

TMEC034

Seleção de Materiais

Seleção por propriedades:
Rigidez

Prof. Rodrigo Perito Cardoso



Favor desligar o celular ou passá-lo para o modo silencioso

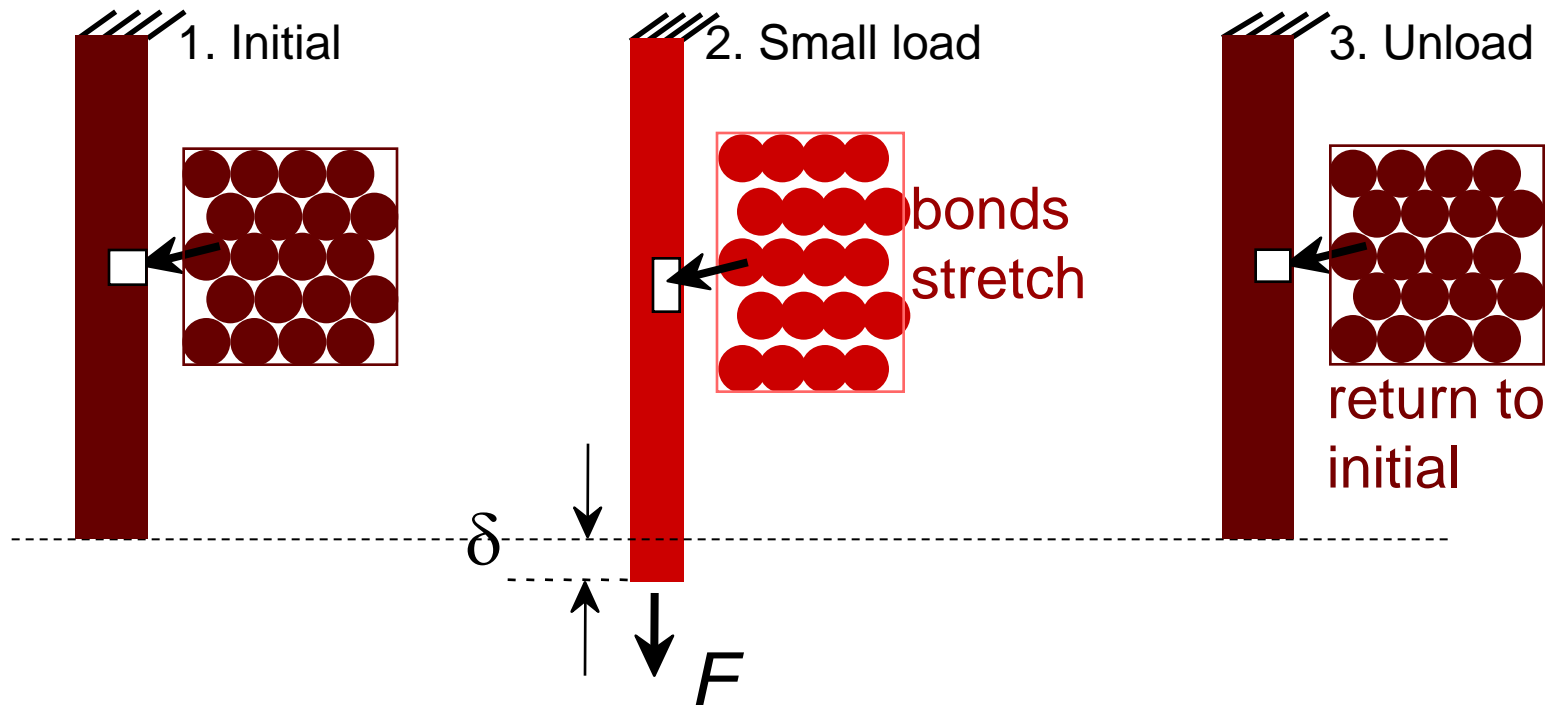
Em caso de ligação favor não atender durante a aula

Introdução

- Rigidez: habilidade do material em manter sua forma sob carga
 - Tração ou compressão $\rightarrow E$ (lei de Hooke)
 - Cisalhamento $\rightarrow G$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

