Centro Universitário de União da Vitória
União da Vitória | São Mateus do Sul | Paraná
Telefones: 42.3522.1837 | 42.3532.6154
www.uniuv.edu.br

Resistência dos Materiais

APOSTILA
Versão 2013

Conteúdo

1
Propriedades mecânicas dos materiais

O ENSAIO DE TRAÇÃO E COMPRESSÃO

- **A resistência de um material depende de sua capacidade de suportar uma carga sem deformação excessiva ou ruptura.**

- **Essa propriedade é inerente ao próprio material e deve ser determinada por *métodos experimentais*, como o ensaio de** *tração ou compressão*.

O DIAGRAMA TENSÃO–DEFORMAÇÃO

Diagrama tensão–deformação

A tensão nominal**, ou** tensão de engenharia**, é determinada pela divisão da carga aplicada *(P)* pela área *original* da seção transversal do corpo de prova *(A).***

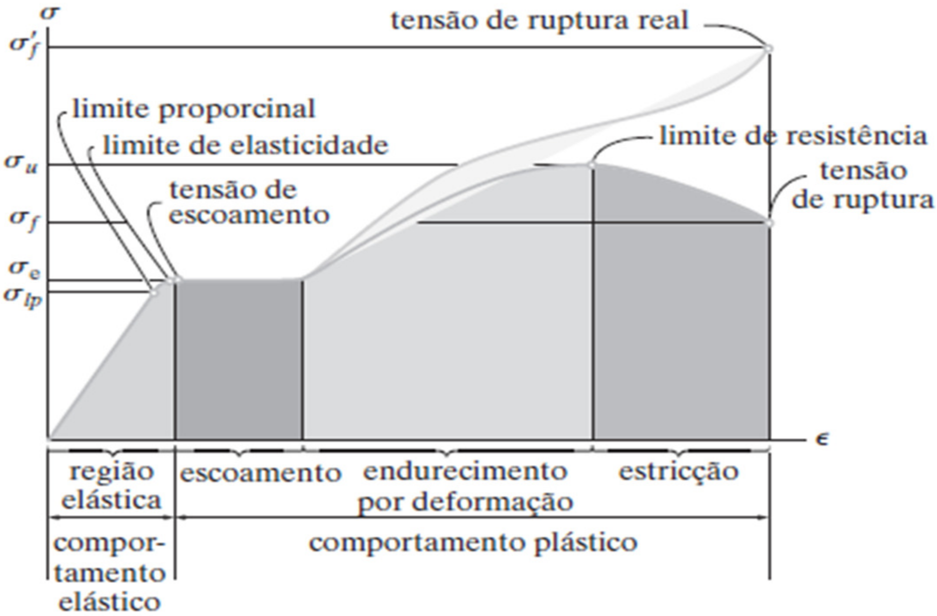
$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Diagrama tensão–deformação

A deformação nominal**, ou** deformação de engenharia**, é determinada pela divisão da variação, *(δ),* no comprimento de referência do corpo de prova, pelo comprimento de referência original do corpo de prova *(L).***

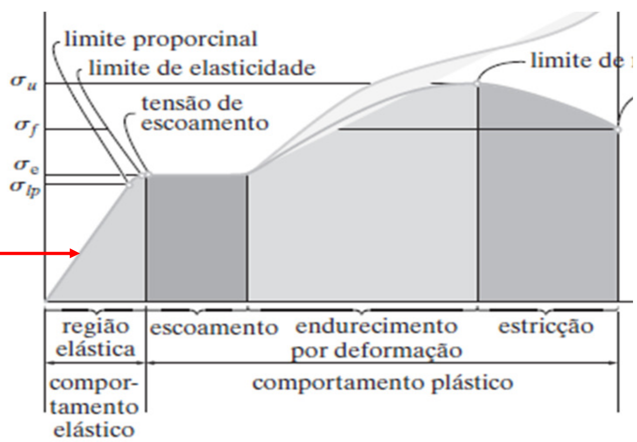
$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

$$\delta = L_1 - L$$



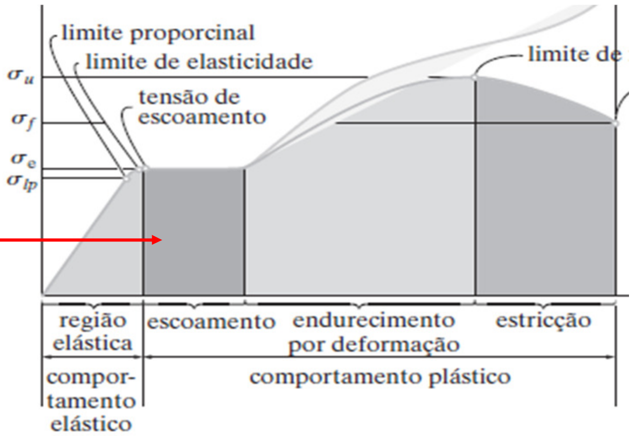
Diagramas de tensão–deformação convecional e real para um material dúctil (aço)(não está em escala)

- ***Comportamento elástico***
  - **A tensão é *proporcional* à deformação.**
  - **O material é *linearmente elástico.***

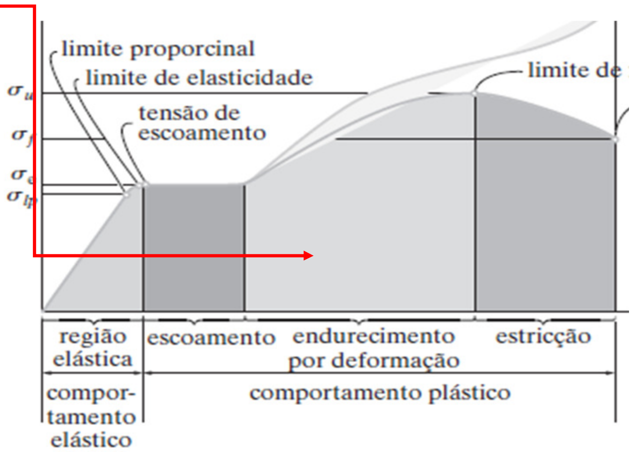


- ***Escoamento***

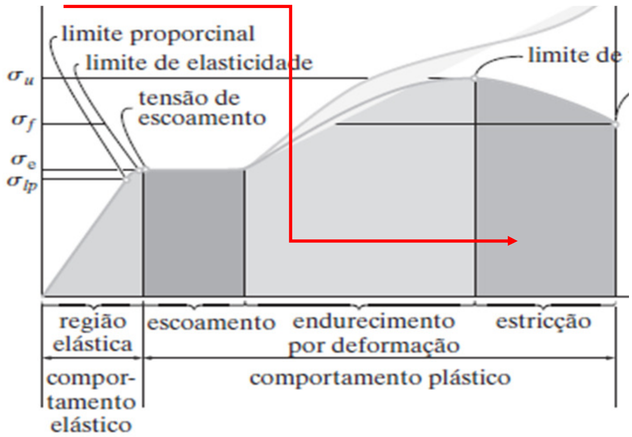
Um pequeno aumento na tensão acima do limite de elasticidade resultará no colapso do material e fará com que ele se *deforme permanentemente*.



- ***Endurecimento por deformação***
    - **Quando o escoamento tiver terminado, pode-se aplicar uma carga adicional ao corpo de prova, o que resulta em uma curva que cresce continuamente, mas torna-se mais achatada até atingir uma tensão máxima denominada** *limite de resistência*.



- ***Estricção***
  - **No limite de resistência, a área da seção transversal começa a diminuir em uma região *localizada* do corpo de prova.**
  - **O corpo de prova quebra quando atinge a** *tensão de ruptura*.



O COMPORTAMENTO DA TENSÃO–DEFORMAÇÃO DE MATERIAIS DÚCTEIS E FRÁGEIS

Materiais dúcteis

- **Material que possa ser submetido a grandes deformações antes de sofrer ruptura é denominado** *material dúctil*.

Materiais frágeis

- **Materiais que exibem pouco ou nenhum escoamento antes da falha são denominados** *materiais frágeis*.

LEI DE HOOKE

- **A *lei de Hooke* define a *relação linear* entre tensão e deformação dentro da região elástica.**

$$\sigma = E\varepsilon$$

σ = tensão
E = módulo de elasticidade ou *módulo de Young*
ε = deformação

- ***E* pode ser usado somente se o material tiver relação *linear–elástica*.**

COEFICIENTE DE POISSON

- *Coeficiente de Poisson*, *v* (nu), estabelece que dentro da *faixa elástica,* a *razão* entre essas deformações é uma *constante*, já que estas são proporcionais.

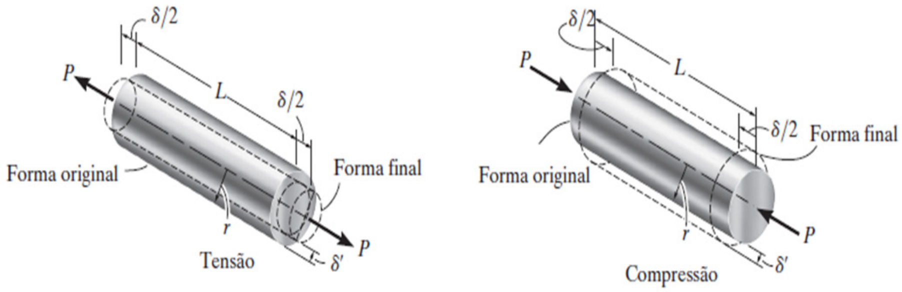
$$\nu = -\frac{\varepsilon_{\text{lat}}}{\varepsilon_{\text{long}}}$$

O coeficiente de Poisson é *adimensional*.

