



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS CAMPUS SERTÃO EIXO TECNOLOGIA



Gerador

Rotação

Turbina

Mecânica dos Sólidos II

Prof. Dr. Alverlando Ricardo

Aula 12: PARTE III: **TORÇÃO**

Torção em barras de seção não circular

Torção em barras de seção não circular

- Na dedução das expressões *anteriormente* utilizadas partimos da hipótese de que as seções *transversais permaneciam planas* após a deformação, e que não mudavam sua forma.

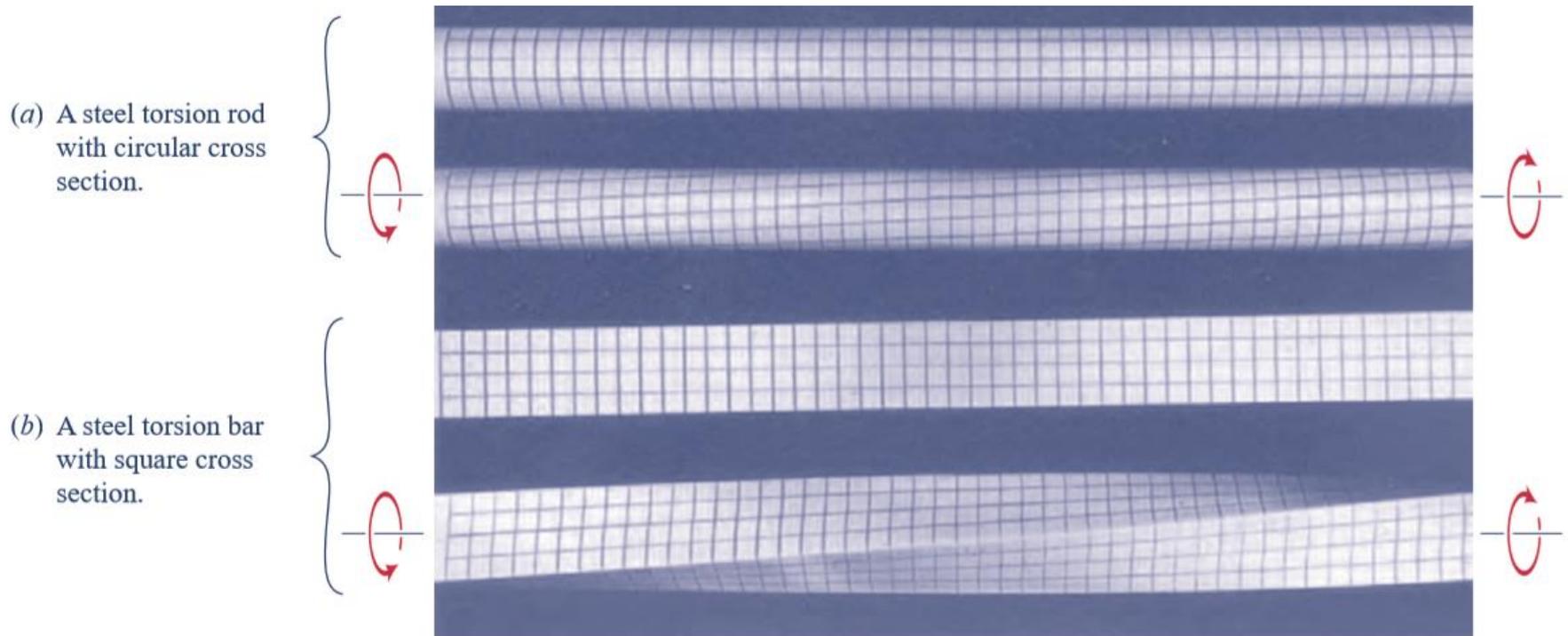
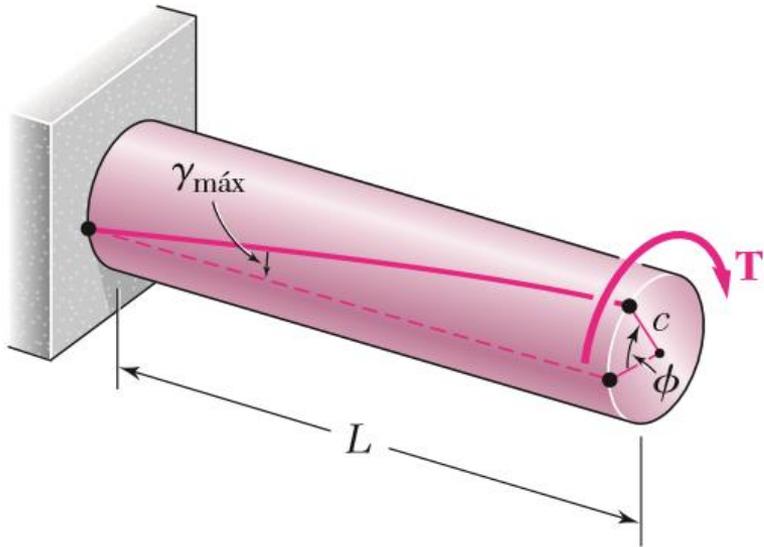


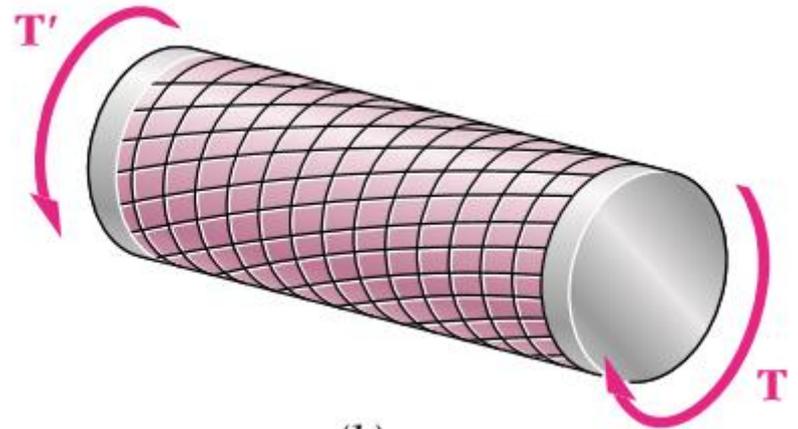
FIGURE 4.2 Examples of torsional deformation. (Roy Craig)

Torção em barras de seção não circular

- Na dedução das expressões *anteriormente* utilizadas partimos da hipótese de que as seções *transversais permaneciam planas* após a deformação, e que não mudavam sua forma.

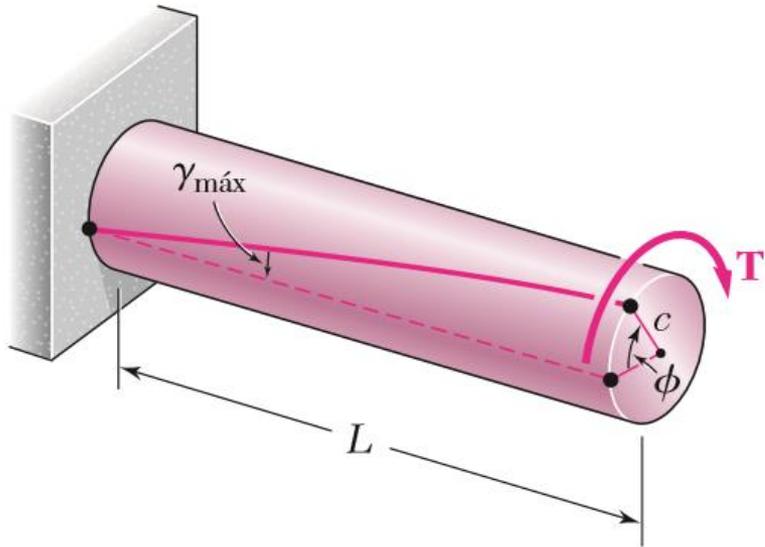


- Tal hipótese era baseada na *axissimetria* da barra.



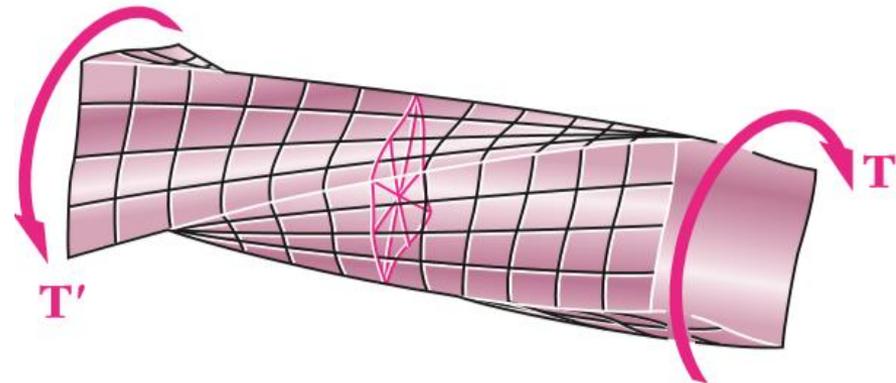
Torção em barras de seção não circular

- Na dedução das expressões *anteriormente* utilizadas partimos da hipótese de que as seções *transversais permaneciam planas* após a deformação, e que não mudavam sua forma.



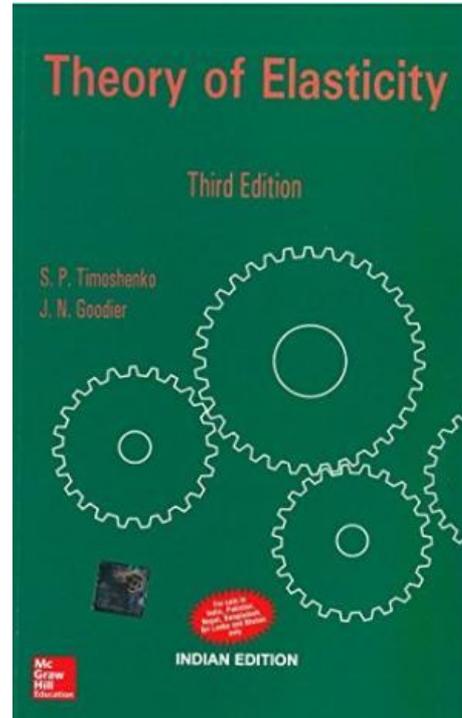
- Tal hipótese era baseada na *axissimetria* da barra.

- Seções diferentes das circulares *não são axissimétricas!*



Torção em barras de seção não circular

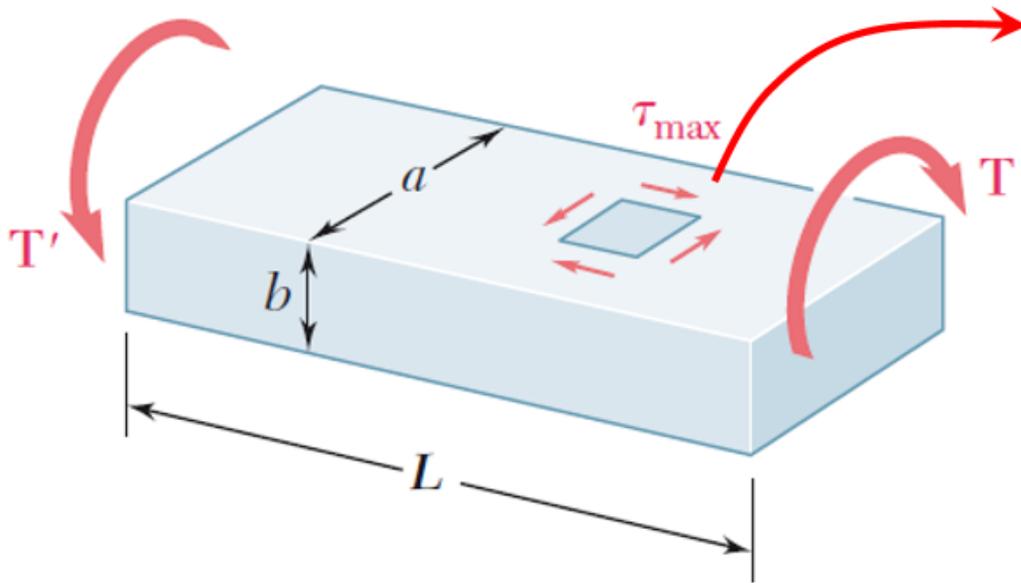
- A determinação das tensões em **barras não circulares** submetidas à torção está **além do escopo da resistência dos materiais**, mas podem ser indicados alguns resultados da teoria da elasticidade***;



*** TIMOSHENKO, S. P.; GOODIER, J. N. *Theory of Elasticity*, 3. ed. Nova York: McGrawHill, 1969, Seção 109.

Torção em barras de seção não circular

- A determinação das tensões em *barras não circulares* submetidas à torção está *além do escopo da resistência dos materiais*, mas podem ser indicados alguns resultados da teoria da elasticidade; .



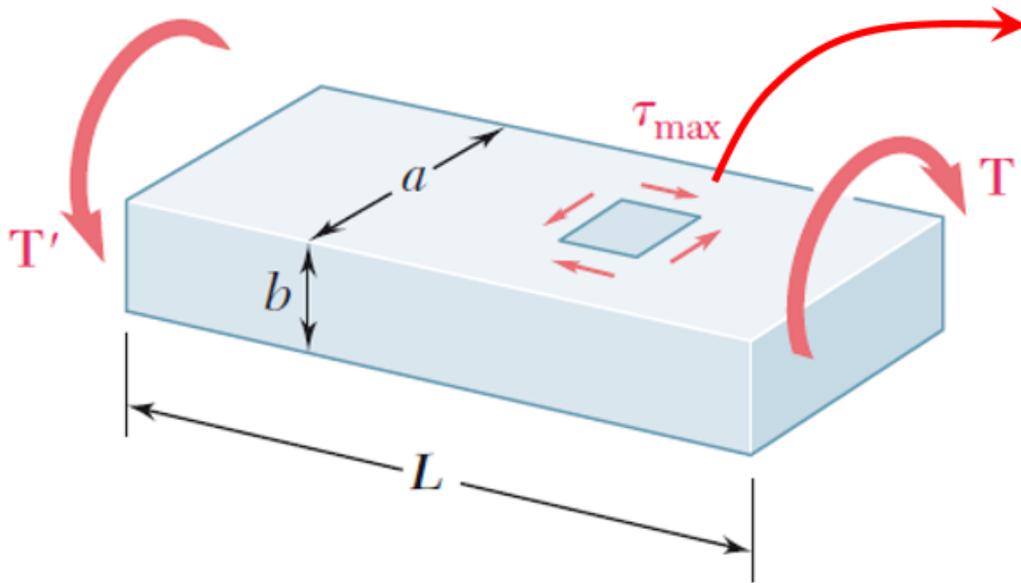
As maiores tensões de cisalhamento ocorrem ao longo da linha central da face mais larga da barra:

$$\tau_{\max} = \frac{T}{c_1 ab^2}$$



Torção em barras de seção não circular

- A determinação das tensões em **barras não circulares** submetidas à torção está **além do escopo da resistência dos materiais**, mas podem ser indicados alguns resultados da teoria da elasticidade; .



As maiores tensões de cisalhamento ocorrem ao longo da linha central da face mais larga da barra:

$$\tau_{\max} = \frac{T}{c_1 ab^2}$$



O ângulo de torção pode ser determinado por meio de:

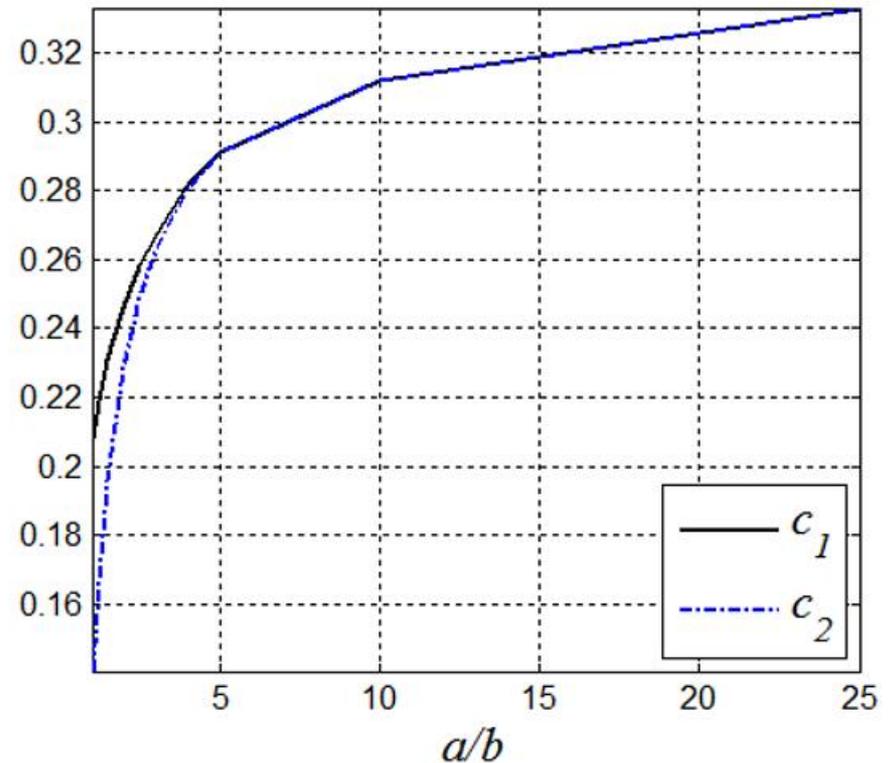
$$\phi = \frac{TL}{c_2 ab^3 G}$$



Torção em barras de seção não circular

- Os *coeficientes c_1 e c_2* são determinados pela teoria da elasticidade, mas, como dependem somente da relação a/b , podem ser tabelados:

a/b	c_1	c_2
1.0	0.208	0.1406
1.2	0.219	0.1661
1.5	0.231	0.1958
2.0	0.246	0.229
2.5	0.258	0.249
3.0	0.267	0.263
4.0	0.282	0.281
5.0	0.291	0.291
10.0	0.312	0.312
∞	0.333	0.333



$$c_1 = c_2 = \frac{1}{3}(1 - 0,630b/a) \quad (\text{somente para } a/b \geq 5)$$

Torção em barras de seção não circular

Resultados da análise da *teoria da elasticidade* para eixos com seções transversais *triangulares e elípticas* são apresentados na Tabela 5.1 do *HIBBELER*.

