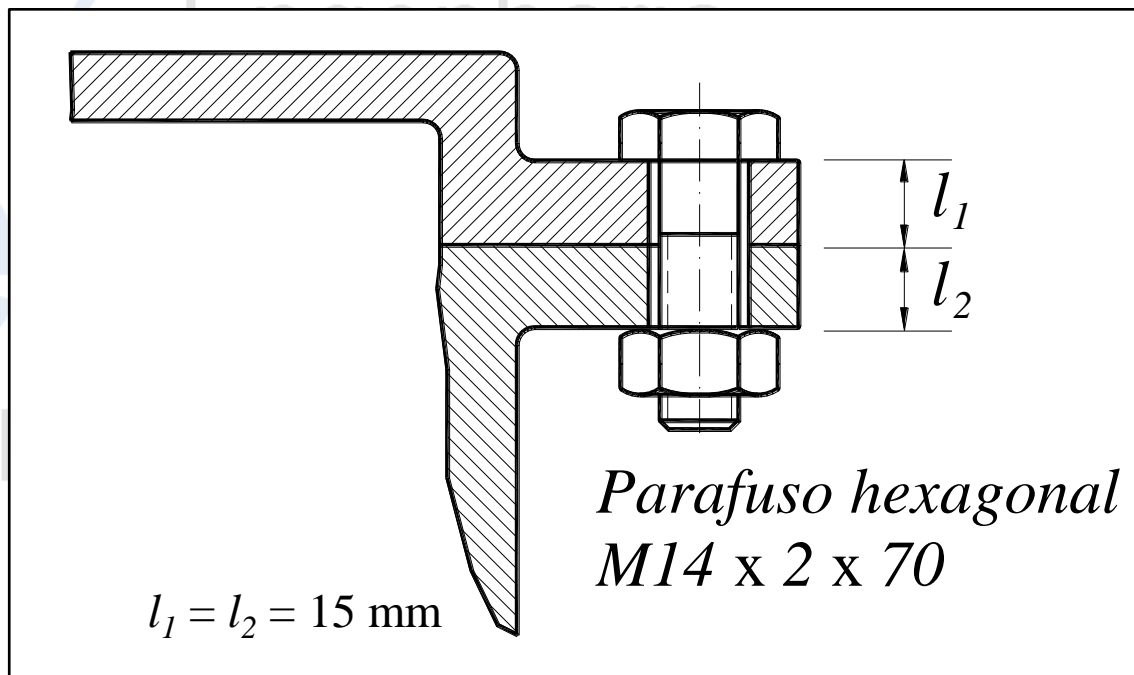


9. UNIÃO POR PARAFUSOS - Exercícios

EXERCÍCIO 2

A união abaixo é realizada por parafusos hexagonais $M14 \times 2 \times 70$, classe 4.8, rosca grossa. Sabendo que parafuso e elementos de junta são fabricados do mesmo material e que a carga externa é de 6000 N por parafuso, determine:

- A carga inicial de aperto;
- O torque necessário para o aperto;
- As cargas totais no parafuso e junta.