Valores típicos são 1/3 ou 1/4.

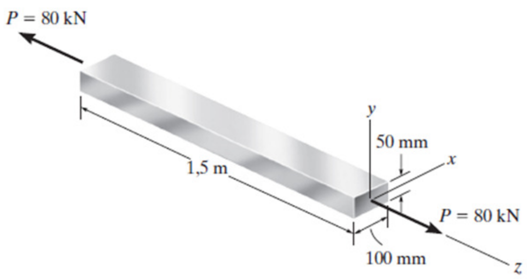
- A expressão acima tem sinal negativo porque o *alongamento longitudinal* (deformação positiva) provoca *contração lateral* (deformação negativa) e vice-versa.

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} \qquad \varepsilon_y = -\mu\frac{\sigma_x}{E} \qquad \varepsilon_z = -\mu\frac{\sigma_x}{E}$$



EXEMPLO 3.4

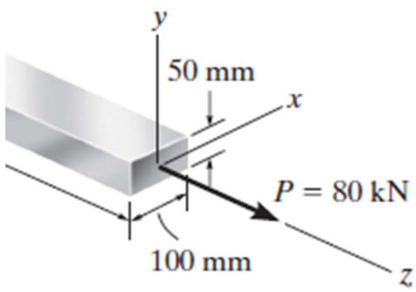
Uma barra de aço A-36 tem as dimensões mostradas abaixo. Se uma força axial P = 80 kN for aplicada à barra, determine a mudança em seu comprimento e a mudança nas dimensões da área de sua seção transversal após a aplicação da carga. O material comporta-se elasticamente.



Solução:

A tensão normal na barra é

$$\sigma_z = \frac{P}{A} = \frac{80(10^3)}{(0,1)(0,05)} = 16,0(10^6)\,\text{Pa}$$



Para o aço A-36, *E*$_{\text{aço}}$ = 200 GPa,

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_z}{E_{\text{aço}}} = \frac{16,0(10^6)}{200(10^6)} = 80(10^{-6})\text{ mm/mm}$$

O alongamento axial da barra é, portanto,

$$\delta_z = \varepsilon_z L_z \Rightarrow [80(10^{-6})(1,5)] \Rightarrow 120\ \mu\text{m}$$

As deformações de contração em *ambas* as direções *x* e *y* são

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = -\nu_{\text{aço}}\varepsilon_z = -0,32[80(10^{-6})] = -25,6\ \mu\text{m/m}$$

Assim, as mudanças nas dimensões da seção transversal são

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_z}{E_{\text{aço}}} = \frac{16,0(10^6)}{200(10^6)} = 80(10^{-6})\text{ mm/mm}$$

FALHA DE MATERIAIS DEVIDA À FLUÊNCIA E À FADIGA

Fluência

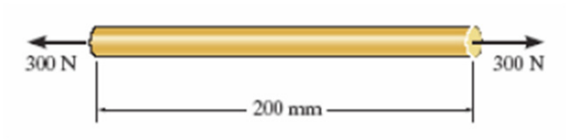
- **Quando um material tem de suportar uma carga por muito tempo, pode continuar a deformar-se até sofrer uma ruptura repentina.**
- **Essa deformação permanente é conhecida como** fluência**.**
- **De modo geral, *tensão* e/ou *temperatura* desempenham um papel significativo na *taxa* de fluência.**
- **A resistência à fluência diminuirá para *temperaturas mais altas* ou para *tensões aplicadas mais altas.***

Fadiga

- **Quando um metal é submetido a *ciclos* repetidos de tensão ou deformação, sua estrutura irá resultar em ruptura.**
- **Esse comportamento é chamado** *fadiga***.**
- ***Limite de fadiga* é um limite no qual nenhuma falha é detectada após a aplicação de uma carga durante um número específico de ciclos.**
- **Esse limite pode ser determinado no diagrama S-N.**

01

The acrylic plastic rod is 200 mm long and 15 mm in diameter. If an axial load of 300 N is applied to it, determine the change in its length and the change in its diameter. $E_p = 2.70$ GPa, $\nu_p = 0.4$.



$$A := \left(\frac{\pi}{4}\right)\cdot d^2$$

$$\sigma := \frac{P}{A} \qquad \sigma = 1.698\ \text{MPa}$$

$$\varepsilon_{long} := \frac{\sigma}{E_p} \qquad \varepsilon_{long} = 0.0006288\ \frac{mm}{mm}$$

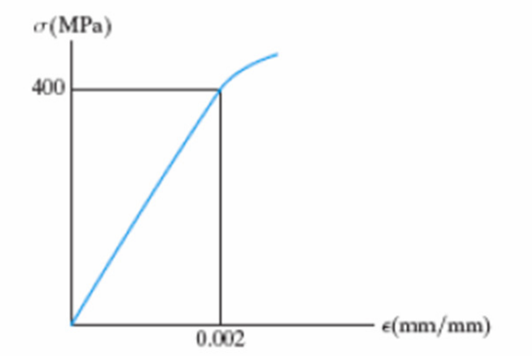
$$\delta := \varepsilon_{long}\cdot L \qquad \delta = 0.126\ \text{mm}$$

$$\varepsilon_{lat} := -\nu\cdot\varepsilon_{long} \qquad \varepsilon_{lat} = -0.0002515\ \frac{mm}{mm}$$

$$\Delta d := \varepsilon_{lat}\cdot(d) \qquad \Delta d = -0.003773\ \text{mm}$$

02

The elastic portion of the stress-strain diagram for a steel alloy is shown in the figure. The specimen from which it was obtained had an original diameter of 13 mm and a gauge length of 50 mm. When the applied load on the specimen is 50 kN, the diameter is 12.99265 mm. Determine Poisson's ratio for the material.



$$A := \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot d^2$$

$$\sigma := \frac{P}{A} \qquad \sigma = 376.698\,\text{MPa}$$

$$E := \frac{400\text{MPa}}{0.002} \qquad E = 200\,\text{GPa}$$

$$\varepsilon_{long} := \frac{\sigma}{E} \qquad \varepsilon_{long} = 0.0018835\,\frac{\text{mm}}{\text{mm}}$$

$$\varepsilon_{lat} := \frac{d' - d}{d} \qquad \varepsilon_{lat} = -0.0005654\,\frac{\text{mm}}{\text{mm}}$$

$$\nu := \frac{-\varepsilon_{lat}}{\varepsilon_{long}} \qquad \nu = 0.30018$$

2
Deformação

Força (N)

Comprimento (mm)

Deformação (mm)

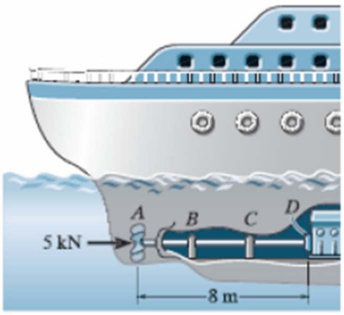
$$\delta = \frac{P \times L}{A \times E}$$

Módulo de elasticidade (N/mm²)

Área da seção
transversal (mm²)

Exemplo 1

Um navio é impulsionado na água pelo eixo de uma hélice de aço A-36 com 8 m medido desde a hélice até o mancal de encosto D no motor. Se o eixo tiver diâmetro externo de 400 mm e espessura de parede de 50 mm, determine a quantidade de contração axial do eixo quando a hélice exercer uma força de 5 kN sobre o eixo. Os apoios em B e C são mancais de deslizamentos.



Dados:

- Força (F) = 5kN
- Comprimento (L) = 8 m
- Diâmetro externo do eixo (de)= 400 mm
- Espessura do eixo (t) = 50 mm
- Módulo de elasticidade do aço A-36 (E) = 200 GPa

RESOLUÇÃO

Área da seção transversal:

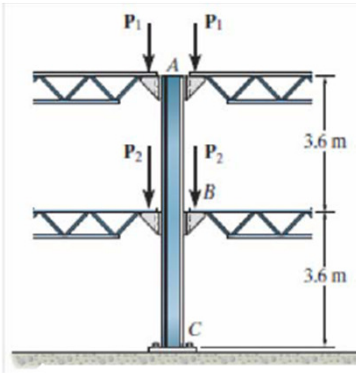
- $di = de - 2t \rightarrow di = 400 - 2(50) \rightarrow di = 300\,mm$
- $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times (de^2 - di^2) \rightarrow A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times (400^2 - 300^2) \rightarrow A = 54.977{,}87\,mm^2$

Deformação:

- $\delta = \frac{P \times L}{E \times A} \rightarrow \delta = \frac{-5000\,N \times 8000\,mm}{200.000\,{}^{N}/_{mm^2} \times 54.977{,}87 mm^2} \rightarrow \delta = -0{,}003638\,mm$

Exemplo 2

A coluna de aço A-36 é usada para suportar as cargas simétricas dos dois pisos de um edifício. Determine o deslocamento vertical de sua extremidade, A, se P_1 = 200 kN, P_2 = 310 kN e a coluna tiver área de seção transversal de 14.625 mm^2.