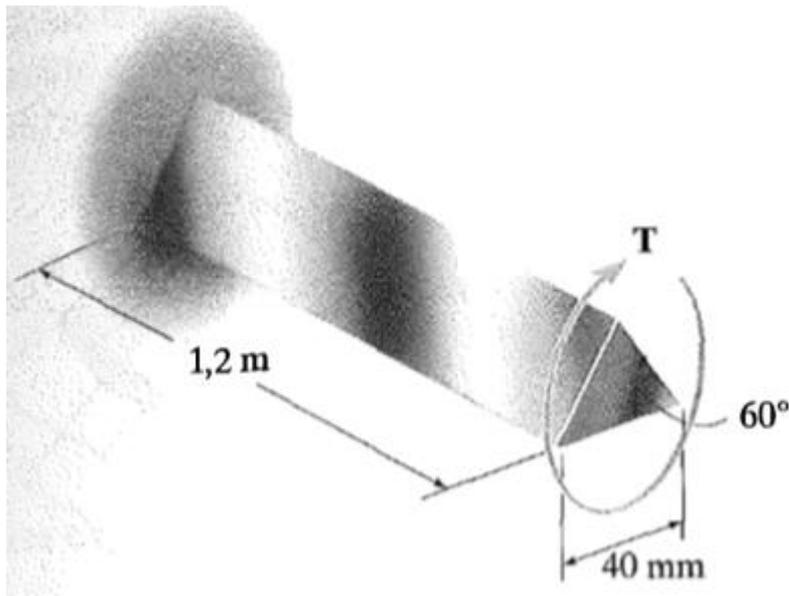
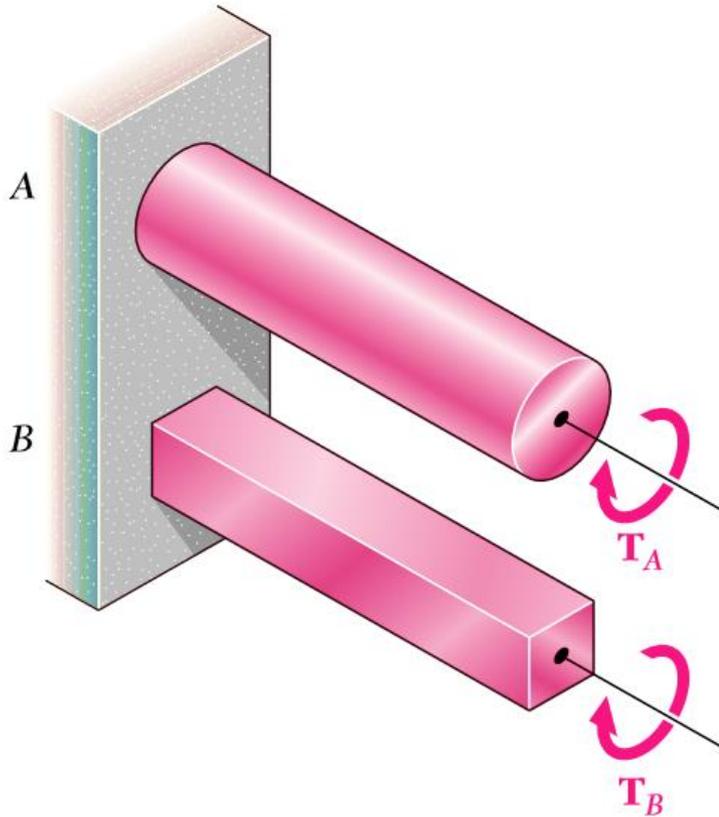


TABELA 5.1		
Forma da seção transversal	$\tau_{\text{máx}}$	ϕ
<p>Quadrada</p>	$\frac{4,81 T}{a^3}$	$\frac{7,10 T}{a^4 G}$
<p>Triângulo equilátero</p>	$\frac{20 T}{a^3}$	$\frac{46 TL}{a^4 G}$
<p>Elipse</p>	$\frac{2 T}{\pi a b^2}$	$\frac{(a^2 + b^2) TL}{\pi a^3 b^3 G}$

Torção em barras de seção não circular

Sob um mesmo momento torçor, quem apresenta melhor desempenho em termos de tensão cisalhante máxima: uma seção quadrada ou uma seção circular cheia de mesma área?



**MESMO COMPRIMENTO (L) e
mesma Área (A)**

Torção em barras de seção não circular

Sob um mesmo momento torçor, quem apresenta melhor desempenho em termos de tensão cisalhante máxima: uma seção quadrada ou uma seção circular cheia de mesma área?

Seção quadrada (para $a=b$, $c_1=0,208$):

$$\tau_{\max} = \frac{T}{c_1 ab^2} = \frac{T}{0,208 \cdot a^3} \cong 4,8077 \frac{T}{a^3}$$

Torção em barras de seção não circular

Sob um mesmo momento torçor, quem apresenta melhor desempenho em termos de tensão cisalhante máxima: uma seção quadrada ou uma seção circular cheia de mesma área?

Seção quadrada (para $a=b$, $c_1=0,208$):

$$\tau_{\max} = \frac{T}{c_1 ab^2} = \frac{T}{0,208 \cdot a^3} \cong 4,8077 \frac{T}{a^3}$$

Seção circular cheia:

$$\pi c^2 = a^2 \quad \therefore \quad c = \sqrt{\frac{a^2}{\pi}} = \frac{a}{\sqrt{\pi}} \quad (\text{mesma área})$$

$$\tau_{\max} = \frac{Tc}{J} = \frac{Tc}{\frac{\pi}{2} c^4} = \frac{T}{\frac{\pi}{2} c^3} = \frac{T}{\frac{\pi}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{\pi}} \right)^3 a^3} \cong \frac{T}{0,2821 \cdot a^3} \cong 3,5449 \frac{T}{a^3}$$

Torção em barras de seção não circular

Diferença percentual:

$$Diferença (\%) = \frac{4,8077 \cdot T/a^3 - 3,5449 \cdot T/a^3}{3,5449 \cdot T/a^3} \cong 35,62\%$$

- Para uma mesma situação de carregamento (um mesmo momento torçor, T):
 - A tensão cisalhante máxima que ocorre em um eixo de seção transversal quadrada é cerca de 35,6% maior que aquela que ocorre em um eixo de mesma área, mas seção transversal circular cheia.

Eixos vazados de paredes finas

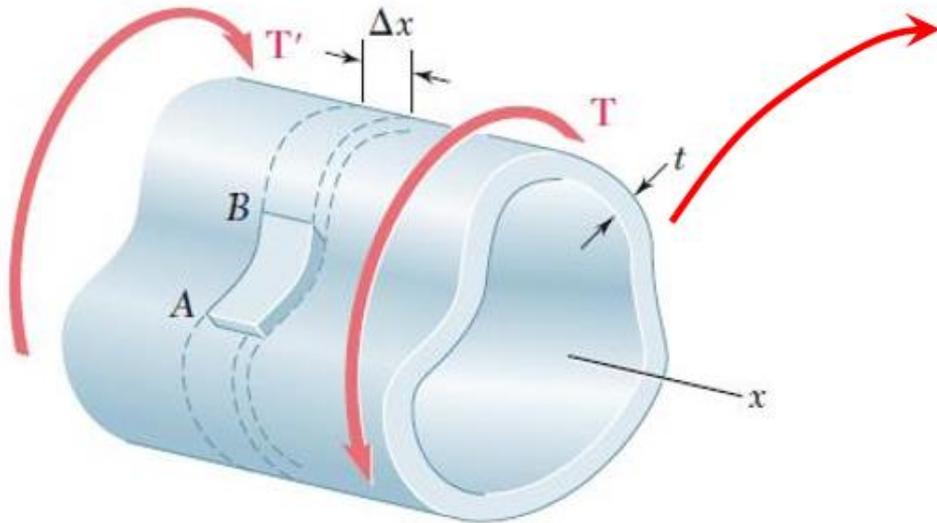
Eixos vazados de paredes finas

- *Quando a barra de seção não circular tem paredes finas, boas aproximações dos valores das tensões podem ser obtidos por meio de cálculos simples (sem utilizar a Teoria da Elasticidade);*
- *A parede do componente deve conter uma única cavidade e não pode ser aberta por um rasgo. Em outras palavras, o componente deve ser topologicamente equivalente a um eixo circular vazado.*

Eixos vazados de paredes finas

➤ Quando a barra de **seção não circular tem paredes finas**, boas aproximações dos valores das tensões podem ser obtidos por meio de cálculos simples (**sem utilizar a Teoria da Elasticidade**);

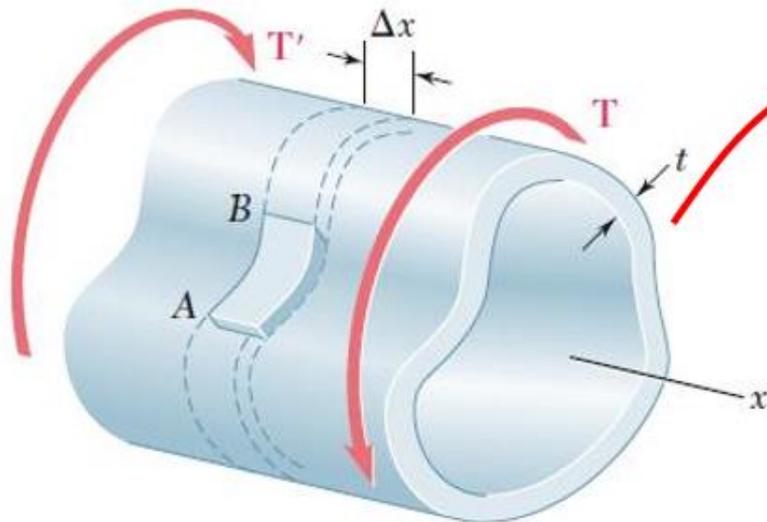
- Consideremos a barra cilíndrica vazada de seção não circular a seguir:



Eixos vazados de paredes finas

➤ Quando a barra de **seção não circular tem paredes finas**, boas aproximações dos valores das tensões podem ser obtidos por meio de cálculos simples (**sem utilizar a Teoria da Elasticidade**);

- Consideremos a barra cilíndrica vazada de seção não circular a seguir:



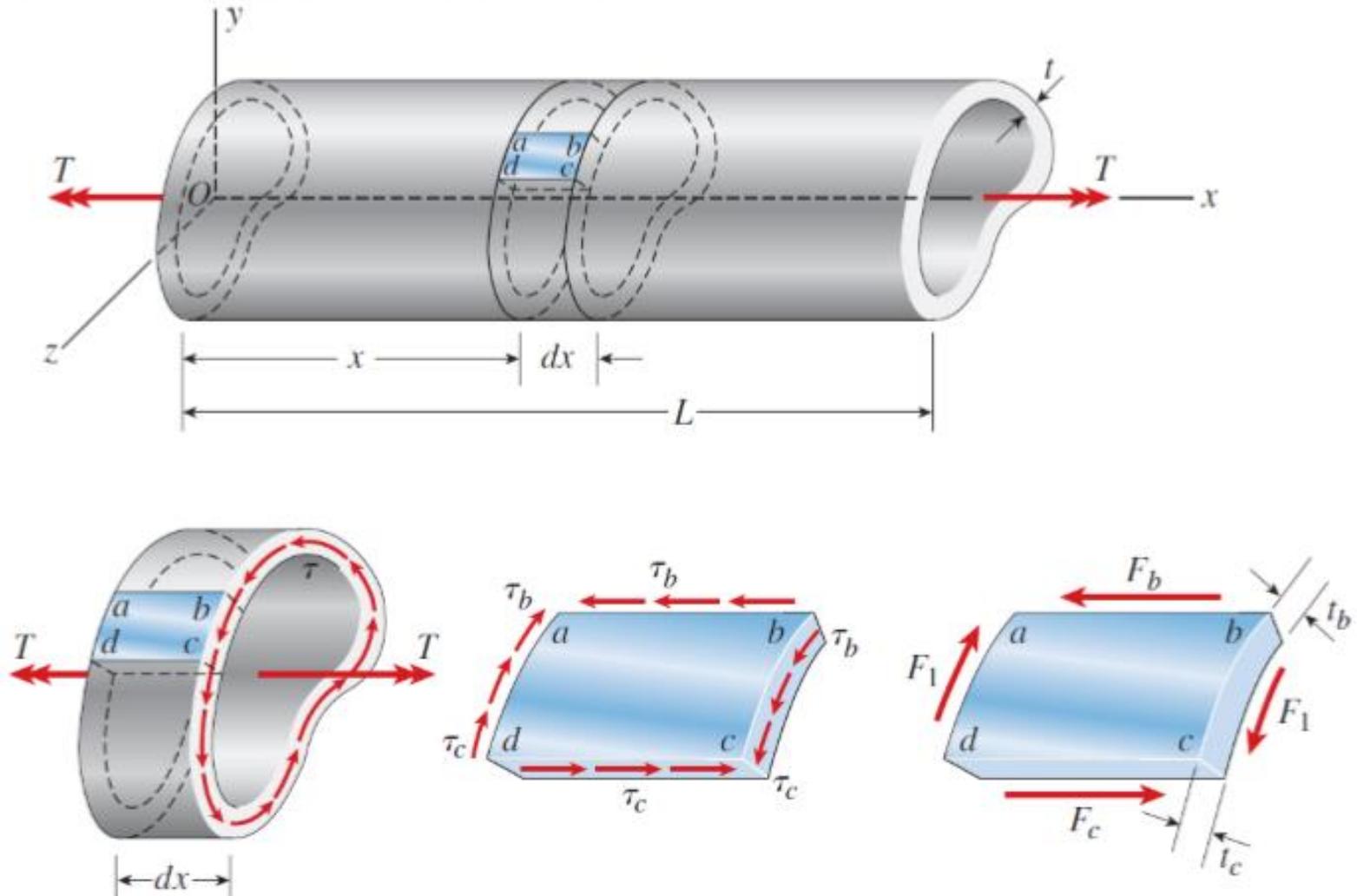
Hipótese: espessura t da parede pode variar ao longo da seção, mas apresenta valor pequeno em comparação com as outras dimensões do eixo.



A distribuição de tensão cisalhante ao longo da espessura pode ser considerada uniforme!

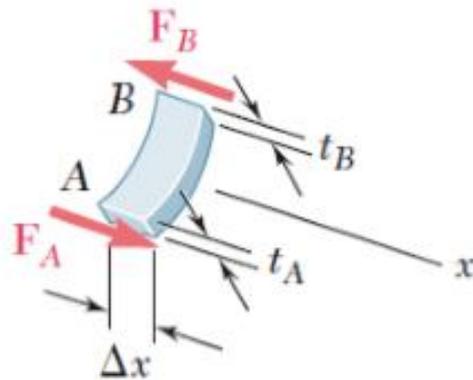
Eixos vazados de paredes finas

- Vamos analisar uma porção do eixo:



Fonte: Gere JM, Goodno, BJ. Mechanics of Materials. 7th edition. Cengage Learning, 2009.