Relacionados pelo coeficiente de Poisson



Deformação Elástica

- Depende da inclinação da curva de separação inter-atômica

$$E \propto \left(\frac{dF}{dr} \right)_{r_0}$$

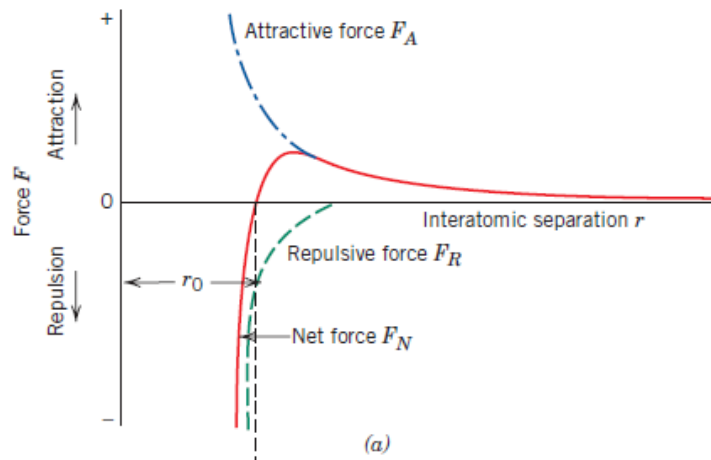
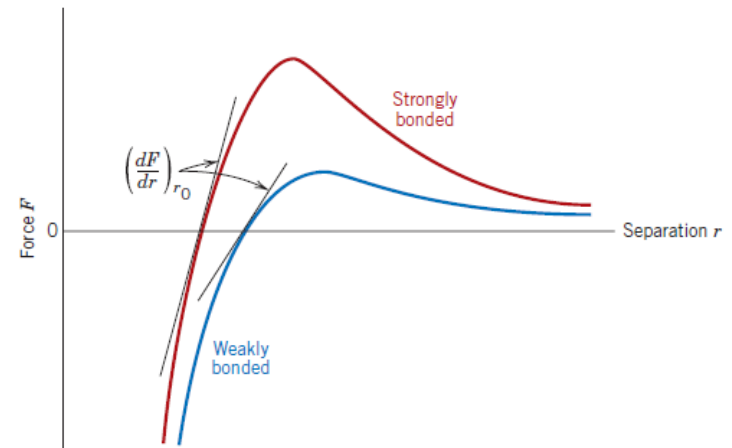


Figure 6.7 Force versus interatomic separation for weakly and strongly bonded atoms. The magnitude of the modulus of elasticity is proportional to the slope of each curve at the equilibrium interatomic separation r_0 .



Importância da rigidez

- Importância da rigidez está relacionada à:
 - Deflexão
 - Absorção/armazenamento de energia
 - Falha por instabilidades elásticas

Importância da rigidez

- Deflexão:

- Aumenta com a redução de rigidez

$$\delta = \frac{Pl^3}{3EI}$$

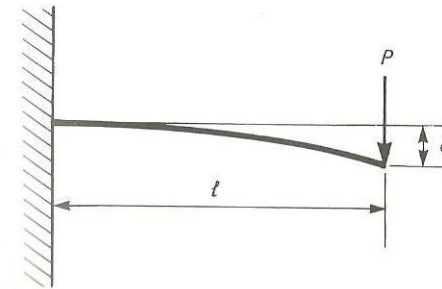


Figure 8.

- Módulo de elasticidade é difícil de variar mais que 10% para um dado material (insensível à microestrutura)
- Rigidez é então normalmente aumentada com I (momento de inércia)
- Deformação não é necessariamente ruim (topo de prédios altos podem ter deflexão de 40 cm)
- Tacoma Narrows -> falta de rigidez à torção
- Deformação pode causar problemas se existirem muitas peças (em especial móveis)
- Máquinas de precisão (usinagem e metrologia)
- Uso de partes com E diferente pode causar tensões locais
- Uso de materiais de levada resistência tendem a reduzir I (↑ deflexão)

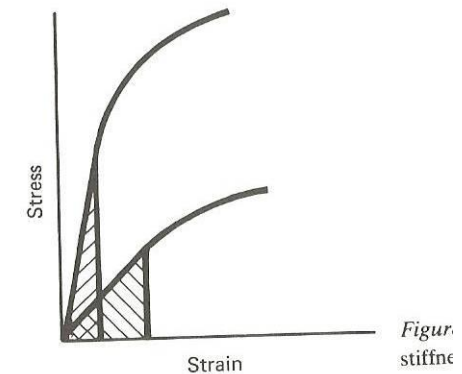


Importância da rigidez

- Absorção de energia
 - Energia absorvida por unidade de volume (resiliência) -> área sob a curva tensão x def.