Dados:

- Força P_1 = 200 kN
- Força P_2 = 310 kN
- Comprimento AB = 3,6 m
- Comprimento BC = 3,6 m
- Área da seção transversal (A) = 14.625,00 mm^2
- Módulo de elasticidade do aço A-36 (E) = 200 GPa

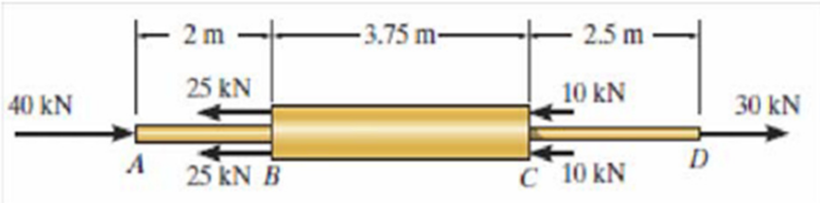
RESOLUÇÃO

Deformação:

- $\delta_{AB} = \frac{2.P_1 \times L}{E \times A}$
- $\delta = \frac{-400.000N \times 3600\ mm}{200.000\ ^{N}/_{mm^2} \times 14.625\ mm^2} \rightarrow\ \delta = -0{,}492\ mm$
- $\delta_{BC} = \frac{2.(P_1 + P_2) \times L}{E \times A}$
- $\delta = \frac{-1.020.000N \times 3600\ mm}{200.000\ ^{N}/_{mm^2} \times 14.625\ mm^2} \rightarrow\ \delta = -1{,}255\ mm$
- $\delta_{total} = \delta_{AB} + \delta_{BC}$
- $\delta_{total} = (-0{,}492) + (-1{,}255)$
- $\delta_{total} = -1{,}747\ mm$

Exemplo 3

O eixo de cobre está sujeito às caras axiais mostradas na figura. Determine o deslocamento da extremidade A em relação à extremidade D, se os diâmetros de cada segmento forem d_{AB} = 20 mm; d_{BC} = 25 mm e d_{CD} = 12 mm. Considere E_{cobre} = 126 GPa.



RESOLUÇÃO

Seções transversais:

- $A_{AB} = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times 20^2 \rightarrow A_{AB} = 314{,}16\ mm^2$
- $A_{BC} = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times 25^2 \rightarrow A_{BC} = 490{,}87\ mm^2$
- $A_{CD} = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times 12^2 \rightarrow A_{CD} = 113{,}10\ mm^2$

RESOLUÇÃO

Deformações:

- $\delta_{AB} = \dfrac{-40.10^3\ N \times 2.10^3\ mm}{126.000\ ^N/_{mm^2} \times 314{,}59\ mm} \rightarrow \delta_{AB} = -2{,}0210\ mm$

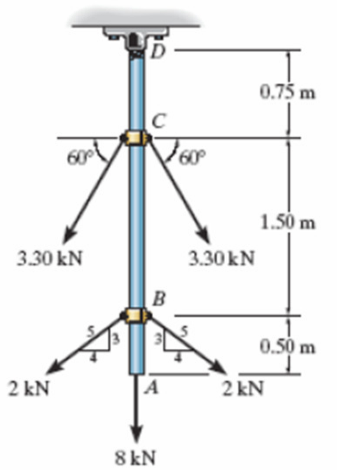
- $\delta_{BC} = \dfrac{(-40.10^3 + 50.10^3)\ N \times (3{,}75.10^3)mm}{126.000\ ^N/_{mm^2} \times 490{,}87\ mm} \rightarrow \delta_{BC} = 0{,}6063\ mm$

- $\delta_{CD} = \dfrac{(-40.10^3 + 50.10^3 + 20.10^3)\ N \times (2{,}50.10^3)mm}{126.000\ ^N/_{mm^2} \times 113{,}10\ mm} \rightarrow \delta_{CD} = 5{,}2629\ mm$

- $\delta = -2{,}0210 + 0{,}6063 + 5{,}2629 \rightarrow \delta = 3{,}8482\ mm$

Exemplo 4

A haste de aço A-36 está sujeita ao carregamento mostrado. Se a área de seção transversal da haste for 60 mm², determine o deslocamento de B e A. Despreze os tamanhos dos acoplamentos B, C e D.



Dados:

- Comprimento AB = 0,50 m
- Comprimento BC = 1,50 m
- Comprimento CD = 0,75 m
- Força no ponto A = 8 kN
- Força no ponto B = 2[2000(3/5)]
- Força no ponto C = 2(3300sen60°)
- Módulo de elasticidade (E) = 200 Gpa
- Área da seção transversal = 60 mm²

RESOLUÇÃO

Deformações:

- $\delta_{AB} = \frac{8000 \times 500}{200.000 \times 60} \rightarrow \delta_{AB} = 0{,}33\ mm$

- $\delta_{BC} = \frac{[8000+2(2000 \times ^3/_5)] \times 1500}{200.000 \times 60} \rightarrow \delta_{BC} = 1{,}30\ mm$

- $\delta_{CD} = \frac{[8000+2(2000 \times ^3/_5)+2(3300 \sin 60)] \times 750}{200.000 \times 60} \rightarrow \delta_{CD} = 1{,}01\ mm$

RESOLUÇÃO

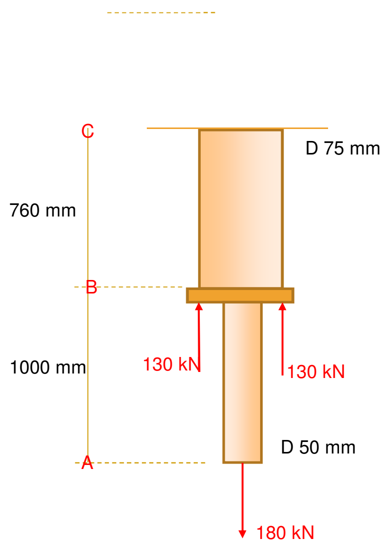
Deformações totais:

- $\delta_B = \delta_{CD} + \delta_{BC} \rightarrow \delta_B = 1{,}30 + 1{,}01 \rightarrow \delta_B = 2{,}31\ mm$

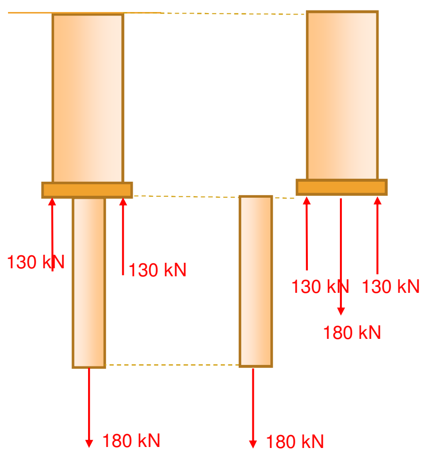
- $\delta_A = \delta_{CD} + \delta_{BC} + \delta_{AB} \rightarrow \delta_A = 1{,}30 + 1{,}01 + 0{,}33 \rightarrow \delta_A = 2{,}64\ mm$

Exemplo 5

Duas barras cilíndricas maciças são ligadas em B e carregadas como mostrado. A barra AB é de aço (E=200 GPa) e a barra BC é de latão (E=105 GPa). Determinar a deformação total da peça.



RESOLUÇÃO



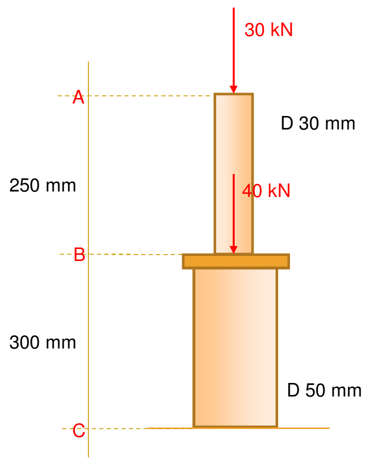
$$\delta_{BC} = \frac{(180.000 - 260.000) \times 760}{105.000 \times 4.417,86} \rightarrow \delta_{AB} = -0,13\ mm$$

$$\delta_{AB} = \frac{180.000 \times 1000}{200.000 \times 1.963,50} \rightarrow \delta_{AB} = 0,45\ mm$$

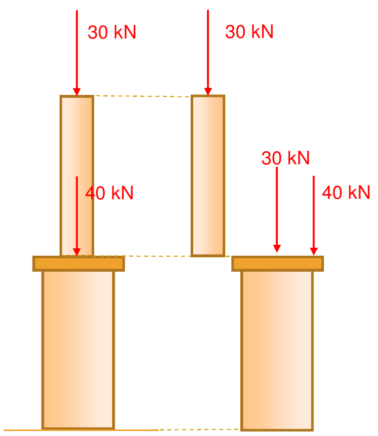
$$\delta_{TOTAL} = -0,13 + 0,45 = 0,32\ mm$$

Exemplo 6

Duas barras cilíndricas maciças são ligadas em B e carregadas como mostrado. A barra AB é de aço (E=200 GPa) e a barra BC é de latão (E=105 GPa). Determinar a deformação total da peça.