Eixos vazados de paredes finas



Pelo equilíbrio do elemento:

$$\sum F_x = 0: \quad F_A - F_B = 0$$

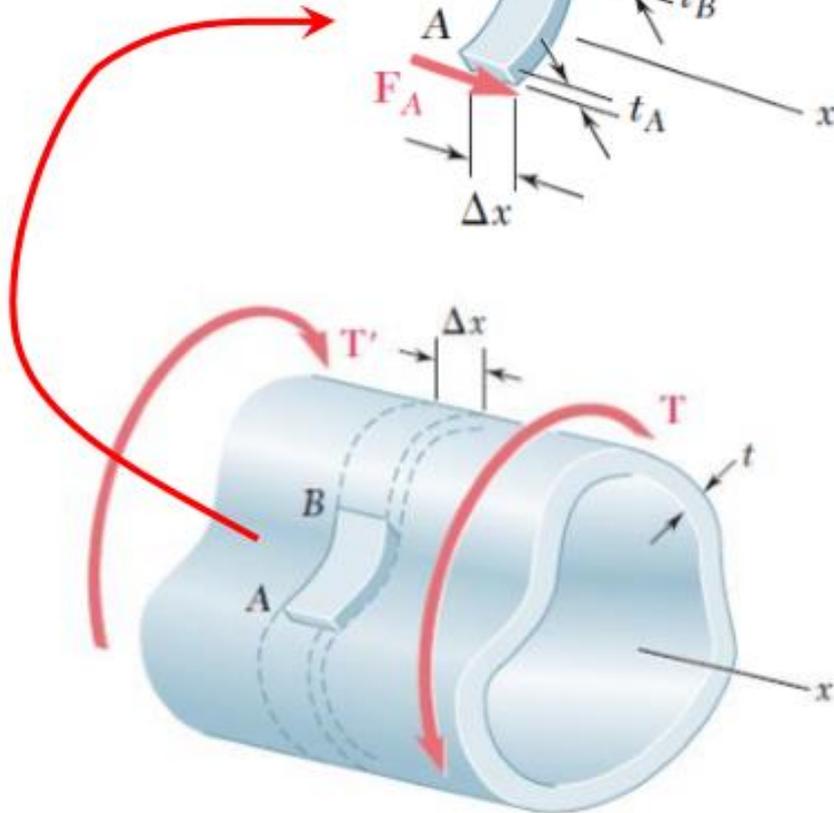
Podemos expressar F_A como o produto da área da face A pela tensão de cisalhamento nela atuante:

$$F_A = \tau_A (t_A \Delta x)$$

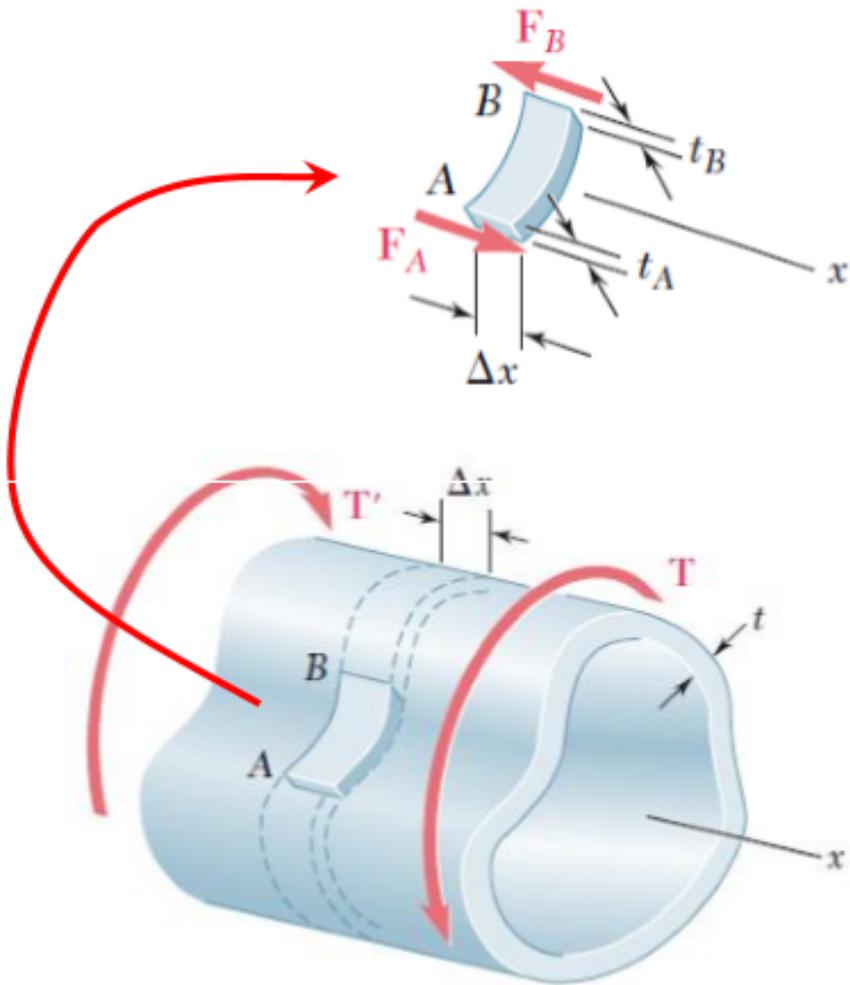
Expressando também F_B em termos da respectiva tensão de cisalhamento :

$$\tau_A (t_A \Delta x) = \tau_B (t_B \Delta x)$$

$$\tau_A t_A = \tau_B t_B$$



Eixos vazados de paredes finas



Pelo equilíbrio do elemento:

$$\sum F_x = 0: \quad F_A - F_B = 0$$

Podemos expressar F_A como o produto da área da face A pela tensão de cisalhamento nela atuante:

$$F_A = \tau_A (t_A \Delta x)$$

Expressando também F_B em termos da respectiva tensão de cisalhamento :

$$\tau_A (t_A \Delta x) = \tau_B (t_B \Delta x)$$

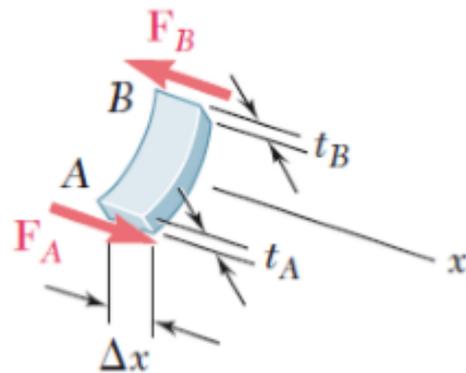
$$\tau_A t_A = \tau_B t_B$$

$$q = \tau \cdot t = \text{constante}$$

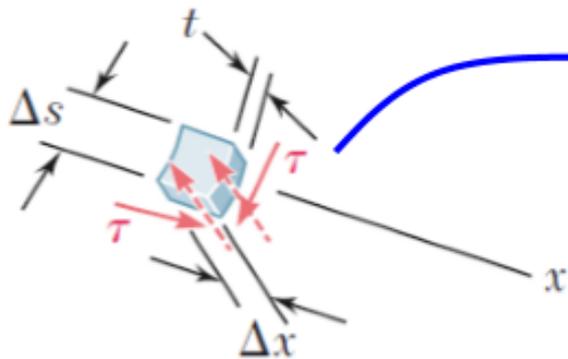


*(O produto $\tau \cdot t$ é **constante** ao longo da barra!)*

Eixos vazados de paredes finas



Tomando um pequeno elemento da porção AB , cujas faces superior (externa) e inferior (interna) fazem parte da superfície da barra (nestas faces a tensão é nula).



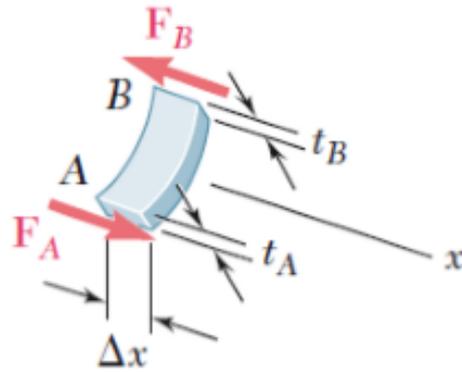
A tensão de cisalhamento em qualquer ponto da seção transversal é paralela à superfície da parede, e seu valor médio calculado ao longo da espessura da parede satisfaz:

$$q = \tau \cdot t = \text{constante}$$

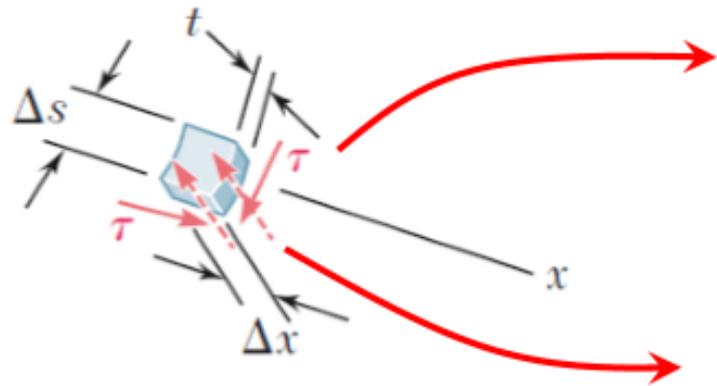


FLUXO DE CISALHAMENTO

Eixos vazados de paredes finas



Tomando um pequeno elemento da porção AB , cujas faces superior (externa) e inferior (interna) fazem parte da superfície da barra (nestas faces a tensão é nula).



Setas em linha cheia, iguais entre si.

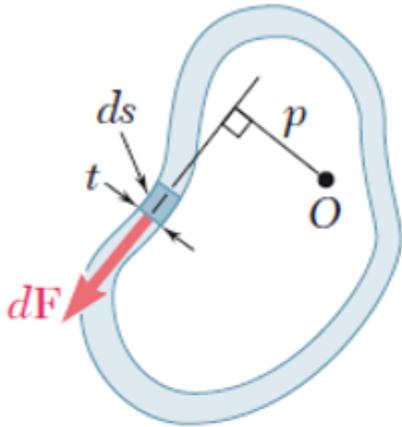
Tracejadas nulas.

Eixos vazados de paredes finas

- Considerando um pequeno elemento da seção da parede, de comprimento ds :

Tem-se que $dA=t \cdot ds$, portanto, a intensidade do esforço interno dF que se exerce no elemento é:

$$dF = \tau dA = \tau(t ds) = (\tau t) ds = q ds$$



Eixos vazados de paredes finas

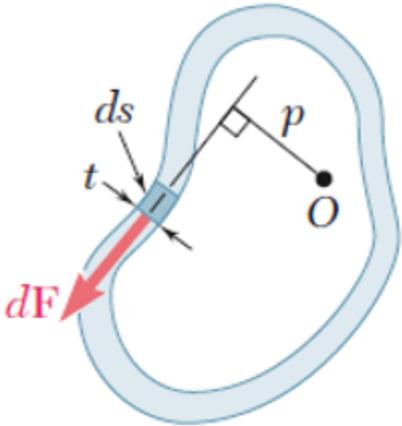
- Considerando um pequeno elemento da seção da parede, de comprimento ds :

Tem-se que $dA=t \cdot ds$, portanto, a intensidade do esforço interno dF que se exerce no elemento é:

$$dF = \tau dA = \tau(t ds) = (\tau t) ds = q ds$$

O momento dM_O da força em relação a um ponto genérico O é dado por:

$$dM_O = p dF = p(q ds) = q(p ds)$$



Eixos vazados de paredes finas

- Considerando um pequeno elemento da seção da parede, de comprimento ds :

Tem-se que $dA=t \cdot ds$, portanto, a intensidade do esforço interno dF que se exerce no elemento é:

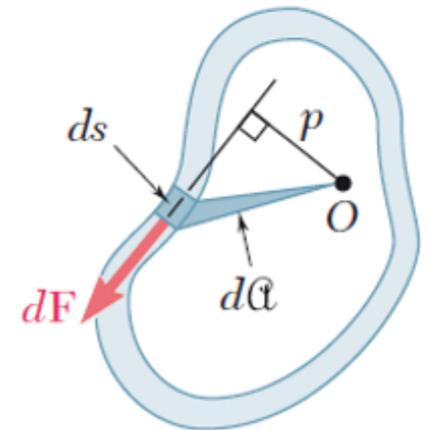
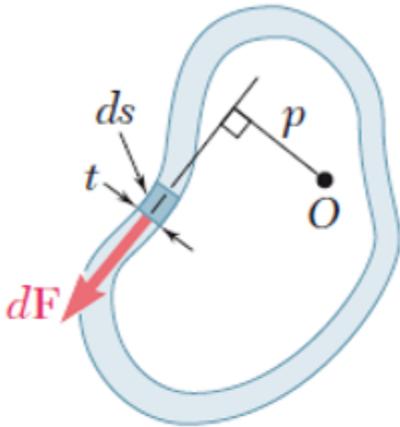
$$dF = \tau dA = \tau(t ds) = (\tau t) ds = q ds$$

O momento dM_O da força em relação a um ponto genérico O é dado por:

$$dM_O = p dF = p(q ds) = q(p ds)$$

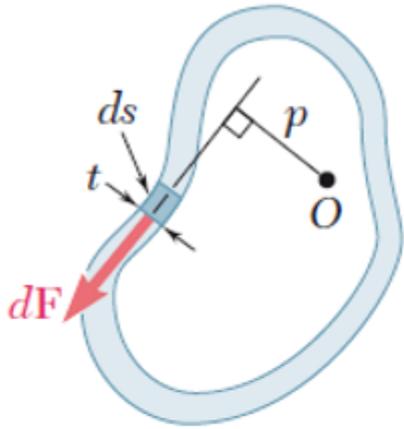
O produto $p \cdot ds$ é igual ao dobro da área do triângulo sombreado ilustrado, daí:

$$dM_O = q(2d\mathcal{A})$$



Eixos vazados de paredes finas

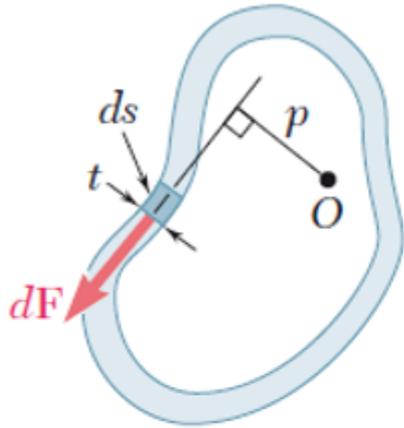
- Para que haja **equilíbrio**, a soma dos momentos dos esforços internos elementares na seção deve ser igual ao momento de torção T aplicado:



$$T = \oint dM_O = \oint q(2d\mathcal{A})$$

Eixos vazados de paredes finas

- Para que haja **equilíbrio**, a soma dos momentos dos esforços internos elementares na seção deve ser igual ao momento de torção T aplicado:



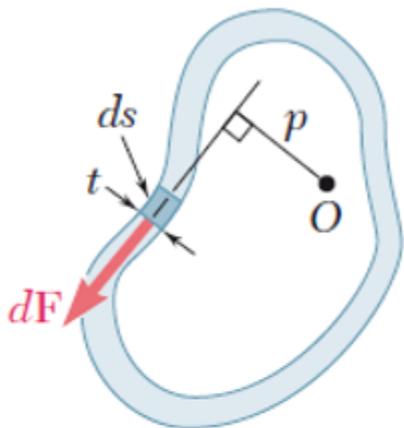
$$T = \oint dM_O = \oint q(2d\mathcal{A})$$

Como o fluxo de cisalhamento é constante, temos:

$$T = 2q\mathcal{A}$$

Eixos vazados de paredes finas

- Para que haja **equilíbrio**, a soma dos momentos dos esforços internos elementares na seção deve ser igual ao momento de torção T aplicado:

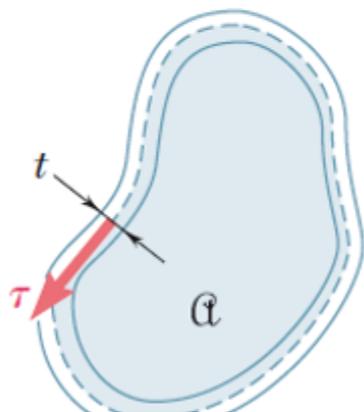


$$T = \oint dM_O = \oint q(2d\alpha)$$

Como o fluxo de cisalhamento é constante, temos:

$$T = 2q\alpha$$

Área delimitada pela linha central da seção transversal da parede.



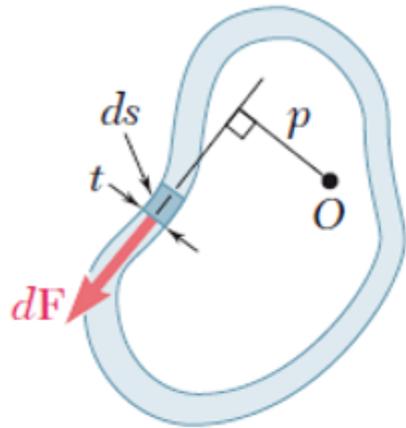
Mas: $q = \tau \cdot t$

$$\phi = \frac{TL}{4\alpha^2 G} \oint \frac{ds}{t}$$

$$\tau = \frac{T}{2t\alpha}$$

Eixos vazados de paredes finas

- Para que haja **equilíbrio**, a soma dos momentos dos esforços internos elementares na seção deve ser igual ao momento de torção T aplicado:

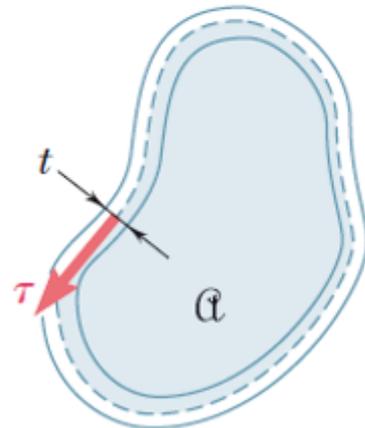


$$T = \oint dM_O = \oint q(2d\mathcal{A})$$

Como o fluxo de cisalhamento é constante, temos:

$$T = 2q\mathcal{A}$$

Área delimitada pela linha central da seção transversal da parede.



Mas: $q = \tau \cdot t$

$$\tau = \frac{T}{2t\mathcal{A}}$$



*Valor médio da tensão de cisalhamento ao longo da parede.
Mas, dentro do **regime elástico linear**, a distribuição de tensões pode ser considerada **uniforme**.*

Eixos vazados de paredes finas

- O ângulo de torção de um eixo de paredes finas pode ser determinado por (equação obtida pela aplicação de **métodos de energia**):

$$\phi = \frac{TL}{4\alpha^2 G} \oint \frac{ds}{t}$$



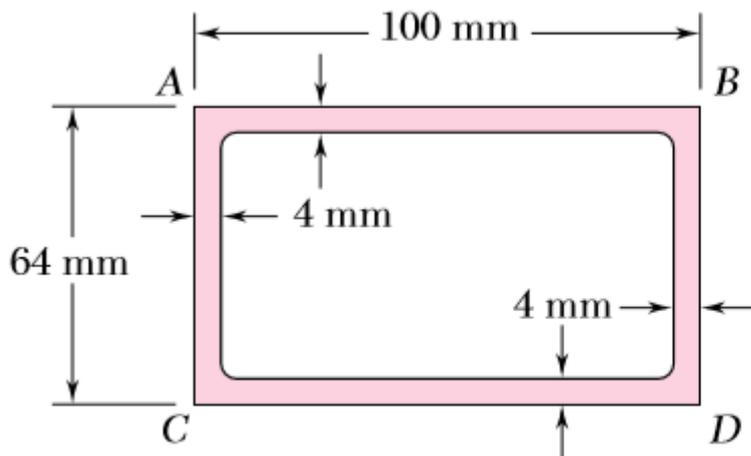
A integral é calculada ao longo da linha central da seção transversal da parede.