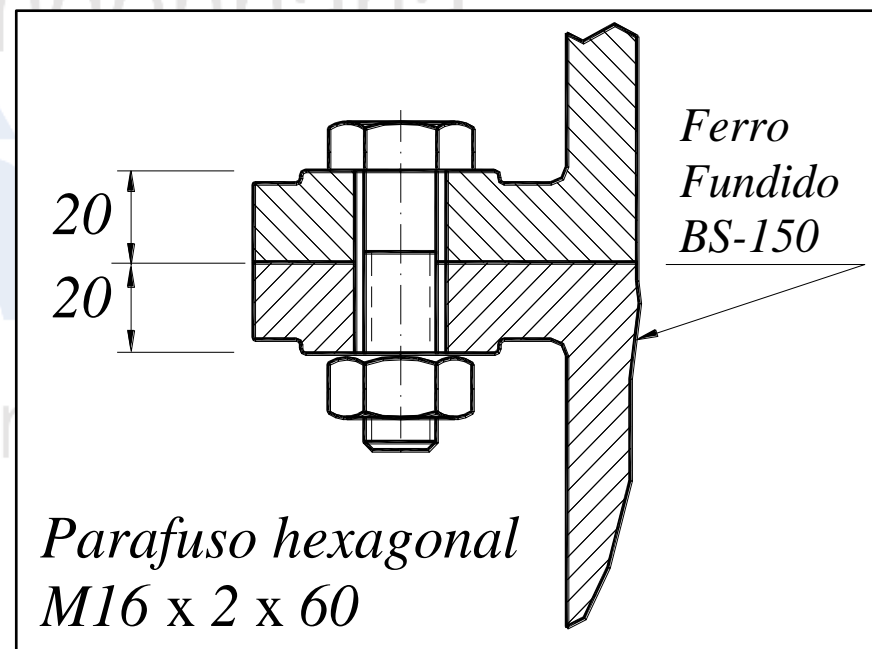


9. UNIÃO POR PARAFUSOS - Exercícios

EXERCÍCIO 3

A figura abaixo mostra a seção de um vaso de pressão fabricado com ferro fundido BS-150 e fixado por parafusos hexagonais M16 x 2 x 60, classe 5.8, rosca grossa e conformada. Sabendo que a confiabilidade é 99%, a temperatura de trabalho é ambiente e a carga externa varia de 0 a 50000 N por parafuso, determine:

- O limite de resistência à fadiga;
- A força e o torque inicial de aperto;
- A margem de segurança utilizada no projeto.



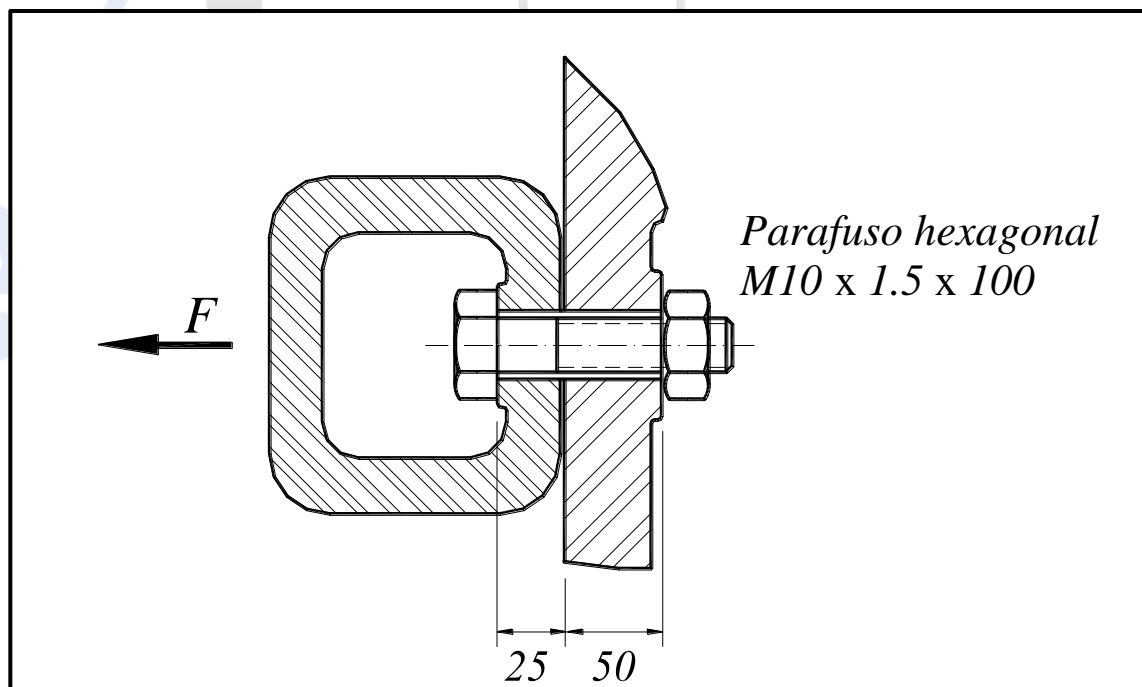
9. UNIÃO POR PARAFUSOS - Exercícios

EXERCÍCIO 4

A figura abaixo mostra dispositivo de ancoragem (transporte) fixado a uma estrutura de aço. Sabendo que a carga externa varia de 8 a 40 kN, verifique a possibilidade de utilização de 1 parafuso hexagonal M10 x 1.5 x 100, classe 9.8, rosca grossa e usinada.

Dados:

- confiabilidade 50%
- temperatura de trabalho ambiente.



9. UNIÃO POR PARAFUSOS - Exercícios

EXERCÍCIO 5

O cilindro mostrado abaixo está submetido a uma pressão interna variada entre 0 e 10 MPa e é vedado por uma tampa fixada por N parafusos. Para os dados abaixo determine o número mínimo de parafusos hexagonais necessário à vedação.

Dados:

- confiabilidade 90%
- temperatura de trabalho = 400°C .
- parafuso hexagonal **M16 x 2 x 80**, classe 8.8, rosca grossa e usinada.
- carga inicial: **59100 N**
- parafusos e elementos de junta fabricados em aço.
- coeficiente de segurança: $CS_{Se} = 2$
- diâmetro interno do cilindro: 100 mm