RESOLUÇÃO

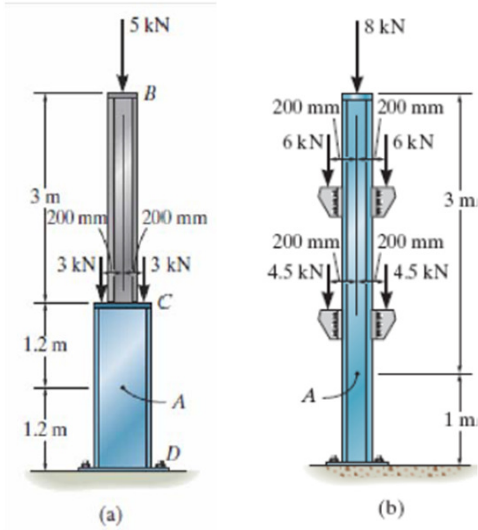


$$\delta_{AB} = \frac{-30.000 \times 250}{200.000 \times 706{,}86} \rightarrow \delta_{AB} = -0{,}053\ mm$$

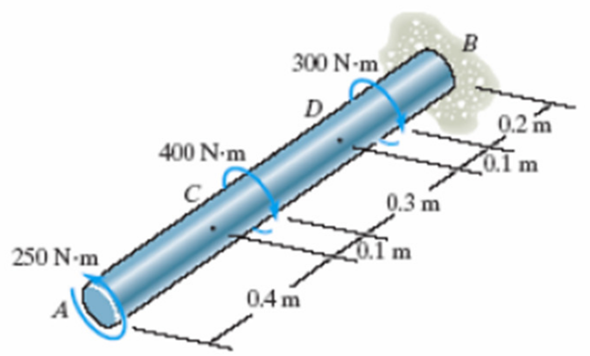
$$\delta_{BC} = \frac{(-30.000-40.000) \times 300}{105.000 \times 1.963{,}50} \rightarrow \delta_{AB} = -0{,}102\ mm$$

$$\delta_{TOTAL} = -0{,}053 - 0{,}102 = -0{,}155\ mm$$

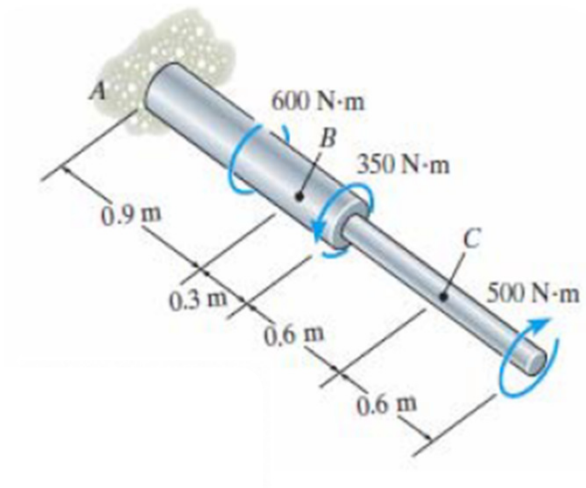
Exercício 1:



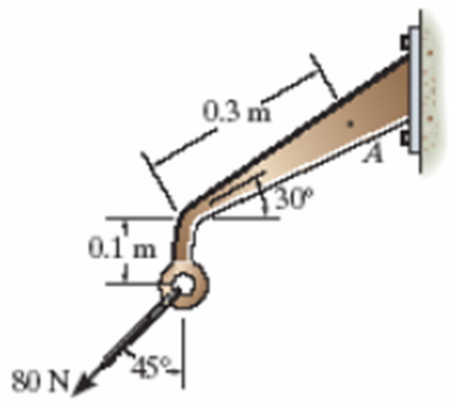
Exercício 2:



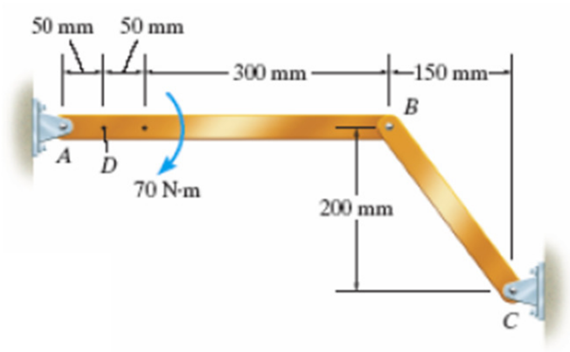
Exercício 3:



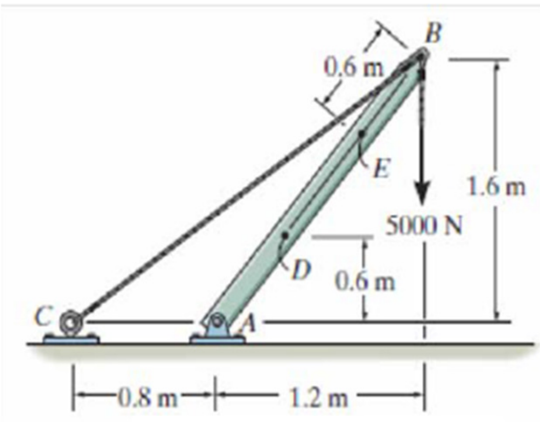
Exercício 4:



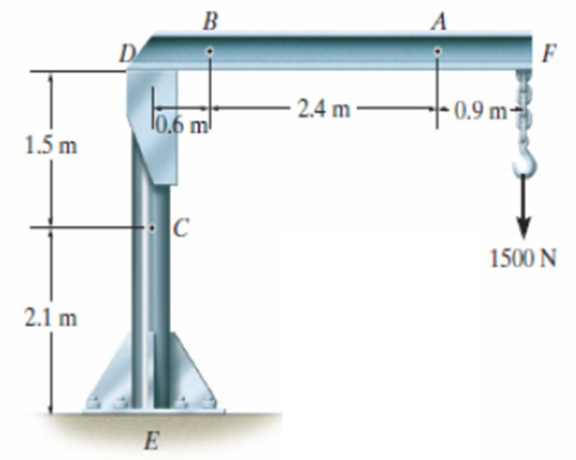
Exercício 5:



Exercício 6:

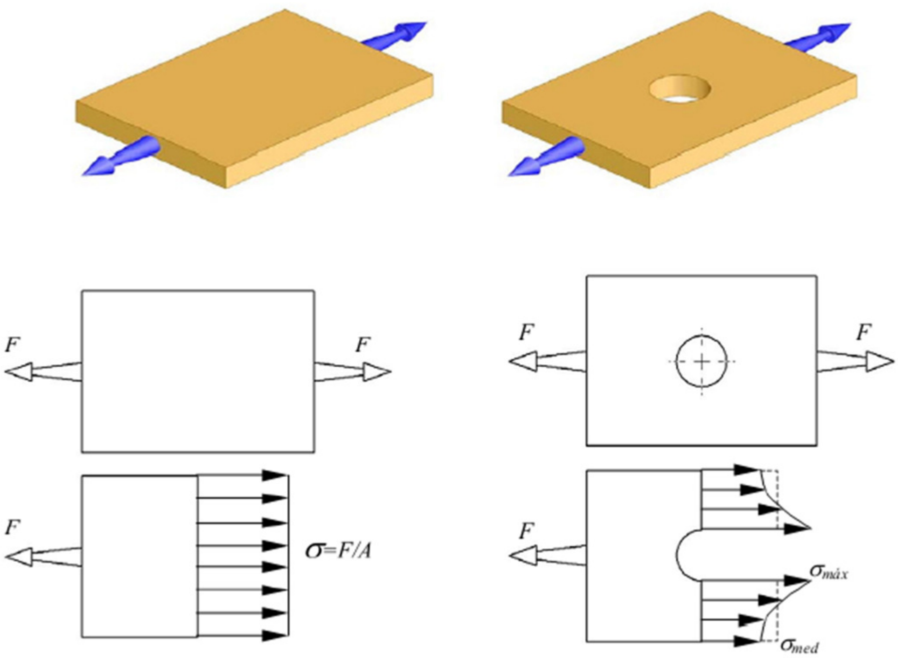


Exercício 7:



3
Concetração de tensões de tração

Todo objeto que apresente descontinuidade ou redução brusca de seção transversal, desenvolvem tensões maiores na região de descontinuidade.