Exemplo 1 (exemplo 3.10, Beer)

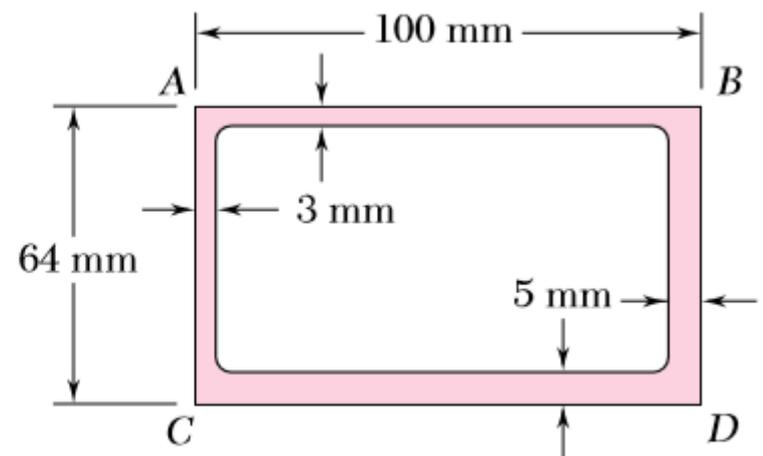
➤ *Um tubo de alumínio de seção retangular de 64 x 100mm foi fabricado por extrusão. Determinar a tensão de cisalhamento em cada uma das quatro paredes do tubo, quando este fica submetido a um momento de torção de 2,7kN·m, adotando:*

a) Espessura da parede constante e igual a 4mm;

b) Que, por defeito no processo de fabricação, as paredes AB e AC são de 3mm de espessura, e as paredes BD e CD são de 5mm.



(a)

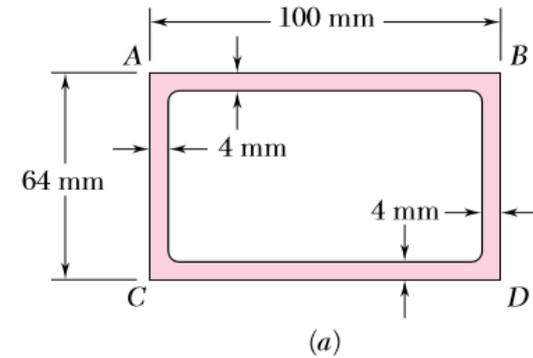
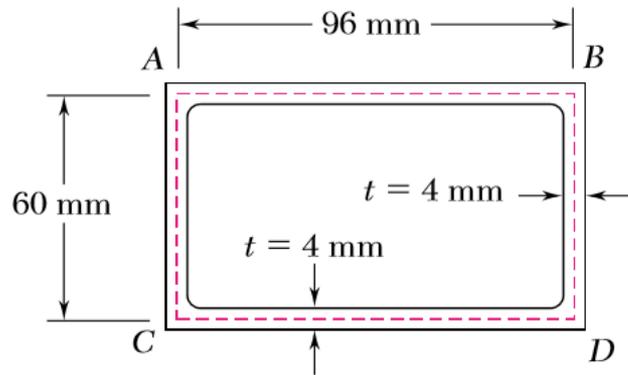


(b)

Exemplo 1 (exemplo 3.10, Beer)

➤ a) *Tubo de paredes com iguais espessuras.*

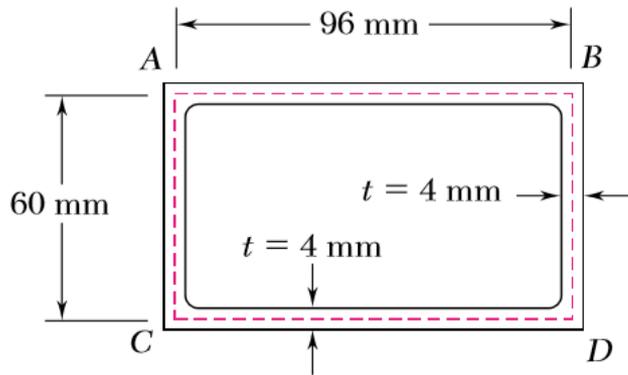
A área limitada pela linha central é dada por:



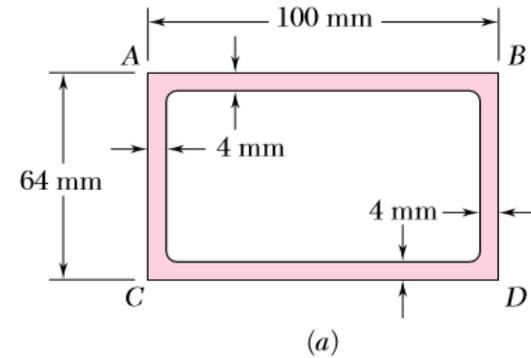
Exemplo 1 (exemplo 3.10, Beer)

➤ a) *Tubo de paredes com iguais espessuras.*

A área limitada pela linha central é dada por:



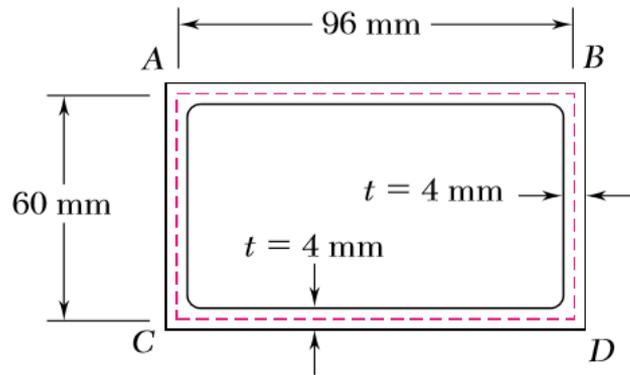
$$\mathcal{A} = (96 \text{ mm})(60 \text{ mm}) = 5760 \text{ mm}^2$$



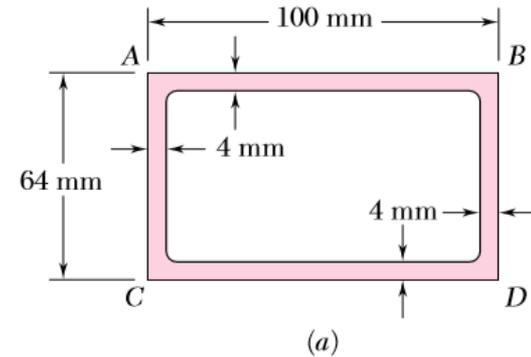
Exemplo 1 (exemplo 3.10, Beer)

➤ a) *Tubo de paredes com iguais espessuras.*

A área limitada pela linha central é dada por:



$$\mathcal{A} = (96 \text{ mm})(60 \text{ mm}) = 5760 \text{ mm}^2$$



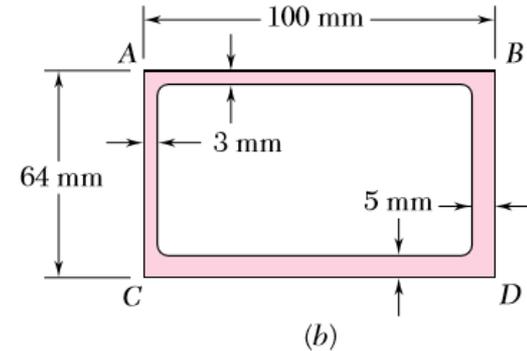
Como as paredes apresentam espessuras iguais $t=4$ mm, a tensão de cisalhamento é igual a:

$$\tau = \frac{T}{2t\mathcal{A}} = \frac{2700 \text{ N} \cdot \text{m}}{2(0,004 \text{ m})(5760 \times 10^{-6} \text{ m}^2)} = 58,6 \text{ MPa}$$

Exemplo 1 (exemplo 3.10, Beer)

➤ *b) Tubo de paredes com espessuras diferentes.*

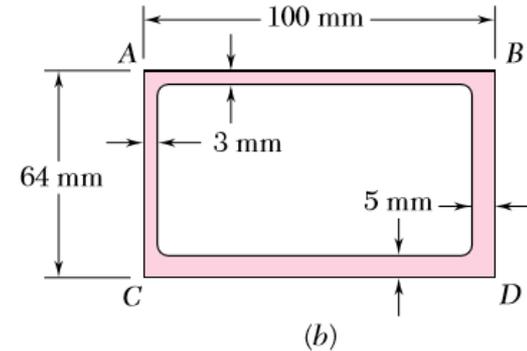
A área limitada pela linha central é a mesma do caso anterior, mas, como as espessuras são diferentes, temos:



Exemplo 1 (exemplo 3.10, Beer)

➤ *b) Tubo de paredes com espessuras diferentes.*

A área limitada pela linha central é a mesma do caso anterior, mas, como as espessuras são diferentes, temos:



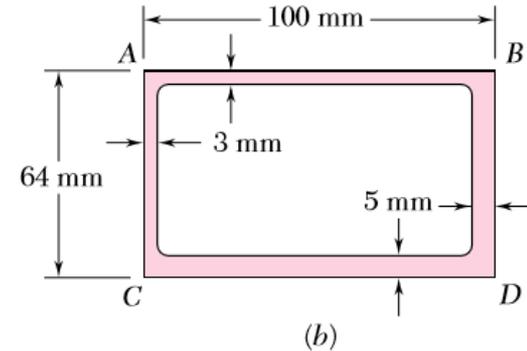
$$\tau_{AB} = \tau_{AC} = \frac{2700 \text{ N} \cdot \text{m}}{2(0,003 \text{ m})(5760 \times 10^{-6} \text{ m}^2)} = 78,1 \text{ MPa}$$

$$\tau_{BD} = \tau_{CD} = \frac{2700 \text{ N} \cdot \text{m}}{2(0,005 \text{ m})(5760 \times 10^{-6} \text{ m}^2)} = 46,9 \text{ MPa}$$

Exemplo 1 (exemplo 3.10, Beer)

➤ *b) Tubo de paredes com espessuras diferentes.*

A área limitada pela linha central é a mesma do caso anterior, mas, como as espessuras são diferentes, temos:



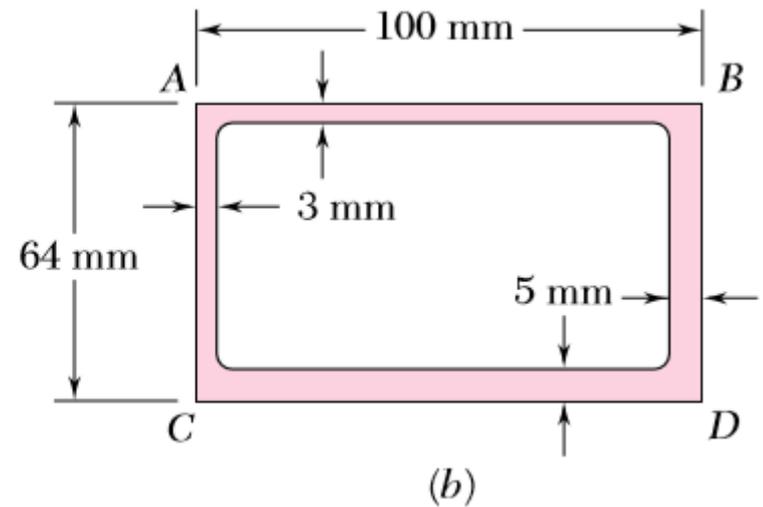
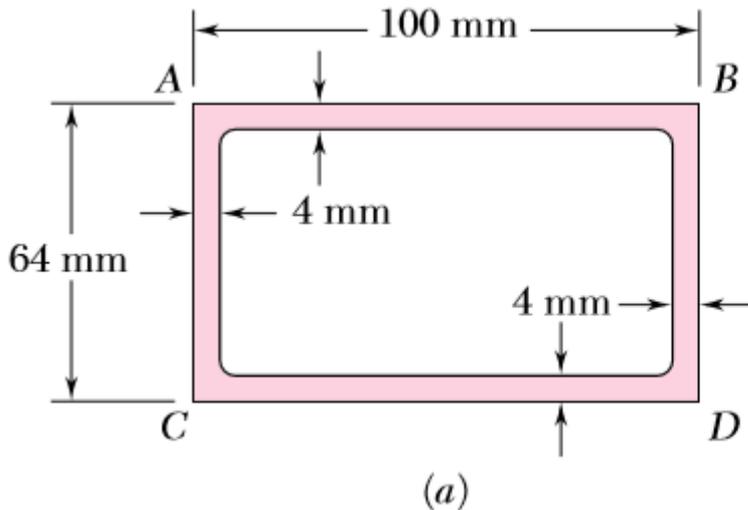
$$\tau_{AB} = \tau_{AC} = \frac{2700 \text{ N} \cdot \text{m}}{2(0,003 \text{ m})(5760 \times 10^{-6} \text{ m}^2)} = 78,1 \text{ MPa}$$

$$\tau_{BD} = \tau_{CD} = \frac{2700 \text{ N} \cdot \text{m}}{2(0,005 \text{ m})(5760 \times 10^{-6} \text{ m}^2)} = 46,9 \text{ MPa}$$

Notamos que a tensão em uma parede depende somente de sua espessura!!!

Exemplo 1 (exemplo 3.10, Beer)

Qual o ângulo de torção por metro de tubo para cada um destes casos? Sendo $L = 2\text{ m}$ e $G = 80\text{ GPa}$

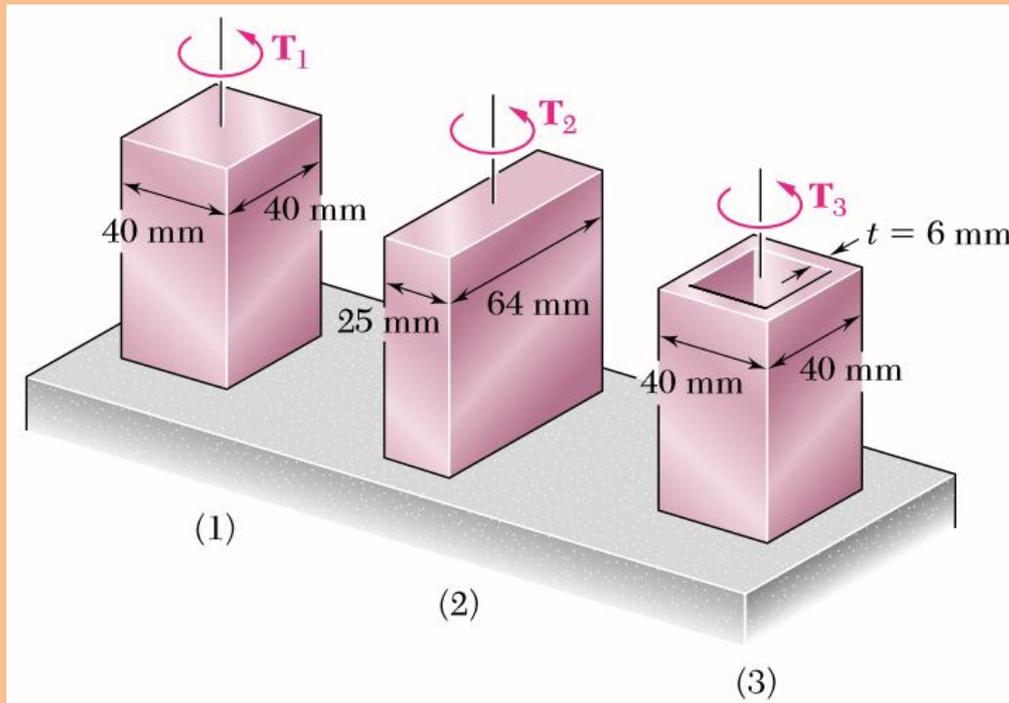


$$\phi = \frac{TL}{4\alpha^2 G} \oint \frac{ds}{t}$$



Exemplo 2 (problema resolvido 3.9, Beer et al., 2008)

- *Determinar o maior valor de momento torçor que pode ser aplicado a cada uma das barras de latão indicadas, adotando $\tau_{adm}=40\text{MPa}$. Notar que as duas barras maciças têm a mesma área da seção transversal, enquanto a barra quadrada e o tubo de seção quadrada têm as mesmas dimensões externas.*



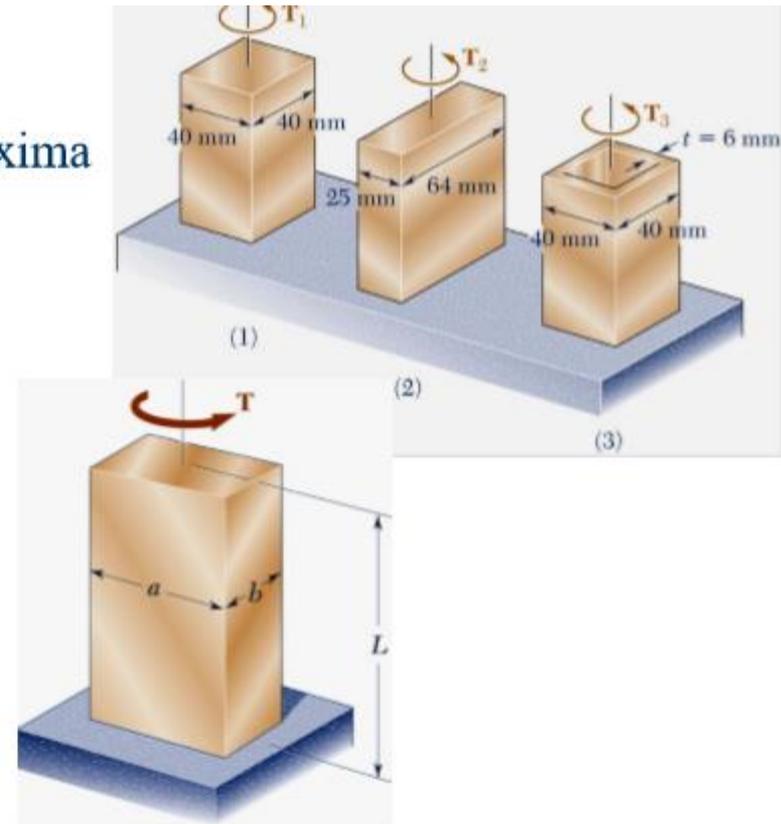
a/b	c_1	c_2
1.0	0.208	0.1406
1.2	0.219	0.1661
1.5	0.231	0.1958
2.0	0.246	0.229
2.5	0.258	0.249
3.0	0.267	0.263
4.0	0.282	0.281
5.0	0.291	0.291
10.0	0.312	0.312
∞	0.333	0.333

Exemplo 2 (problema resolvido 3.9, Beer et al., 2008)

a) Barra de seção quadrada.