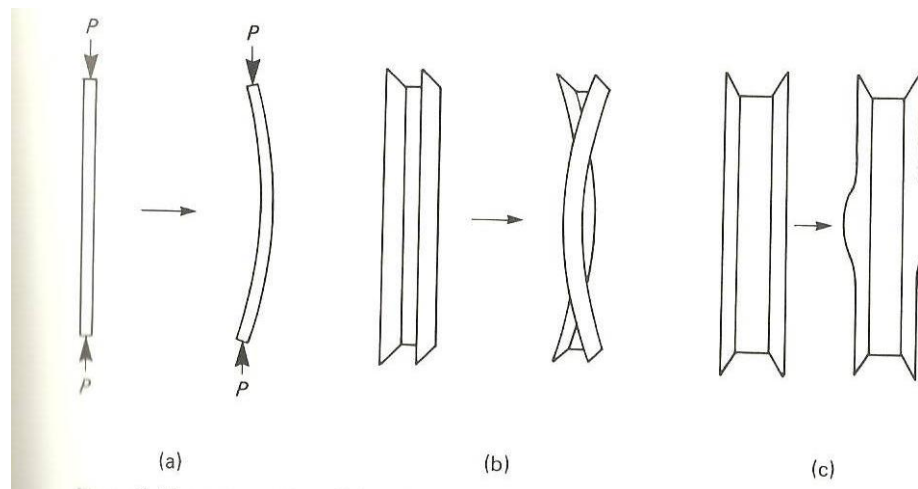
$$\frac{1}{2} \sigma \varepsilon = \frac{1}{2} \sigma \frac{\sigma}{E} = \frac{\sigma^2}{2E}$$

- Ex: barreiras em alto estradas
- Barras de proteção (absorção lenta)
- Em veículos normalmente causa desconforto



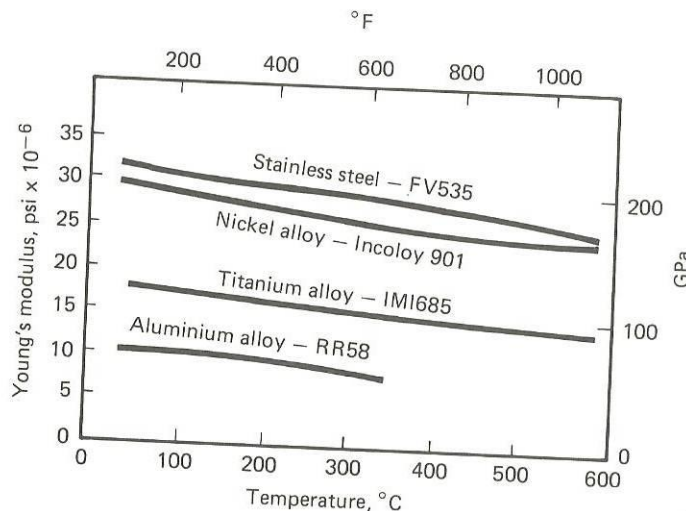
Importância da rigidez

- Falha por instabilidades elásticas
 - Métodos simples de análise de tensão desconsideram alterações significativas na forma do corpo devido à aplicação de carga
 - Para estruturas esbeltas isso não é válido -> em compressão a falha ocorre com carga muito inferior ao previsto



A rigidez de materiais

- Diamante é o material mais rígido conhecido
 $E=1000\text{GPa}$ (borracha $0,01\text{GPa}$ (5 ordens))
- Aços $\sim 200\text{GPa}$ (bom para estruturas), Al $\sim 70\text{GPa}$
- Depende da temperatura:



Para polímeros, devido ao comportamento viscoelástico, a rigidez é dependente do tempo e taxa de carregamento (sensibilidade a temperatura \rightarrow muitos sofrem fluência à temperatura ambiente)
Ao contrário dos metais sua rigidez depende da microestrutura
Aumento de rigidez \rightarrow compósitos

A rigidez de secções

- Caso típico –Viga

$$\delta = \frac{Pl^3}{3EI}$$

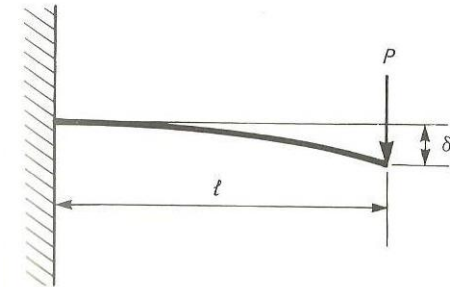


Figure 8.