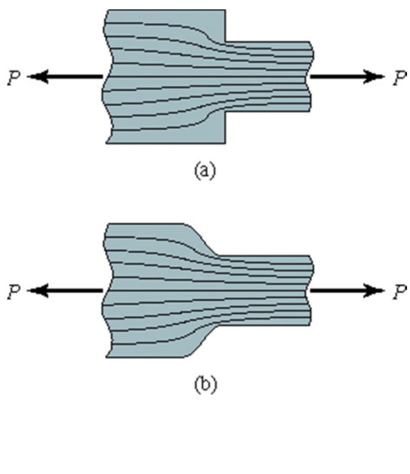


No dimensionamento de componentes com essas características, a tensão máxima (σ_{max}) deve ser considerada de forma que não ultrapasse o limite de resistência do material (σ_E ou σ_R).

$$\boldsymbol{\sigma_{max} = K_t \times \sigma_{med}}$$

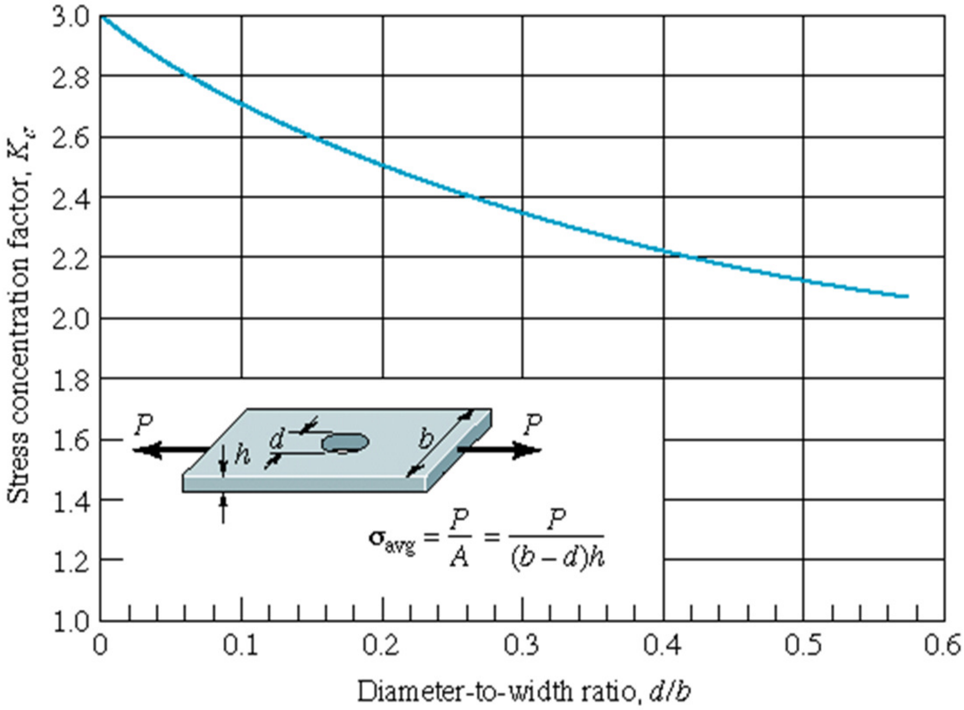
K_t - Fator de forma ou coeficiente de concentração de tração

"Visualização" da Concentração de Tensões

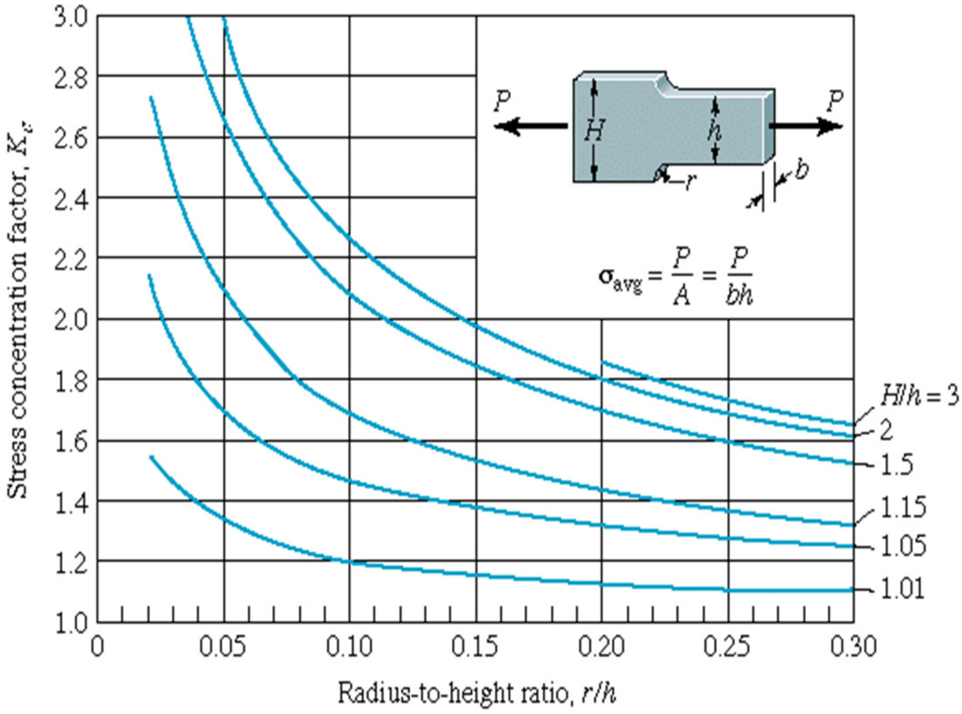


k_t varia com :
- **O tipo de carga aplicada**
- **A geometria da peça**

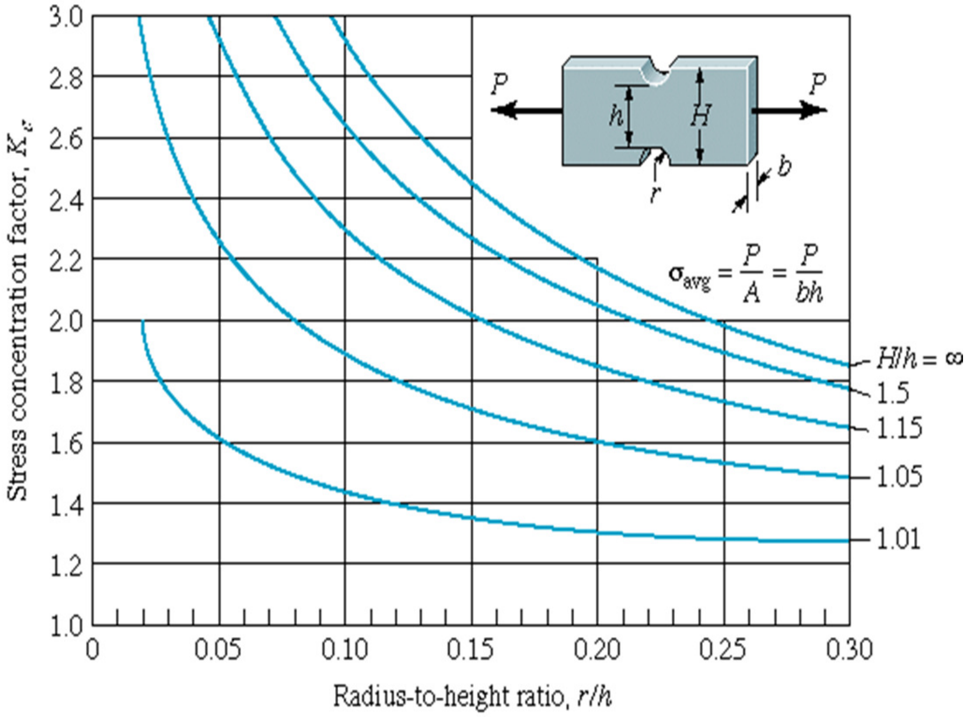
k_t é independente do material da peça



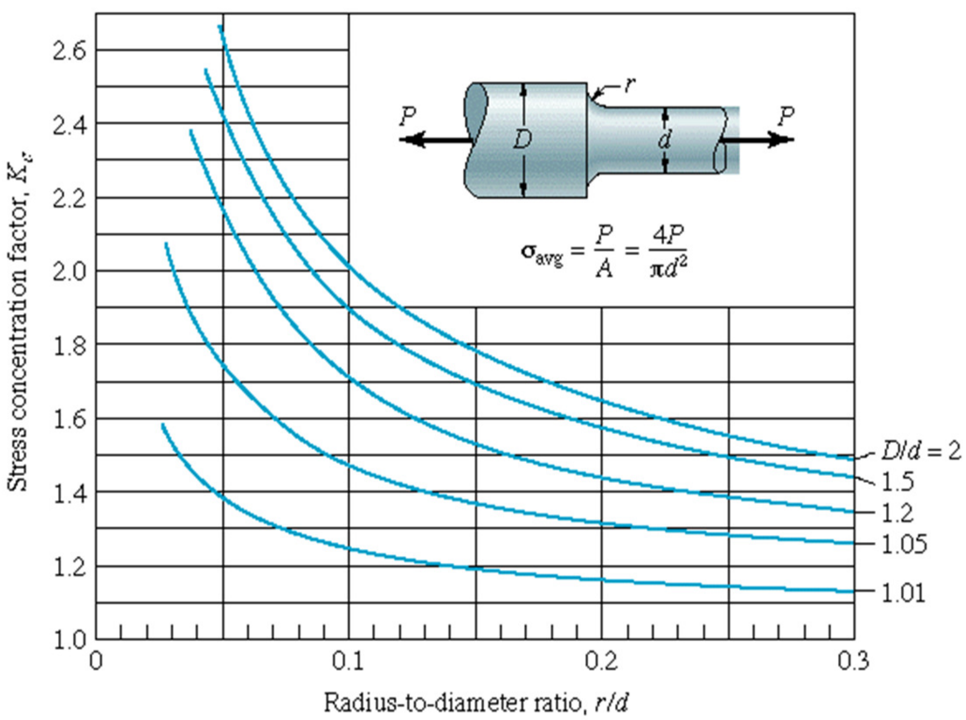
Stress concentration factor, K_t
3.0
2.8
2.6
2.4
2.2
2.0
1.8
1.6
1.4
1.2
1.0
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
Diameter-to-width ratio, d/b
P
d
b
h
P
$\sigma_{avg} = \frac{P}{A} = \frac{P}{(b-d)h}$