Para uma barra de seção maciça retangular, a máxima tensão de cisalhamento é dada por:

$$\tau_{\max} = \frac{T}{c_1 ab^2}$$



Exemplo 2 (problema resolvido 3.9, Beer et al., 2008)

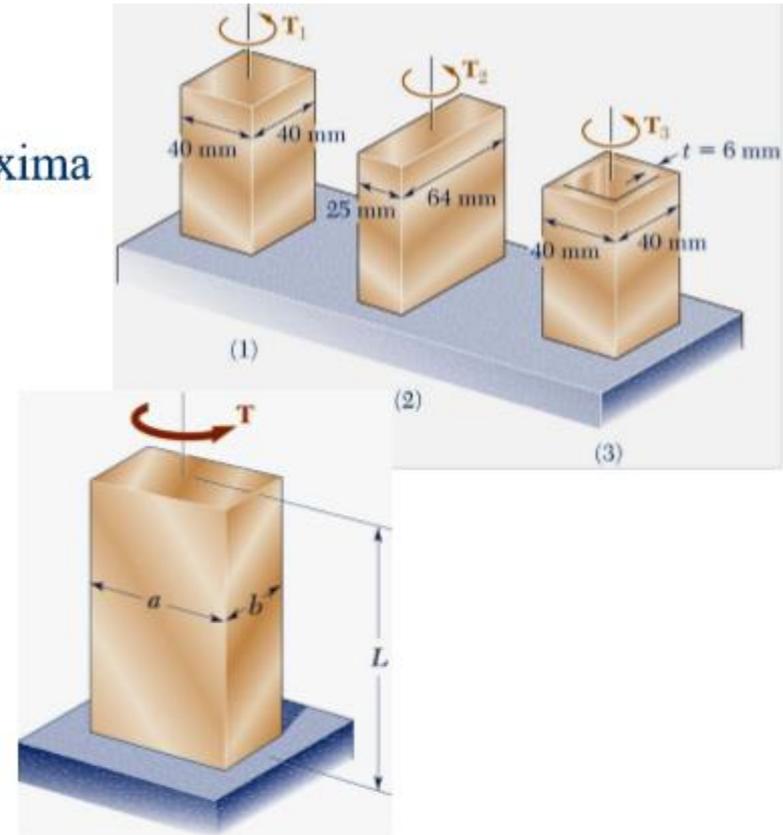
a) Barra de seção quadrada.

Para uma barra de seção maciça retangular, a máxima tensão de cisalhamento é dada por:

$$\tau_{\max} = \frac{T}{c_1 ab^2}$$

Neste caso, temos: $a = b = 0,040m$ $\frac{a}{b} = 1,00$

a/b	c_1	c_2
1.0	0.208	0.1406
1.2	0.219	0.1661
1.5	0.231	0.1958
2.0	0.246	0.229
2.5	0.258	0.249
3.0	0.267	0.263
4.0	0.282	0.281
5.0	0.291	0.291
10.0	0.312	0.312
∞	0.333	0.333



Exemplo 2 (problema resolvido 3.9, Beer et al., 2008)

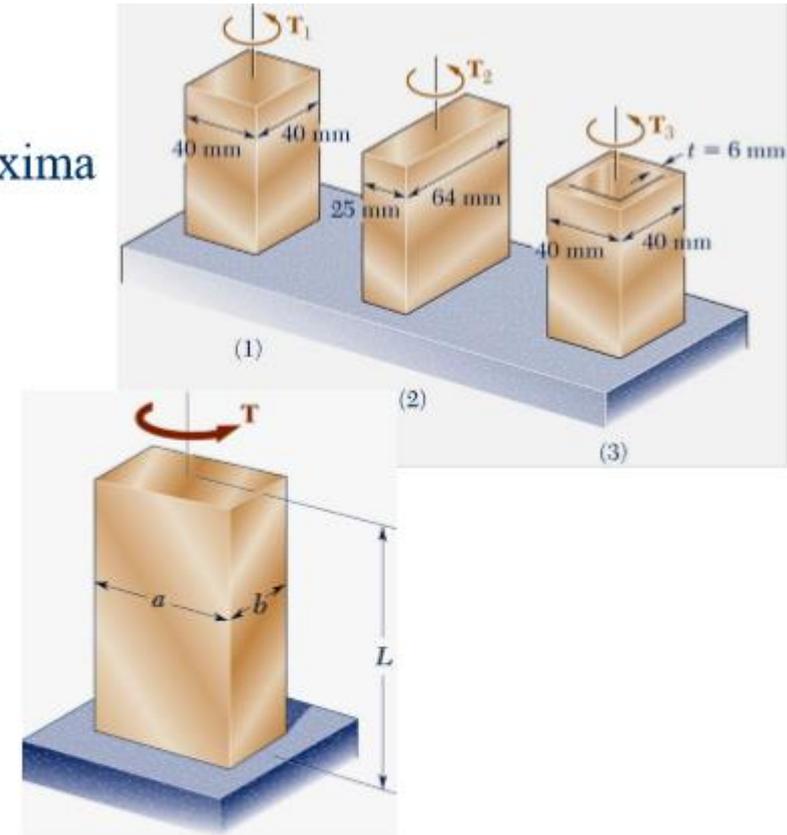
a) Barra de seção quadrada.

Para uma barra de seção maciça retangular, a máxima tensão de cisalhamento é dada por:

$$\tau_{\max} = \frac{T}{c_1 ab^2}$$

Neste caso, temos: $a = b = 0,040m$ $\frac{a}{b} = 1,00$

a/b	c_1	c_2
1.0	0.208	0.1406
1.2	0.219	0.1661
1.5	0.231	0.1958
2.0	0.246	0.229
2.5	0.258	0.249
3.0	0.267	0.263
4.0	0.282	0.281
5.0	0.291	0.291
10.0	0.312	0.312
∞	0.333	0.333



Como $\tau_{\max} = \tau_{adm} = 40 \text{ MPa}$, então:

$$\tau_{\max} = \frac{T_1}{c_1 ab^2} \quad 40 \text{ MPa} = \frac{T_1}{0,208(0,040)^3}$$

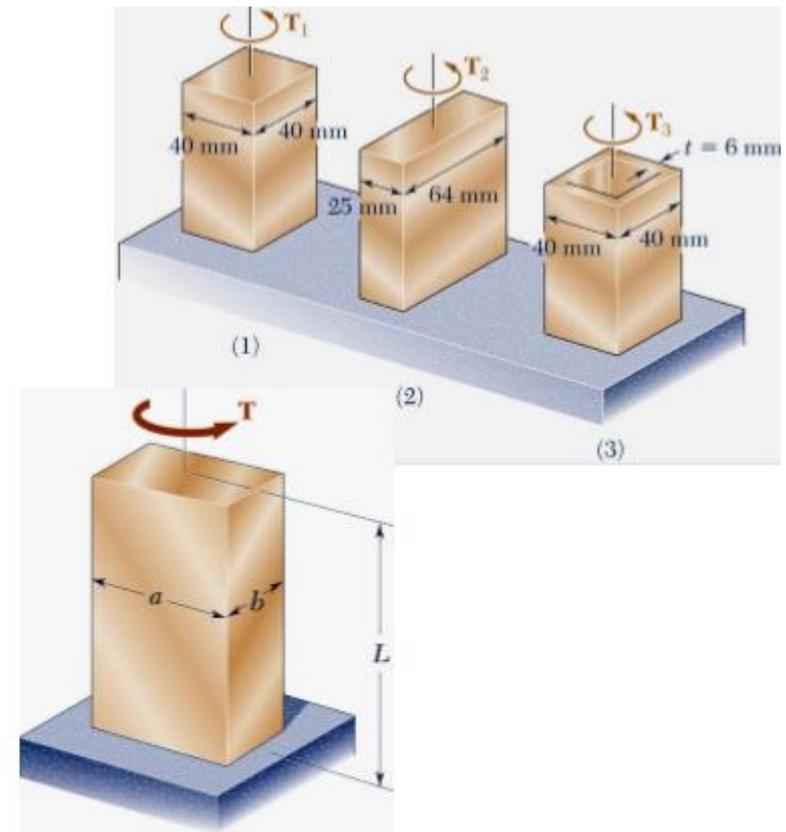
$$T_1 = 532,48 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Exemplo 2 (problema resolvido 3.9, Beer et al., 2008)

b) Barra com seção retangular.

Neste caso, temos:

$$a = 0,064m \quad b = 0,025m \quad a/b = 2,56$$



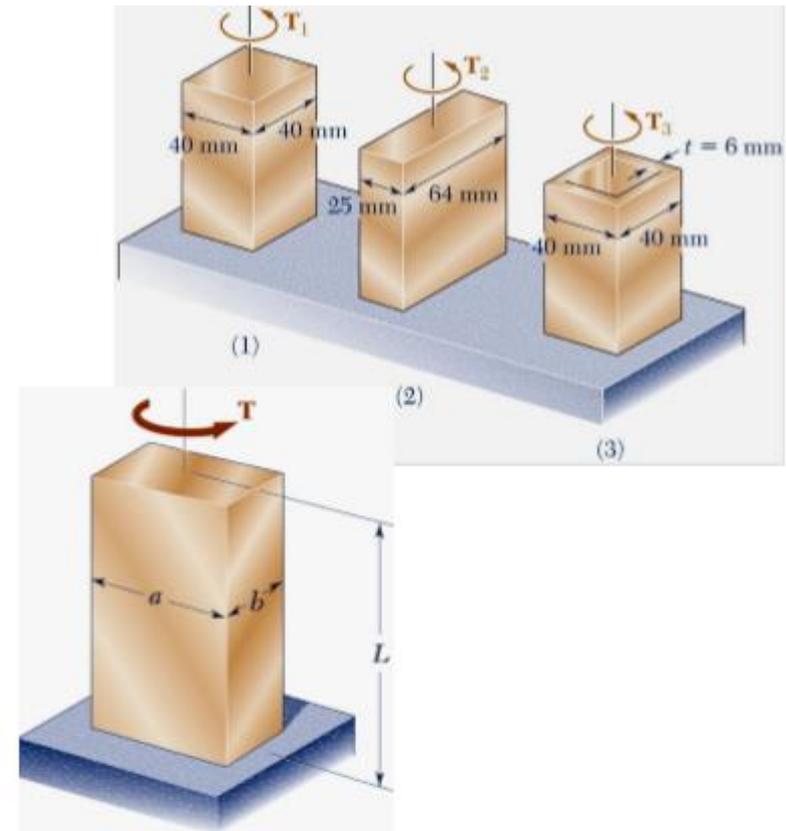
Exemplo 2 (problema resolvido 3.9, Beer et al., 2008)

b) Barra com seção retangular.

Neste caso, temos:

$$a = 0,064m \quad b = 0,025m \quad a/b = 2,56$$

a/b	c_1	c_2
1.0	0.208	0.1406
1.2	0.219	0.1661
1.5	0.231	0.1958
2.0	0.246	0.229
2.5	0.258	0.249
3.0	0.267	0.263
4.0	0.282	0.281
5.0	0.291	0.291
10.0	0.312	0.312
∞	0.333	0.333



Exemplo 2 (problema resolvido 3.9, Beer et al., 2008)

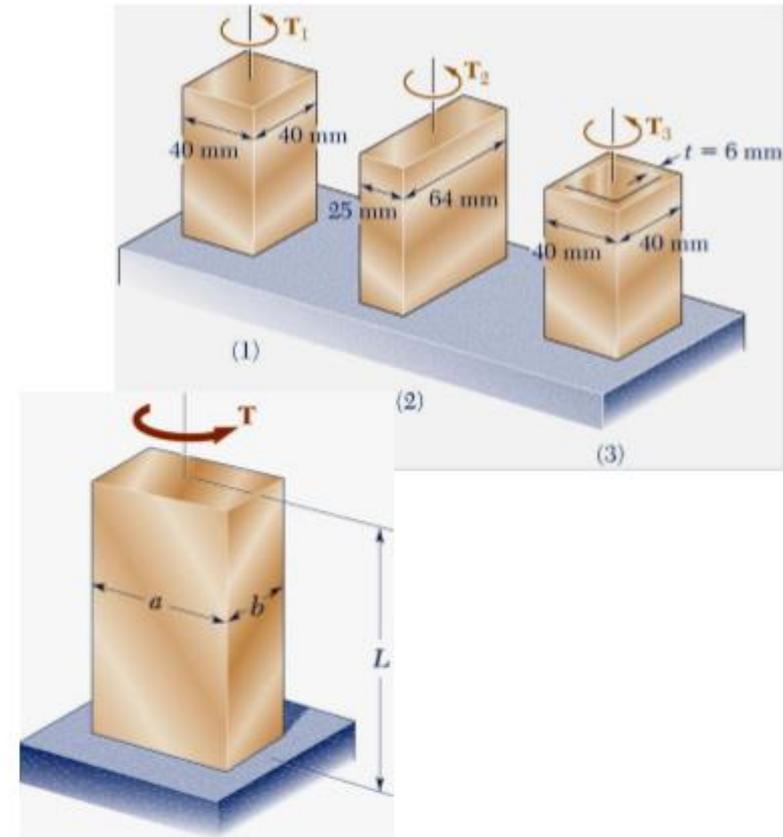
b) Barra com seção retangular.

Neste caso, temos:

$$a = 0,064m \quad b = 0,025m \quad a/b = 2,56$$

a/b	c_1	c_2
1.0	0.208	0.1406
1.2	0.219	0.1661
1.5	0.231	0.1958
2.0	0.246	0.229
2.5	0.258	0.249
3.0	0.267	0.263
4.0	0.282	0.281
5.0	0.291	0.291
10.0	0.312	0.312
∞	0.333	0.333

A partir de interpolação da tabela,
tem-se: $c_1 = 0,259$



Exemplo 2 (problema resolvido 3.9, Beer et al., 2008)

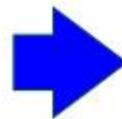
b) Barra com seção retangular.

Neste caso, temos:

$$a = 0,064m \quad b = 0,025m \quad a/b = 2,56$$

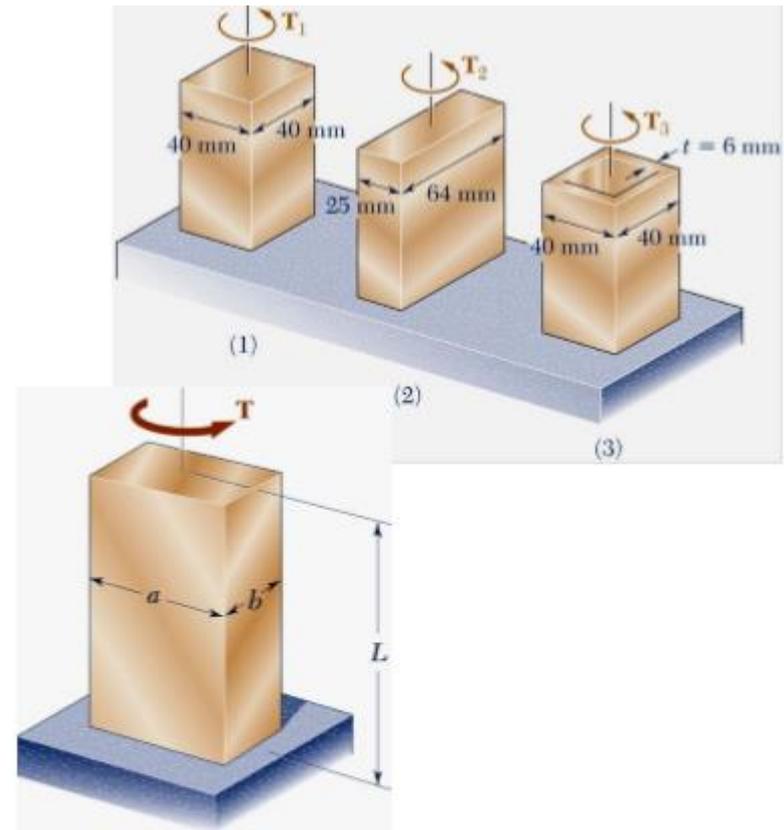
a/b	c_1	c_2
1.0	0.208	0.1406
1.2	0.219	0.1661
1.5	0.231	0.1958
2.0	0.246	0.229
2.5	0.258	0.249
3.0	0.267	0.263
4.0	0.282	0.281
5.0	0.291	0.291
10.0	0.312	0.312
∞	0.333	0.333