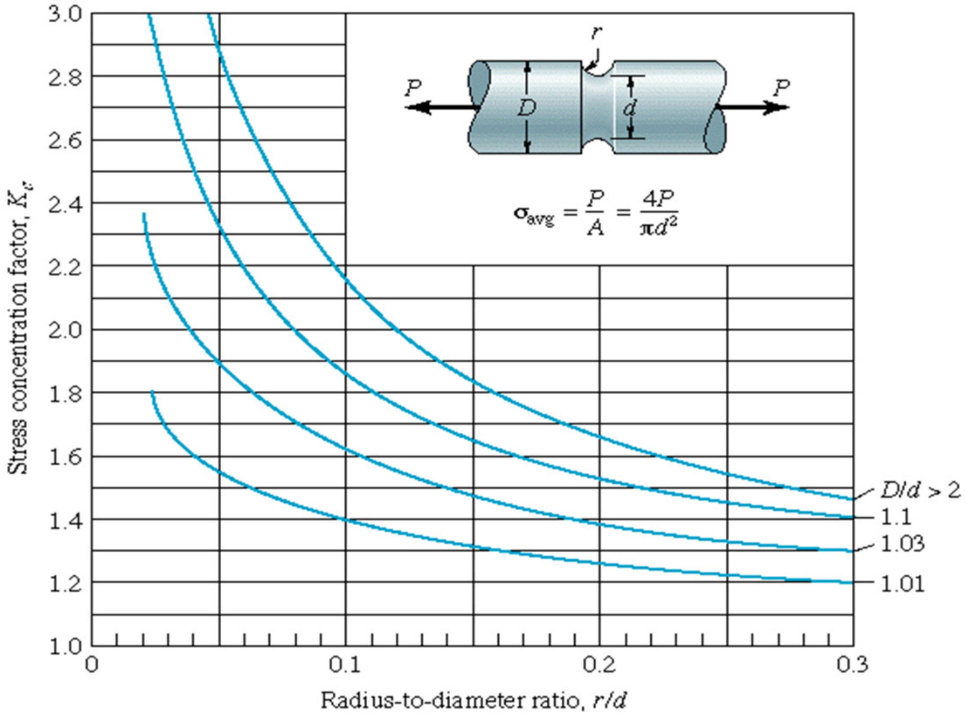
Stress concentration factor, K_t
3.0
2.8
2.6
2.4
2.2
2.0
1.8
1.6
1.4
1.2
1.0
0
0.05
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30
Radius-to-height ratio, r/h
P
H
h
r
b
P
$\sigma_{avg} = \frac{P}{A} = \frac{P}{bh}$
$H/h = 3$
2
1.5
1.15
1.05
1.01



P
P
h
H
r
b
$\sigma_{avg} = \frac{P}{A} = \frac{P}{bh}$
H/h = ∞
1.5
1.15
1.05
1.01
Stress concentration factor, K_c
Radius-to-height ratio, r/h

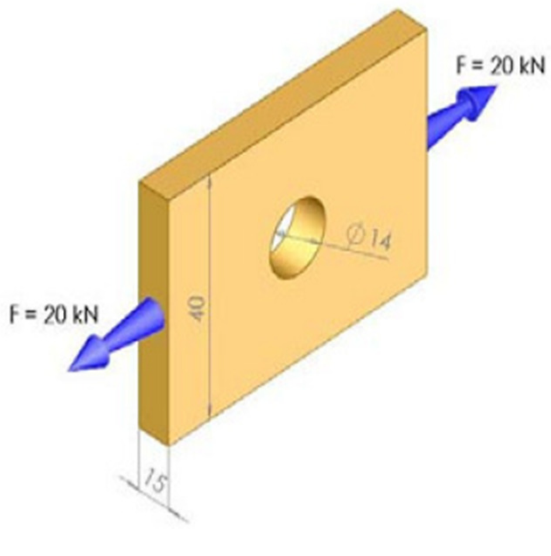


r
P
D
d
P
$\sigma_{avg} = \frac{P}{A} = \frac{4P}{\pi d^2}$
D/d = 2
1.5
1.2
1.05
1.01
Stress concentration factor, K_c
Radius-to-diameter ratio, r/d



Exemplo 1:

Calcular a tensão máxima produzida no entalhe representado pelo furo de diâmetro de 14mm, sendo a carga de tração de 20kN.



Área:

$$A = (40 - 14) \times 15$$

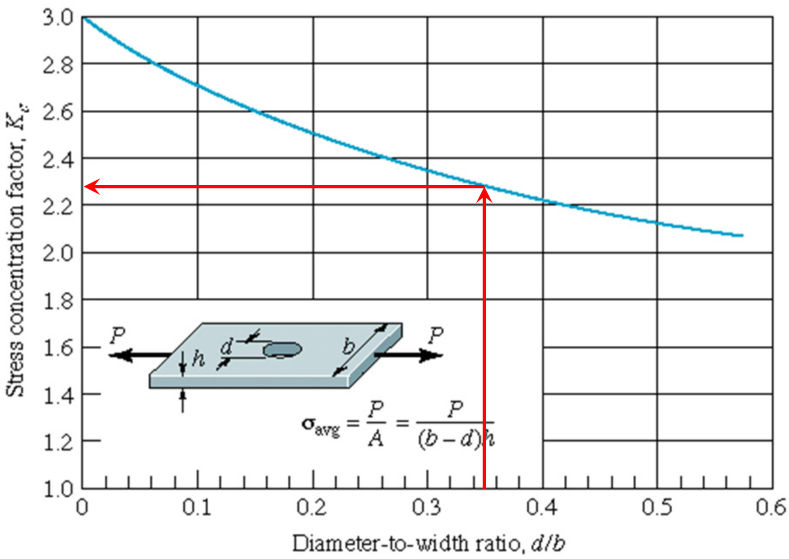
$$A = 390mm^2$$

Tensão média:

$$\sigma_{med} = \frac{20.000\ kN}{390\ mm^2}$$

$$\sigma_{med} = 51{,}2820\ kN/mm^2$$

$$\frac{d}{b} \rightarrow \frac{14}{40} = 0{,}35 \qquad K_t = 2{,}3$$



$\underline{Tensão\ máxima}$

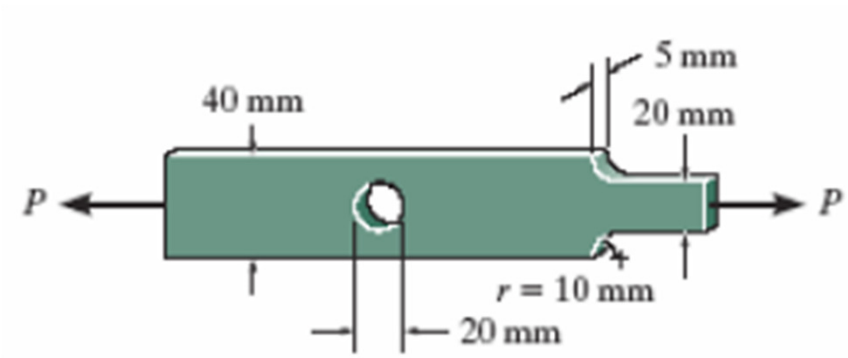
$$\sigma_{max} = K_t \times \sigma_{med}$$

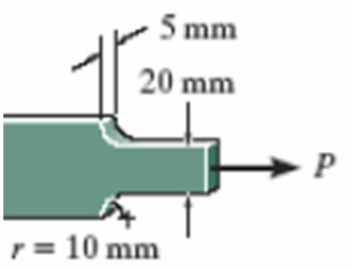
$$\sigma_{max} = 2{,}3 \times 51{,}2820$$

$$\sigma_{max} = 117{,}9486\ kN/mm^2$$

Exemplo 2:

Determine a tensão normal máxima desenvolvida na barra quando submetida a uma carga P de 8 kN.





$$\sigma_{med} = \frac{P}{A}$$

$$\sigma_{med} = \frac{8000}{20 \times 5}$$

$$\boldsymbol{\sigma_{med} = 80\ \mathrm{N}}$$

$$\frac{r}{h} = \frac{10}{20} = 0{,}5$$

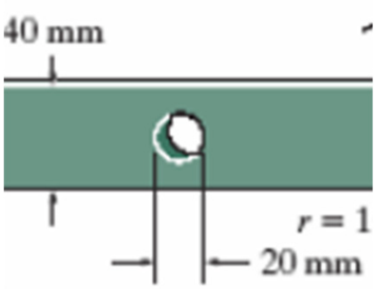
$$\frac{H}{h} = \frac{40}{20} = 2{,}0$$

$$\mathbf{K = 1{,}4}$$

$$\sigma_{max} = K \times \sigma_{med}$$

$$\sigma_{max} = 1{,}4 \times 80$$

$$\boldsymbol{\sigma_{max} = 112{,}00\ \mathrm{N/mm^2}}$$



$$\sigma_{med} = \frac{P}{A}$$

$$\sigma_{med} = \frac{8000}{(40-20)\times 5}$$

$$\boldsymbol{\sigma_{med} = 80\ \mathrm{N}}$$

$$\frac{r}{H} = \frac{10}{40} = 0{,}25$$

$$\mathbf{K = 2,375}$$

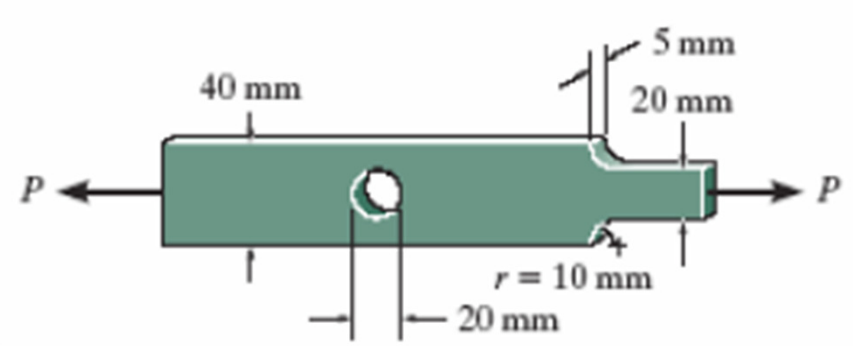
$$\sigma_{max} = K \times \sigma_{med}$$