A partir de interpolação da tabela,
tem-se: $c_1 = 0,259$



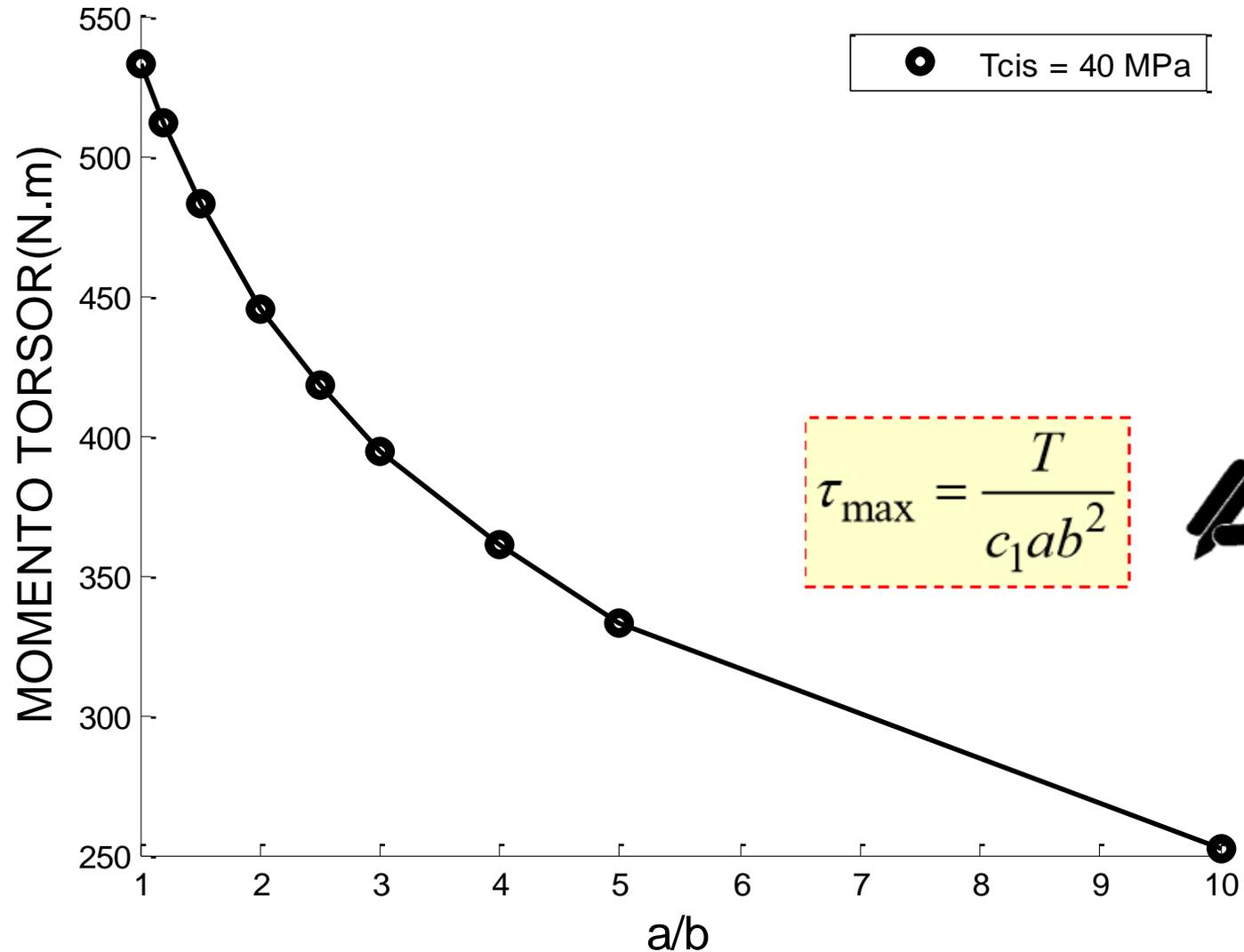
$$40MPa = \frac{T_2}{0,259(0,064)(0,025)^2}$$

$$T_2 = 414,4N \cdot m$$



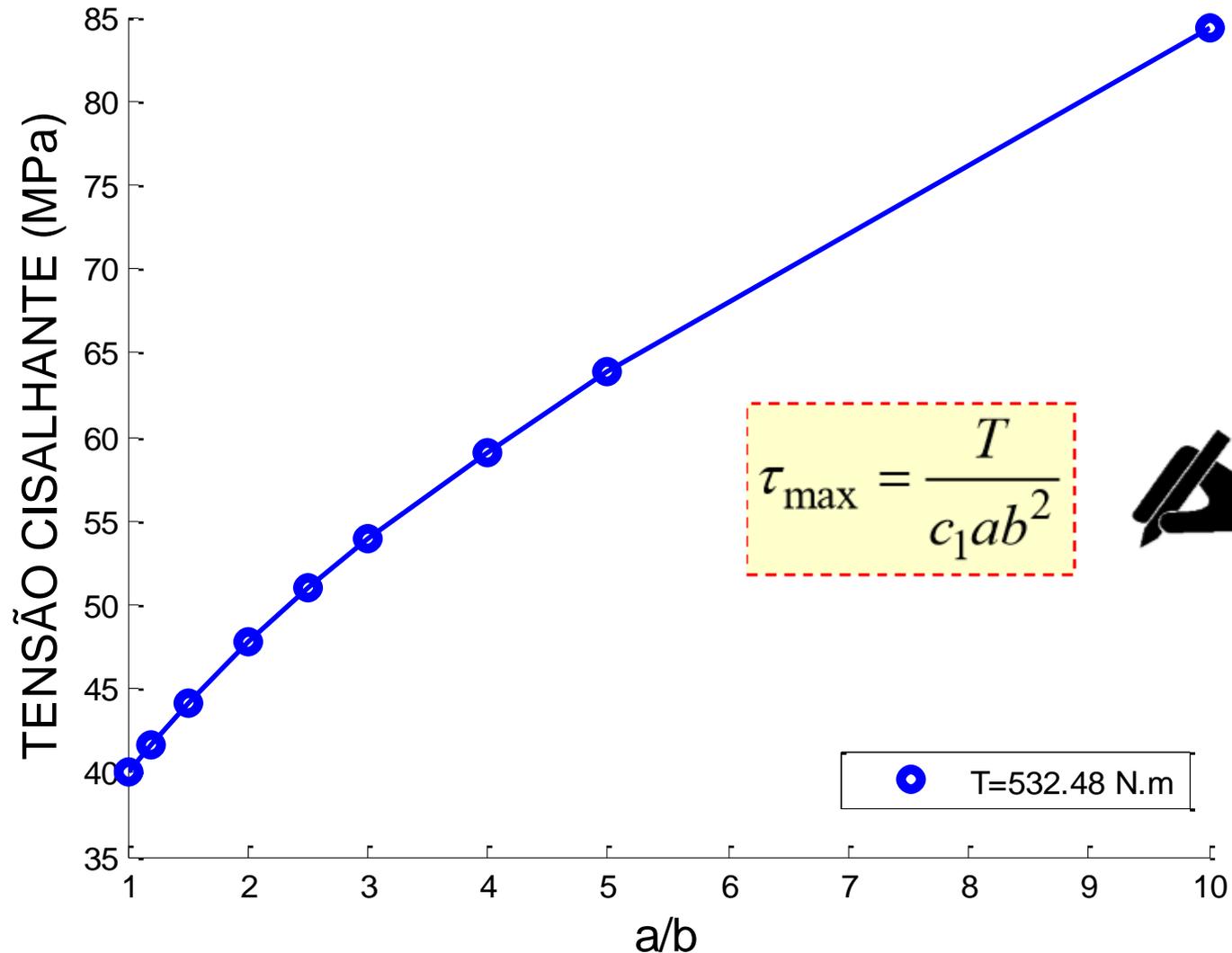
Exemplo 2 (problema resolvido 3.9, Beer et al., 2008)

ÁREA CONSTANTE



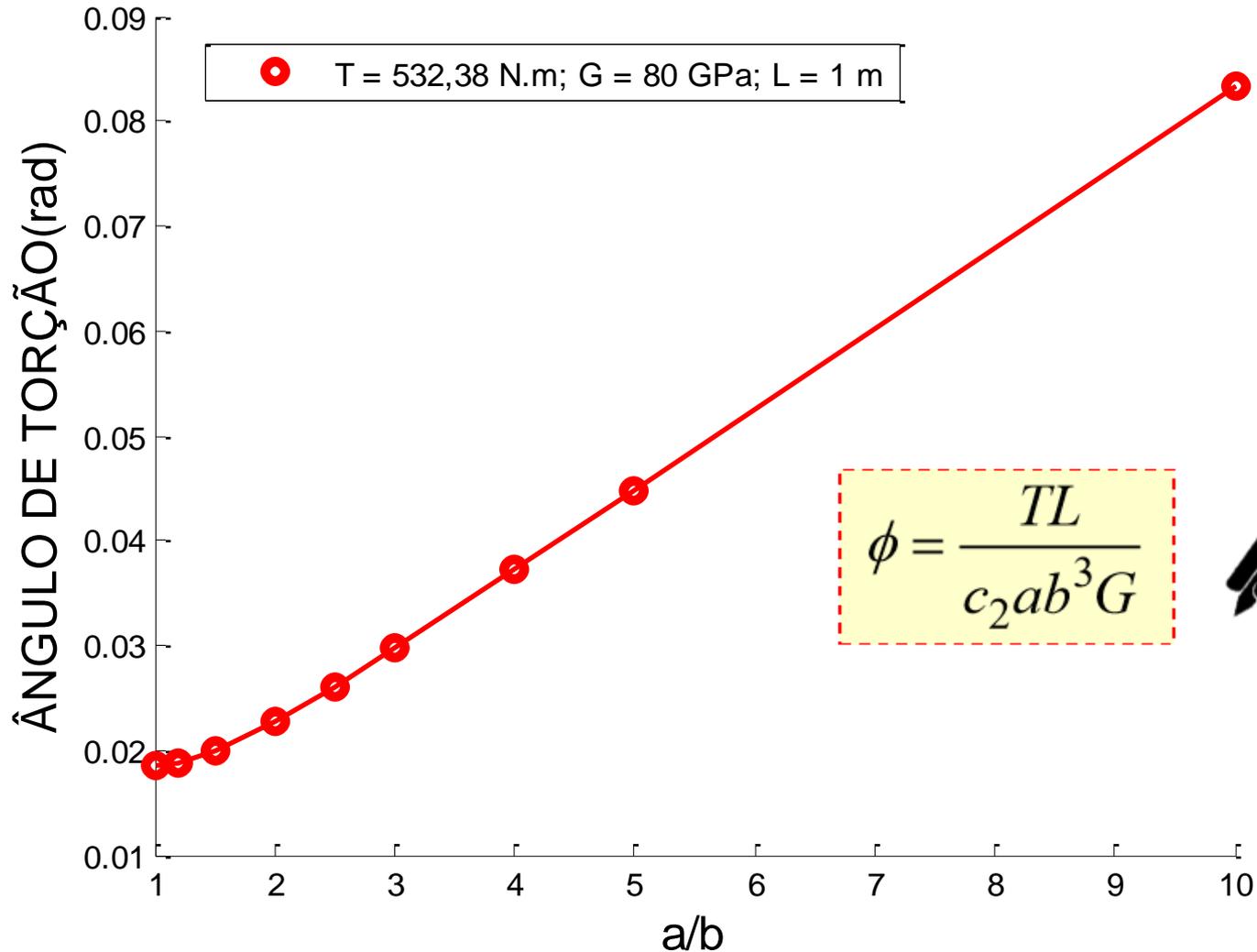
Exemplo 2 (problema resolvido 3.9, Beer et al., 2008)

ÁREA CONSTANTE



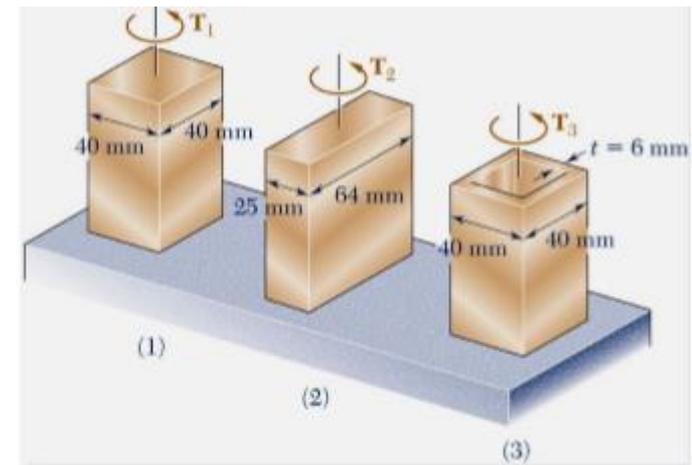
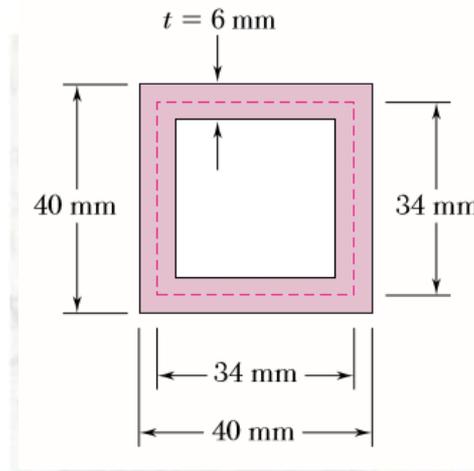
Exemplo 2 (problema resolvido 3.9, Beer et al., 2008)

ÁREA CONSTANTE



Exemplo 2 (problema resolvido 3.9, Beer et al., 2008)

c) Tubo quadrado.

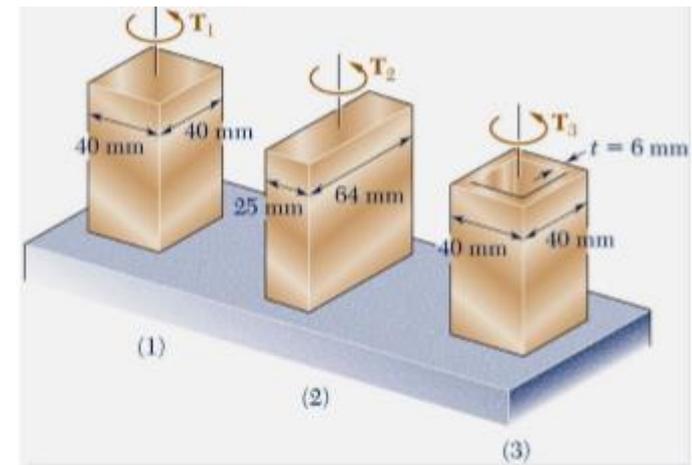
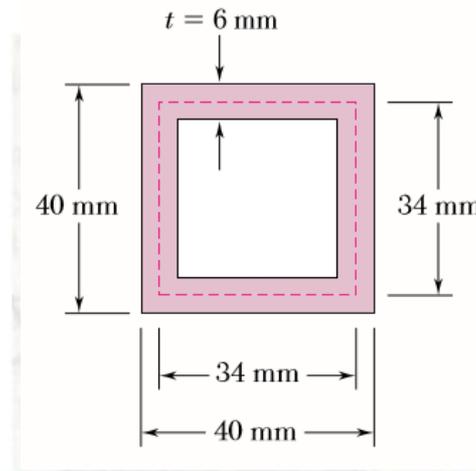


Para um tubo de parede fina, com espessura t , a tensão de cisalhamento é dada por:

$$\tau = \frac{T}{2tQ}$$

Exemplo 2 (problema resolvido 3.9, Beer et al., 2008)

c) Tubo quadrado.



Para um tubo de parede fina, com espessura t , a tensão de cisalhamento é dada por:

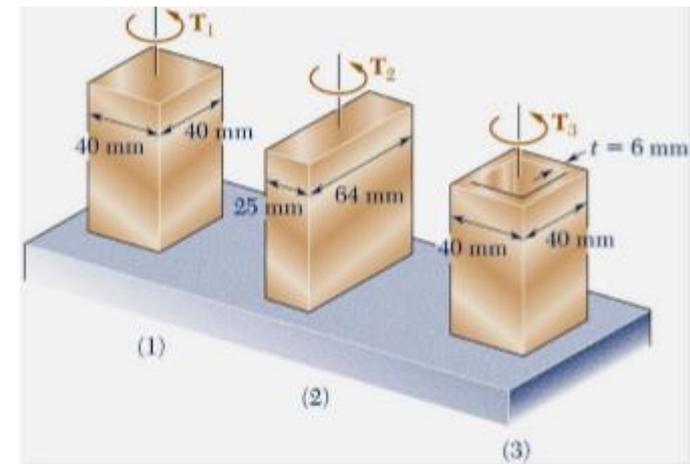
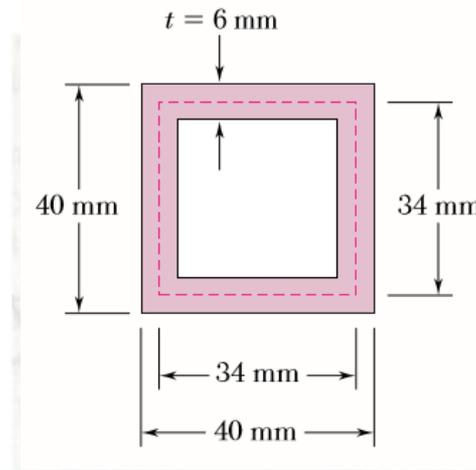
$$\tau = \frac{T}{2t\alpha}$$

No caso em estudo, a área limitada pela linha central da parede é:

$$\alpha = (0,034 \text{ m})(0,034 \text{ m}) = 1,156 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Exemplo 2 (problema resolvido 3.9, Beer et al., 2008)

c) Tubo quadrado.



Para um tubo de parede fina, com espessura t , a tensão de cisalhamento é dada por:

$$\tau = \frac{T}{2t\alpha}$$

No caso em estudo, a área limitada pela linha central da parede é:

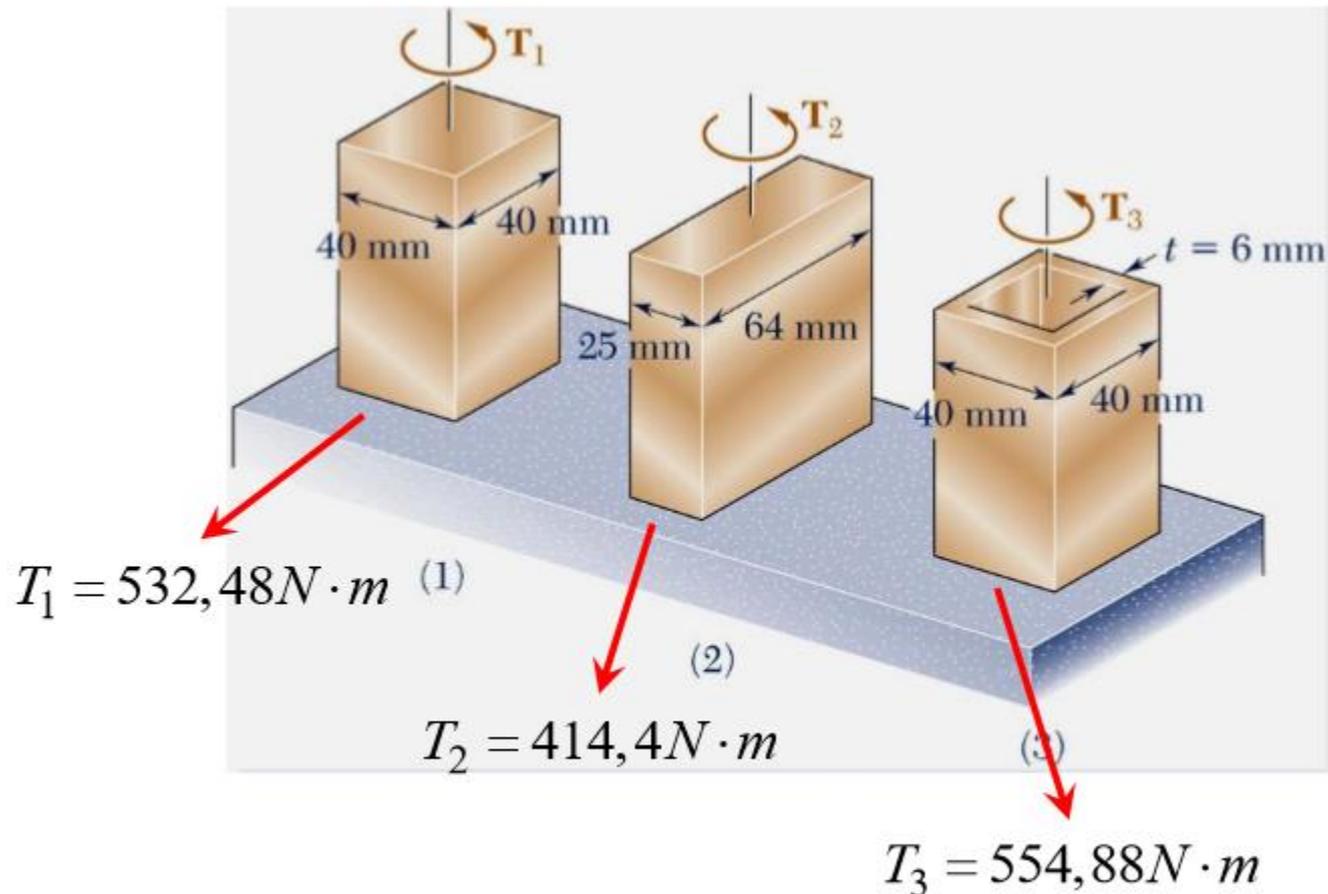
$$\alpha = (0,034 \text{ m})(0,034 \text{ m}) = 1,156 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Portanto, para $\tau_{adm} = 40 \text{ MPa}$, o momento torçor admissível será:

$$\tau = \frac{T}{2t\alpha} \quad 40 \text{ MPa} = \frac{T_3}{2(0,006)(1,156 \times 10^{-3})}$$
$$T_3 = 554,88 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Exemplo 2 (problema resolvido 3.9, Beer et al., 2008)

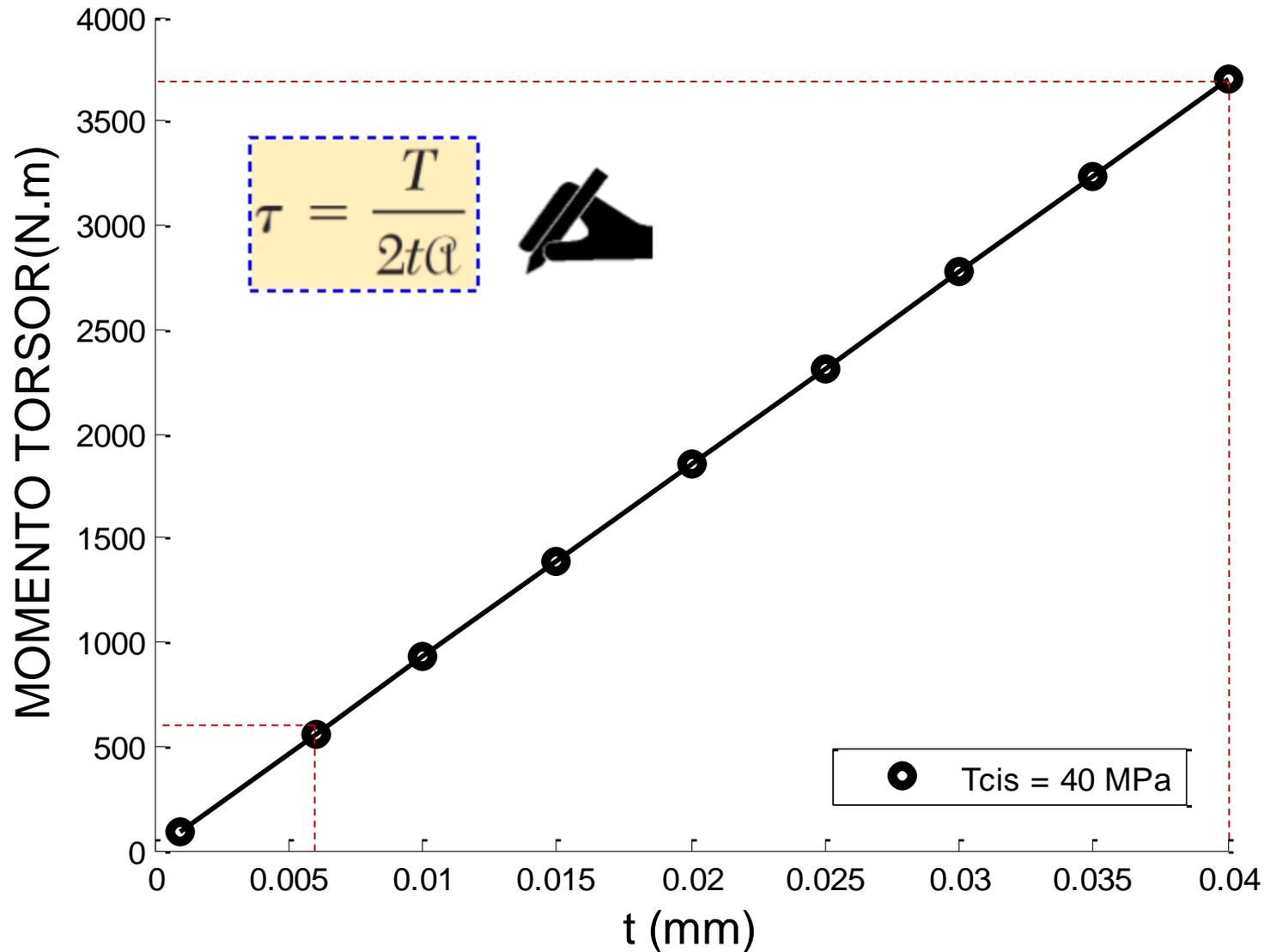
Considerações finais:



Não podemos esquecer que uma teoria mais simplificada foi utilizada para analisar a barra 3!

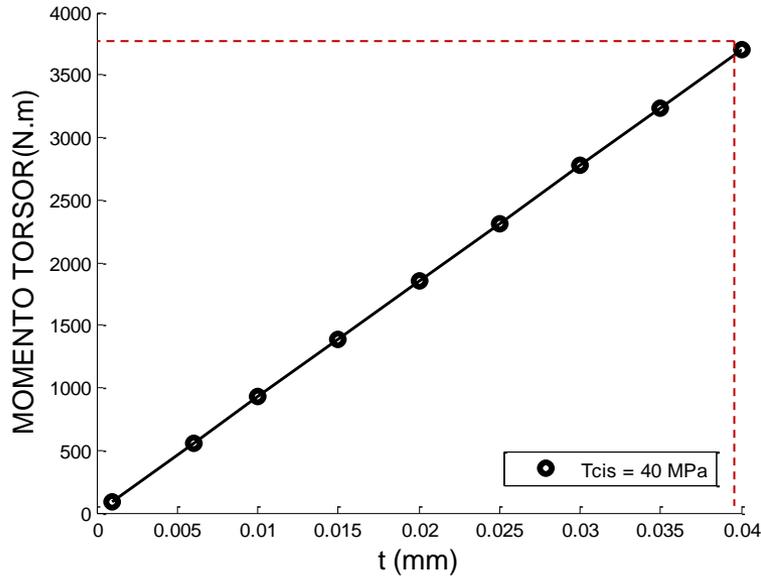
O que acontece se aumentar a espessura?

ÁREA CONSTANTE



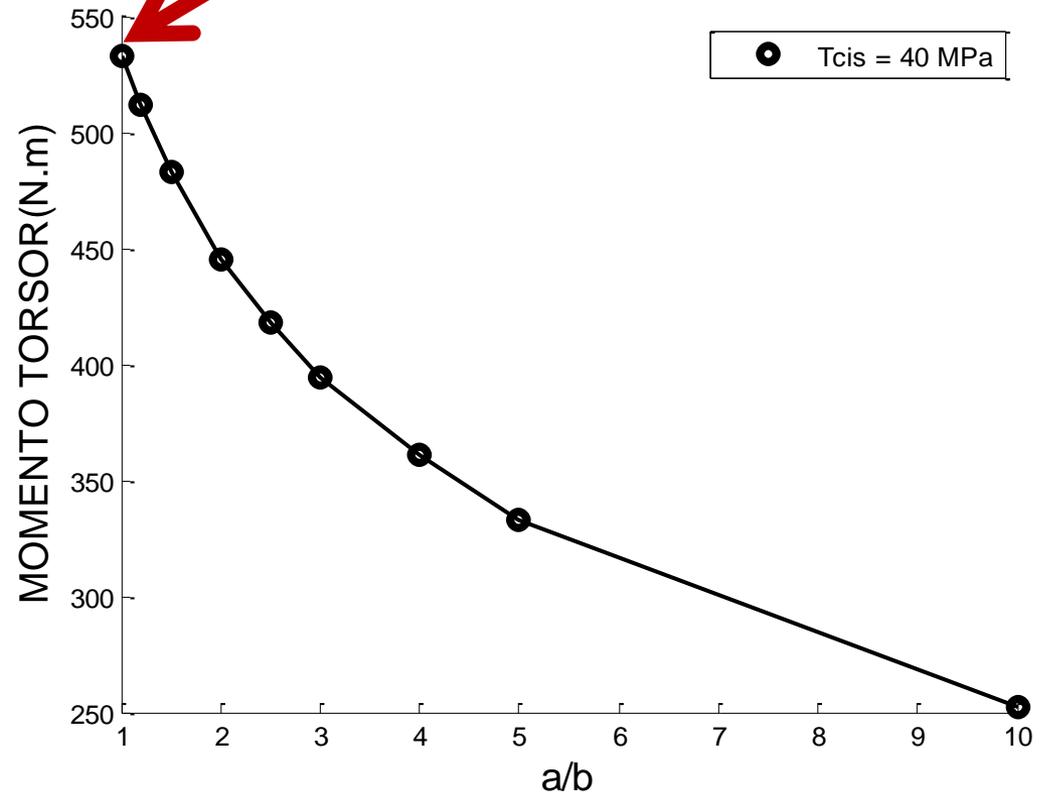
O que acontece se aumentar a espessura?

ÁREA CONSTANTE



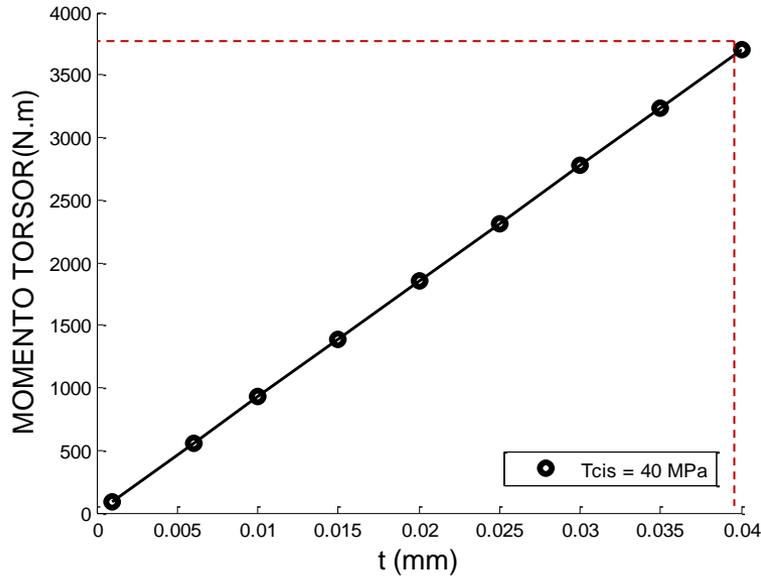
Valor calculado para seção quadrada cheia: $T = 532,48 \text{ N.m}$

ÁREA CONSTANTE



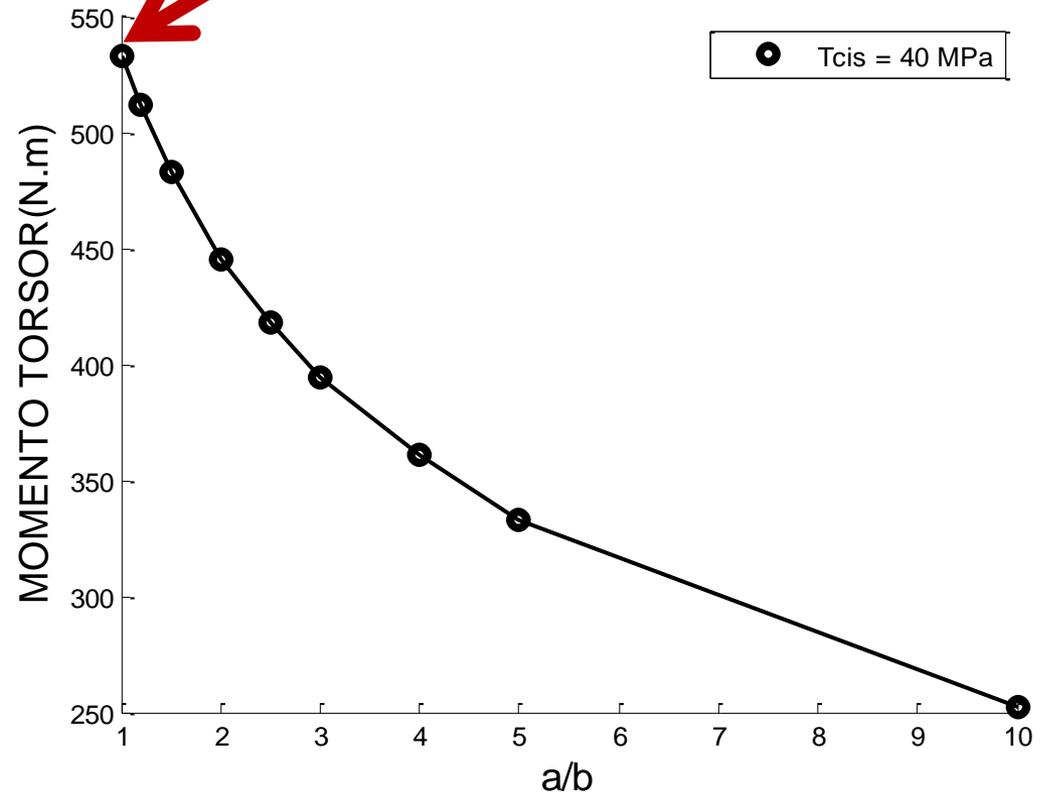
O que acontece se aumentar a espessura?

ÁREA CONSTANTE



Valor calculado para seção quadrada cheia: $T = 532,48 \text{ N.m}$

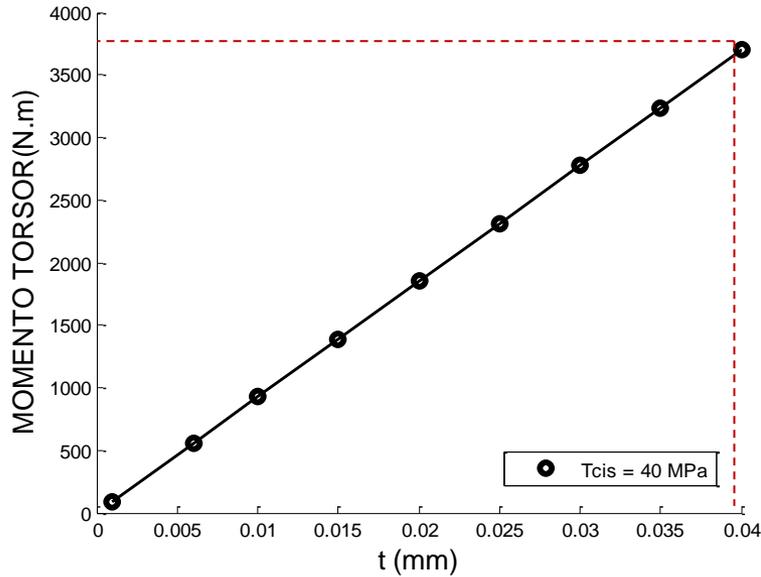
ÁREA CONSTANTE



Por que tanta diferença nos resultados?