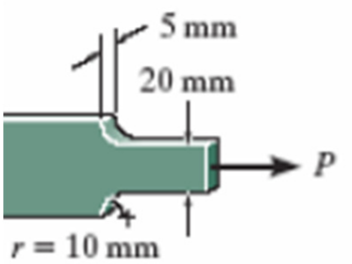
$$\sigma_{max} = 2{,}375 \times 80$$

$$\boldsymbol{\sigma_{max} = 190,00\ \mathrm{N/mm^2}}$$

Exemplo 3:

Se a tensão normal admissível para a barra for de 120 Mpa, determine a força máxima P que pode ser aplicada à barra.





$$\sigma_{med} = \frac{P}{A}$$

$$\boldsymbol{\sigma_{med} = \frac{P}{100}}$$

&

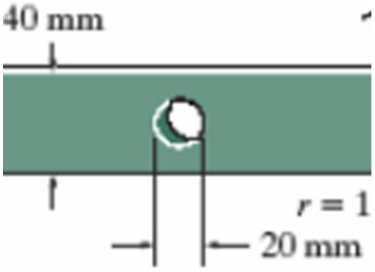
K = 1,4

$$\sigma_{adm} = \sigma_{med} \times K$$

$$\sigma_{adm} = \frac{P}{A} \times K$$

$$120 = \frac{P}{100} \times 1{,}4$$

$$\boldsymbol{P = 8.571{,}43\ N}$$



$$\sigma_{med} = \frac{P}{A}$$

$$\boldsymbol{\sigma_{med} = \frac{P}{(40-20)\times 5}}$$

&

K = 2,375

$$\sigma_{adm} = \sigma_{med} \times K$$

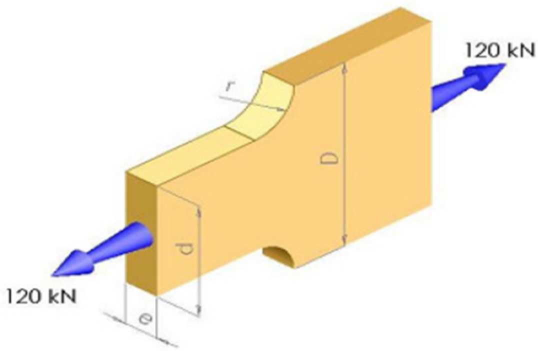
$$\sigma_{adm} = \frac{P}{A} \times K$$

$$120 = \frac{P}{100} \times 2{,}375$$

$$\boldsymbol{P = 5.052,63\ \mathrm{N}}$$

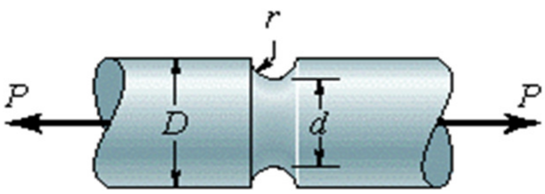
Exercício 01:

Raio de arredondamento (r) ……..............5 mm
Espessura (e) …..................................15 mm
Dimensão menor (d) …..........................50 mm
Dimensão maior (D) ………..................60 mm



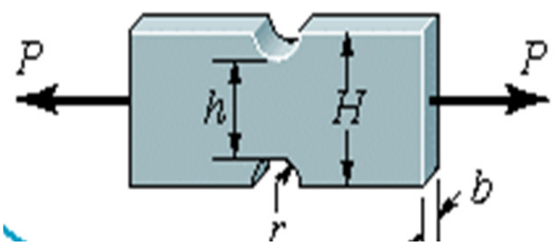
Exercício 02:

Raio de arredondamento (r) …..................5 mm
Dimensão maior (D) …..........................300 mm
Força (P) ....12 kN



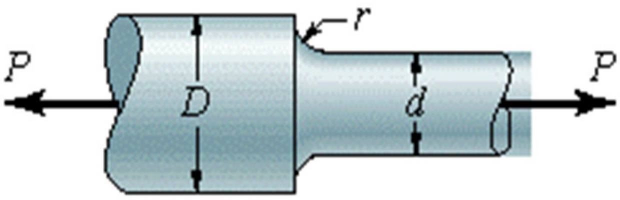
Exercício 03:

Raio de arredondamento (r) …...............5 mm
Dimensão maior (H) …...........................3 mm
Força (P) ....12 kN



Exercício 04:

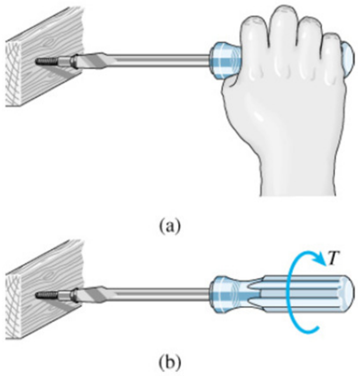
Raio de arredondamento (r) …...............5 mm
Dimensão maior (D) …...........................3 mm
Força (P) ....12 kN



4
Torção

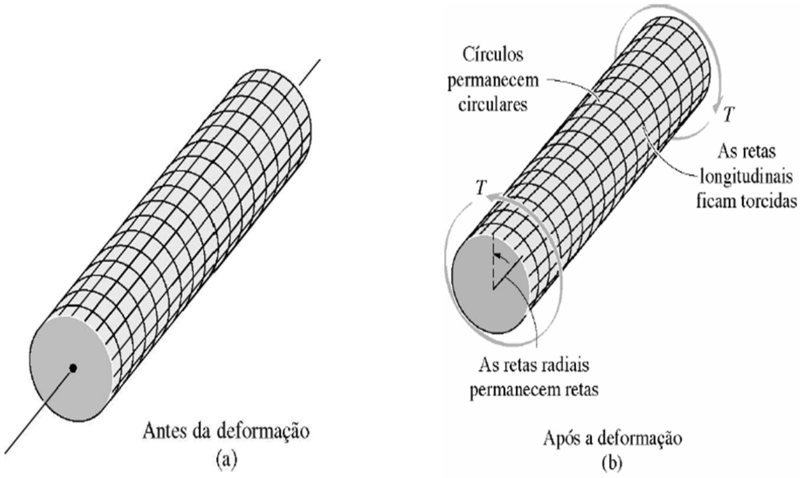
Definição

Torção se refere ao giro de uma barra retilínea quando carregada por momentos (ou torques) que tendem a produzir rotação sobre o eixo longitudinal da barra.



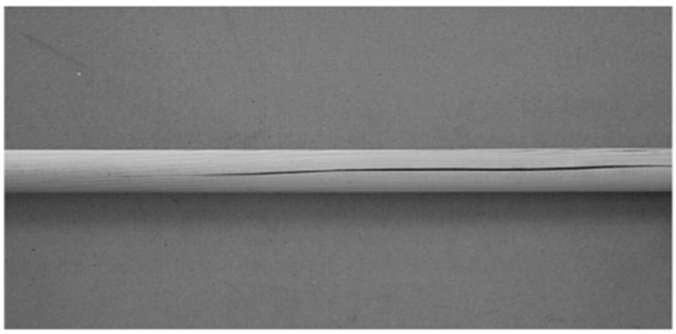
Definição de torque:

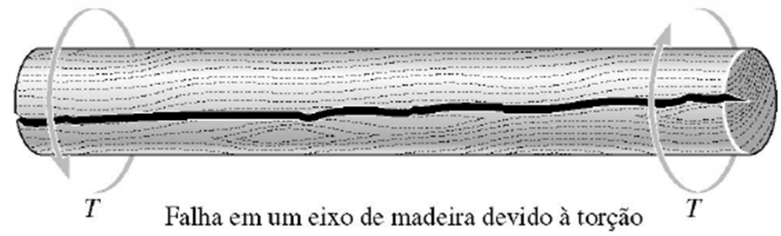
Torque é o momento que tende a torcer a peça em torno de seu eixo longitudinal. Seu efeito é de interesse principal no projeto de eixos ou eixos de acionamento usados em veículos e maquinaria.