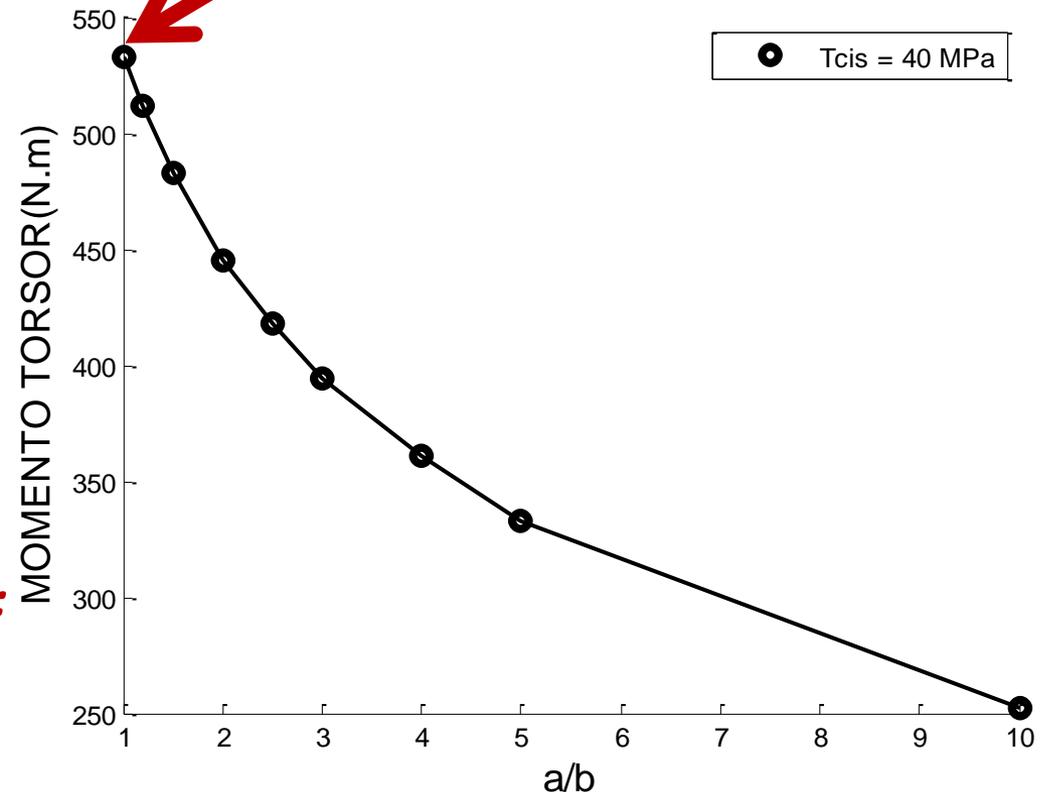
O que acontece se aumentar a espessura?

ÁREA CONSTANTE



Valor calculado para seção quadrada cheia: $T = 532,48$ N.m

ÁREA CONSTANTE



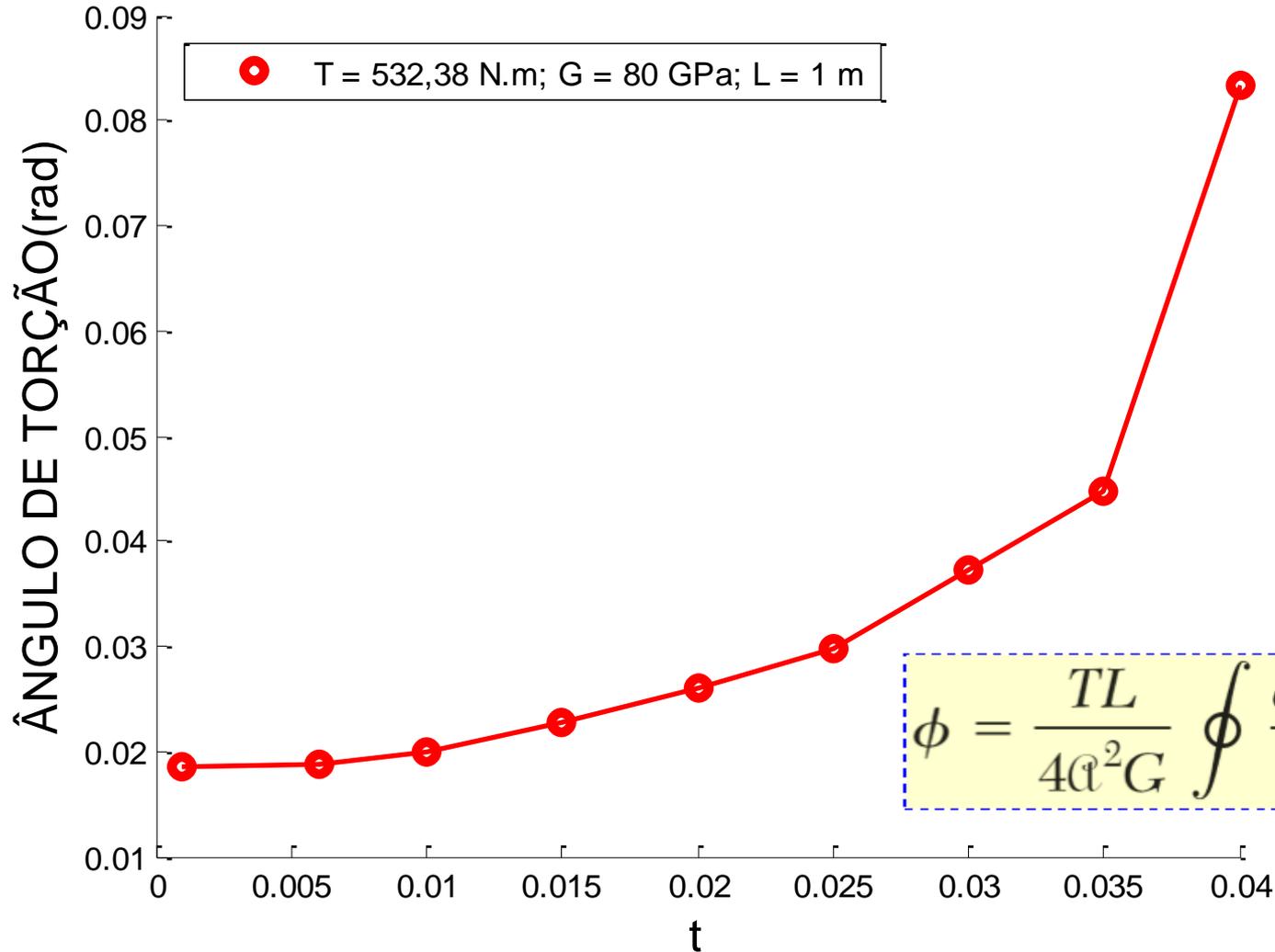
Por que tanta diferença nos resultados?



A teoria desenvolvida para eixos vazados de paredes finas se baseia: t (espessura) \ll L (comprimento)

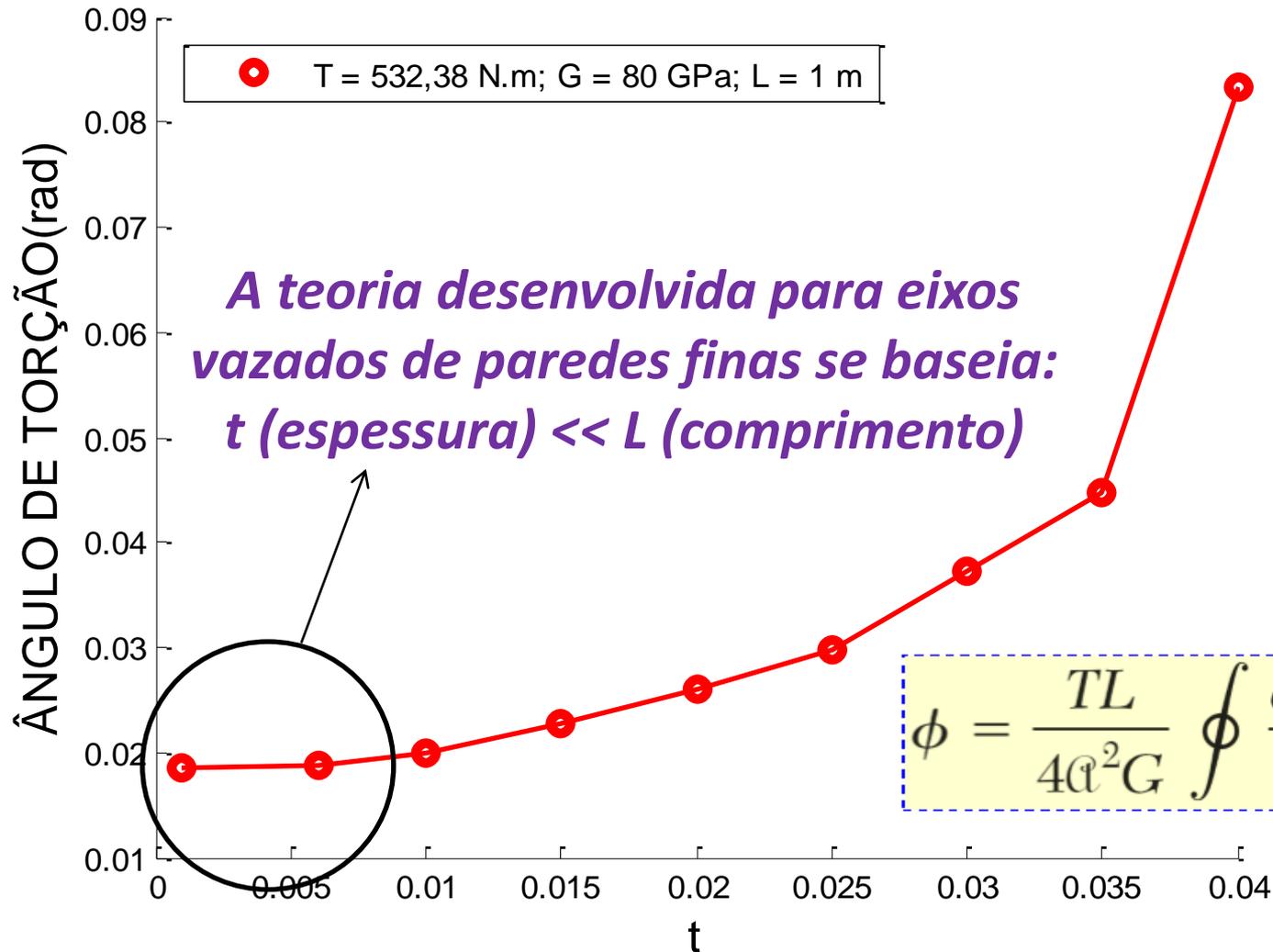
O que acontece se aumentar a espessura?

ÁREA CONSTANTE



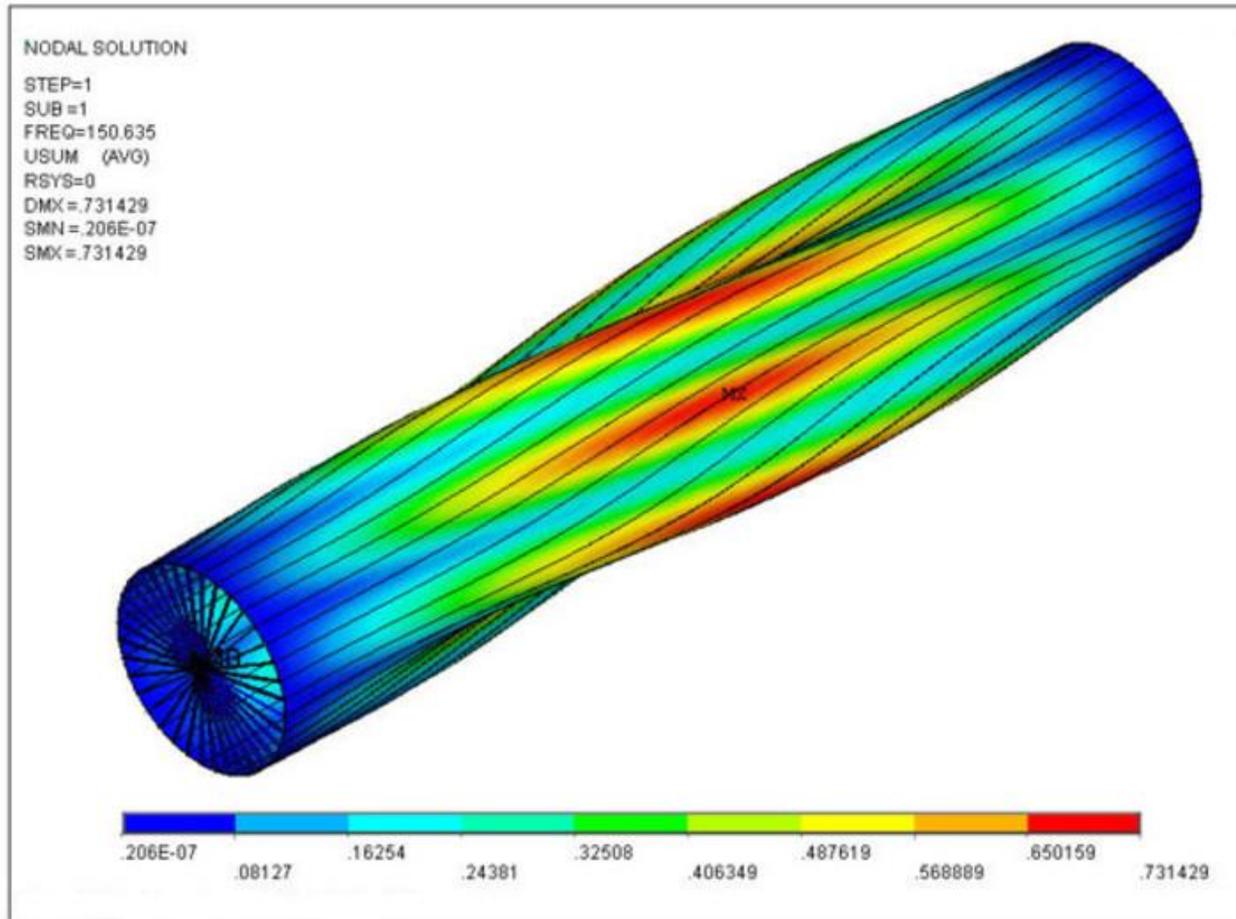
O que acontece se aumentar a espessura?

ÁREA CONSTANTE



Exemplo 2 (problema resolvido 3.9, Beer et al., 2008)

- *A teoria simplificada não só assume uma distribuição de tensões diferente da real, mas também despreza possíveis flambagens da peça.*

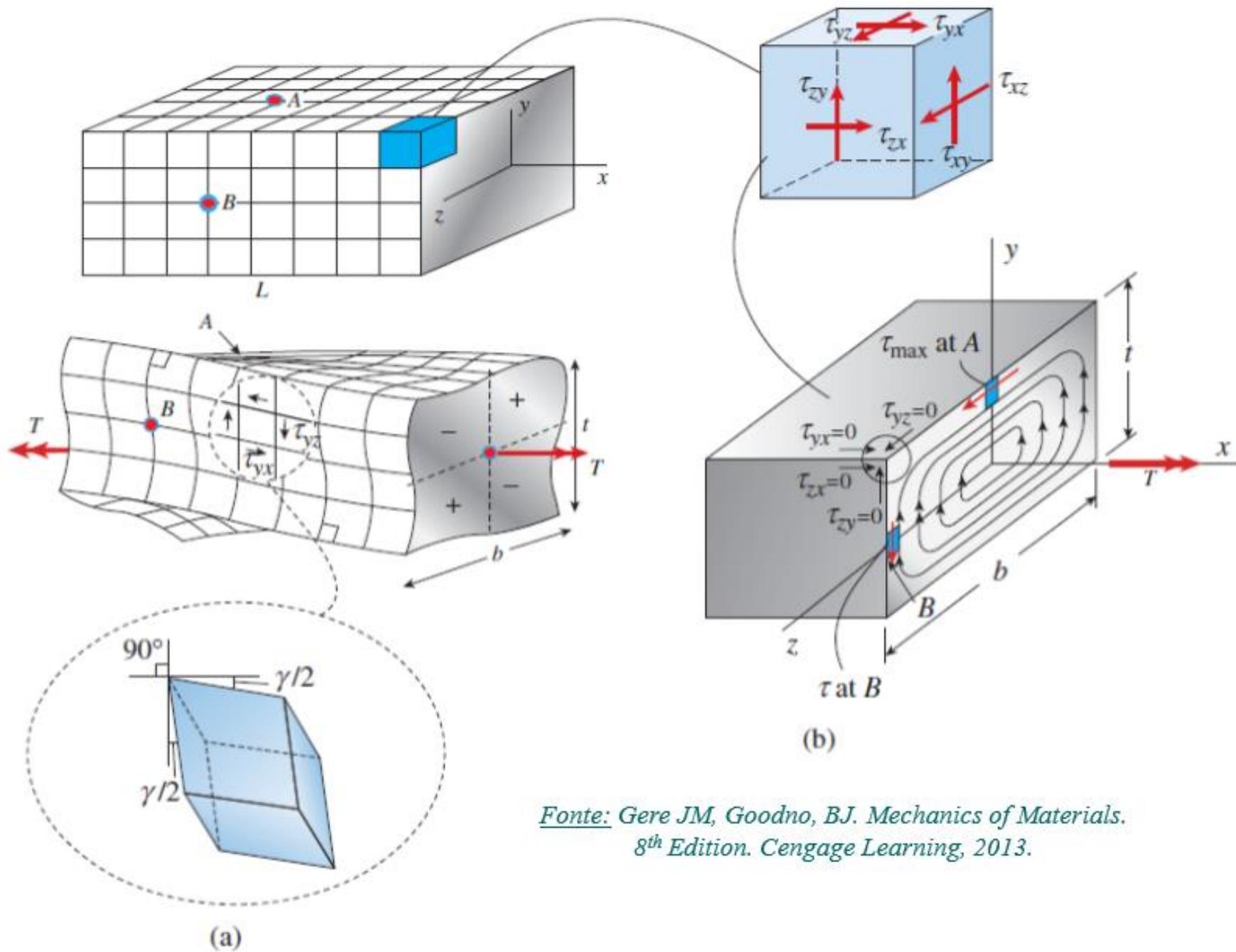


Fonte: <http://www.ski-consult.de/1/erneuerbare-energien/windenergieanlagen/stahlrohrturm.html>

(Acessado em: 29/05/2017)

...

CONTINUA EM MECÂNICA 3



Fonte: Gere JM, Goodno, BJ. *Mechanics of Materials*. 8th Edition. Cengage Learning, 2013.