Antes da deformação
(a)

Após a deformação
(b)





Falha em um eixo de madeira devido à torção

$$\tau_{máx} = \frac{T \cdot c}{J} \qquad \tau = \frac{T \cdot \rho}{J}$$

onde:

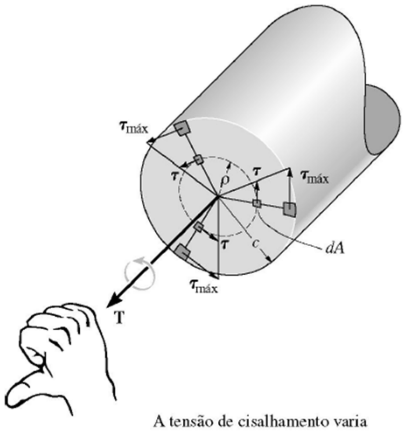
τ = Tensão de cisalhamento no eixo

T = Torque interno resultante que atua na seção transversal

J = Momento de inércia polar da área da seção transversal

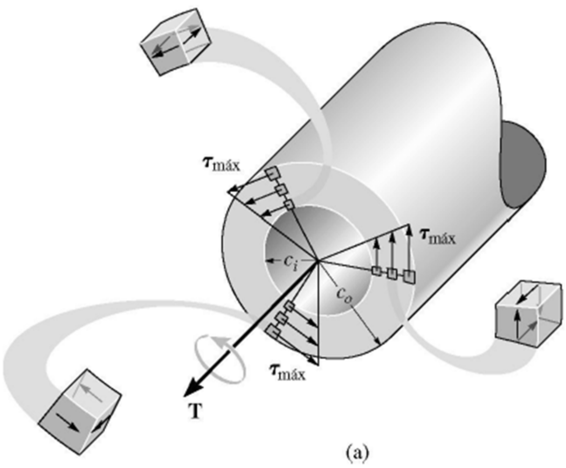
c = Raio externo do eixo

ρ = Raio medido a partir do centro do eixo



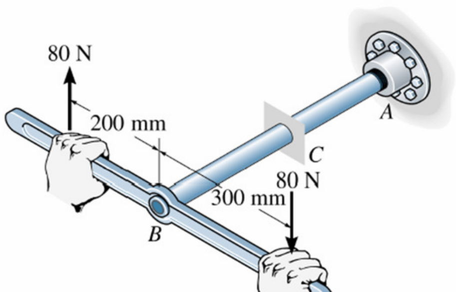
A tensão de cisalhamento varia linearmente ao longo de cada reta radial da seção transversal.

Momento de inércia polar: $$J = \frac{\pi \cdot \left(c_e^{\,4} - c_i^{\,4}\right)}{2}$$



(a)

1) O tubo mostrado na figura tem um diâmetro interno de 80 mm e diâmetro externo de 100 mm. Supondo que sua extremidade seja apertada contra o apoio em *A* por meio de um torquímetro em *B*, determinar a tensão de cisalhamento desenvolvida no material nas paredes interna e externa ao longo da parte central do tubo quando são aplicadas forças de 80 N ao torquímetro.



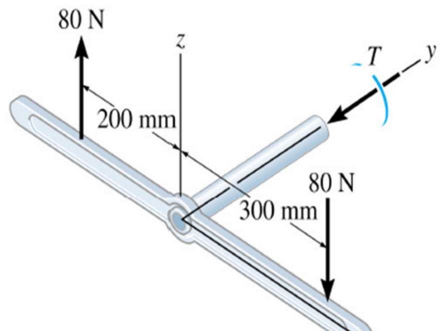
(a)

1

$$\sum M_y = 0$$

$$80 \cdot 0{,}3 + 80 \cdot 0{,}2 - T = 0$$

$$T = 40 \text{ Nm}$$



(b)

2

$$J = \frac{\pi \cdot \left(c_e^{\,4} - c_i^{\,4}\right)}{2} \Rightarrow J = \frac{\pi \cdot \left(0{,}05^4 - 0{,}04^4\right)}{2} \Rightarrow J = 5{,}8 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^4$$

3

$$\tau_{máx} = \frac{T \cdot c}{J} \Rightarrow \tau_{máx} = \frac{40 \cdot 0{,}05}{5{,}8 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow \tau_{máx} = 0{,}344 \cdot 10^{6}\ \text{Pa}$$

4

$$\tau_i = \frac{T \cdot c_i}{J} \Rightarrow \tau_i = \frac{40 \cdot 0{,}04}{5{,}8 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow \tau_i = 0{,}276 \cdot 10^{6}\ \text{Pa}$$

-

-

$$P = T \cdot \omega$$

P – potência (W)
T – torque (N.m)
ώ - velocidade angular (rad

No caso da análise de máquinas e mecanismos, a freqüência de rotação de um eixo, é geralmente conhecida.

Expressa em hertz (1Hz = 1 ciclo/s), ela representa o número de revoluções que o eixo realiza por segundo.

Como 1 ciclo = 2π rad, pode-se escrever que:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

Portanto, a equação da potência pode ser escrita do seguinte modo:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot T$$

1W = 1Nm/s

Quando a potência transmitida por um eixo e sua rotação são conhecidas, o torque no eixo pode ser determinado.

Conhecendo-se o torque atuante no eixo e a tensão de cisalhamento do material é possível determinar a dimensão do eixo a partir da equação da torção da seguinte forma:

$$\frac{J}{c} = \frac{T}{\tau_{adm}}$$

Para eixo maciço:

$$J = \frac{\pi \cdot c^4}{2}$$

Para eixo tubular:

$$J = \frac{\pi \cdot (c_e^{\,4} - c_i^{\,4})}{2}$$

2) Um eixo tubular de diâmetro interno de 30 mm e diâmetro externo de 42 mm é usado para transmitir 90 kW de potência. Determinar a freqüência de rotação do eixo de modo que a tensão de cisalhamento não exceda 50 MPa.

$$\tau_{máx} = \frac{T \cdot c}{J} \qquad J = \frac{\pi \cdot (c_e^{\,4} - c_i^{\,4})}{2}$$

$$T = \frac{\tau_{máx} \cdot J}{c}$$

$$T = \frac{\tau_{máx} \cdot \dfrac{\pi \cdot (c_e^{\,4} - c_i^{\,4})}{2}}{c}$$

$$T = \frac{50 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot (0{,}021^4 - 0{,}015^4)}{2}}{0{,}021} \quad \Rightarrow \quad T = 538 \text{ Nm}$$

A partir da equação da freqüência:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot T$$

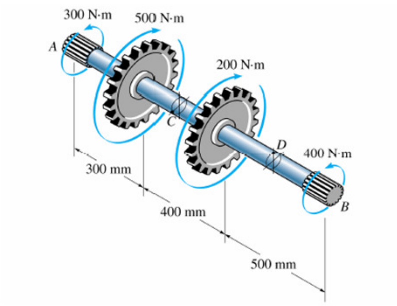
$$f = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot T}$$

$$f = \frac{90 \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot 538}$$

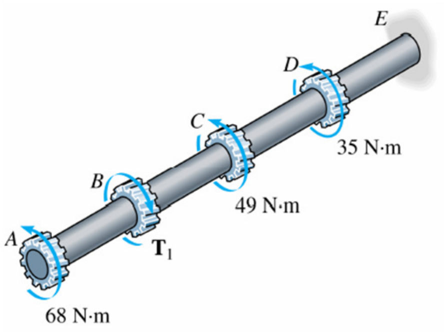
$$f = 26{,}6 \text{ Hz}$$

Lista de exercícios

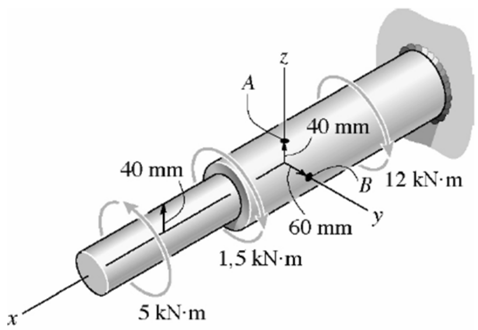
1) O eixo maciço de 30 mm de diâmetro é usado para transmitir os torques aplicados às engrenagens. Determinar a tensão de cisalhamento desenvolvida nos pontos ***C*** e ***D*** do eixo.



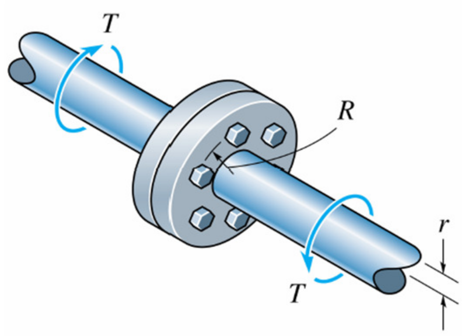
2) O eixo maciço de alumínio tem diâmetro de 50 mm. Determinar a tensão de cisalhamento máxima absoluta nele desenvolvida e traçar o gráfico da distribuição cisalhamento-tensão ao longo de uma reta radial onde o cisalhamento é máximo. Considerar T_1 = 20 Nm.



3) O eixo de aço está submetido à carga de torção mostrada. Determinar a tensão de cisalhamento desenvolvida nos pontos ***A*** e ***B*** e desenhar o gráfico da tensão de cisalhamento nos elementos de volume localizados nesses pontos. O eixo onde ***A*** e ***B*** estão localizados tem raio externo de 60 mm.



4) O acoplamento é usado para acoplar dois eixos. Supondo que a tensão de cisalhamento nos parafusos seja uniforme, determinar o número de parafusos necessários para que a tensão de cisalhamento máxima no eixo seja igual à tensão de cisalhamento nos parafusos. Cada parafuso tem diâmetro *d*.



5) A bomba opera com um motor que tem potência de 85 W. Supondo que o impulsor em ***B*** esteja girando a 150 rpm, determinar a tensão de cisalhamento máxima desenvolvida em ***A***, localizada no eixo de transmissão que tem 20 mm de diâmetro.