- E (material) e I (geometria) são importantes -> um pode compensar o outro
- Material rígido (E) x Projeto rígido (I)

Ex:

Área da secção transversal fixas -> mesma quantidade de material

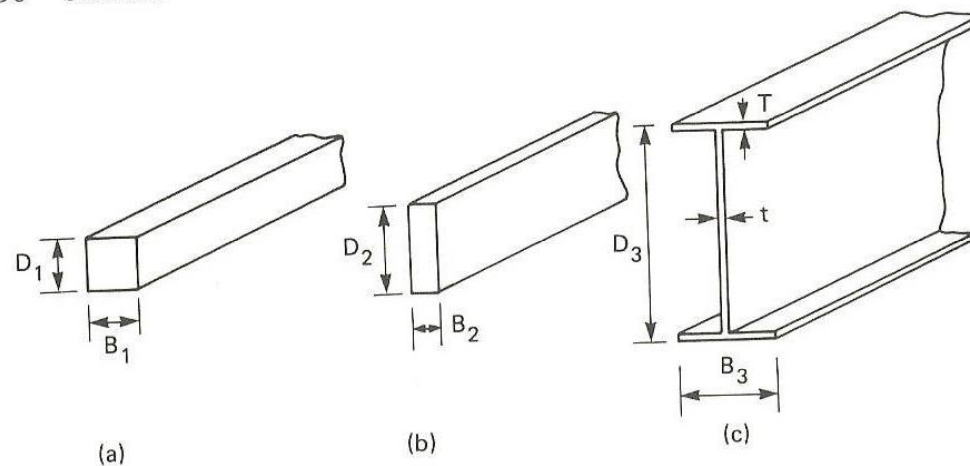


Figure 8.5 Three beams of equal cross-sectional areas (area = 31.40 cm²): (a) $D_1 = B_1$, $I_1 = 82.16 \text{ cm}^4$; (b) $D_2 = 3B_2$, $I_2 = 246.5 \text{ cm}^4$; (c) $D_3 = 3B_3$, $I_3 = 4381 \text{ cm}^4$

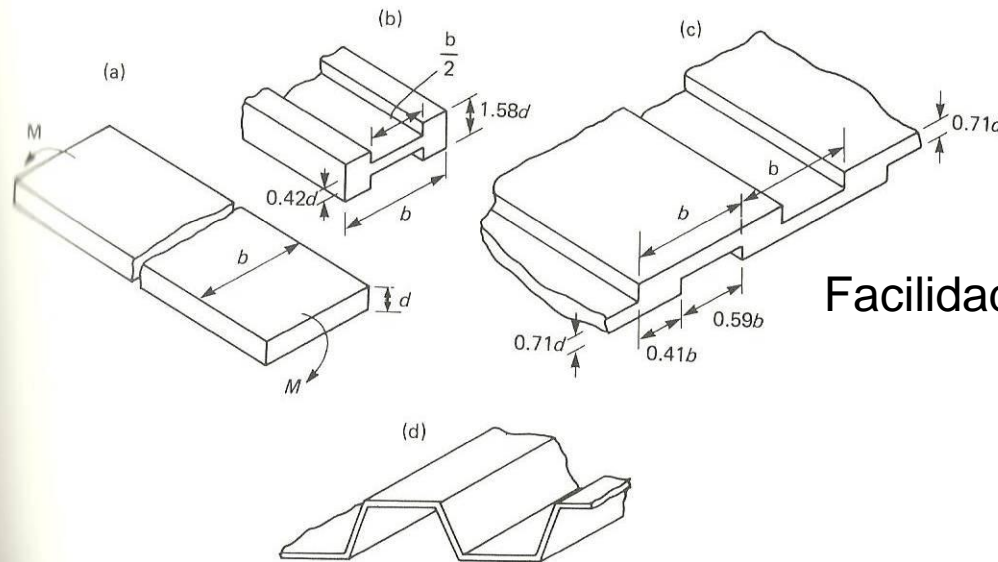
Variação de I de 50X

A rigidez de secções

- Ex: Piso sobre vigas

Duas vezes mais rígida

Mais simples



Facilidade de fabricação

Solução comum para telhados (aumenta I e reduz A)

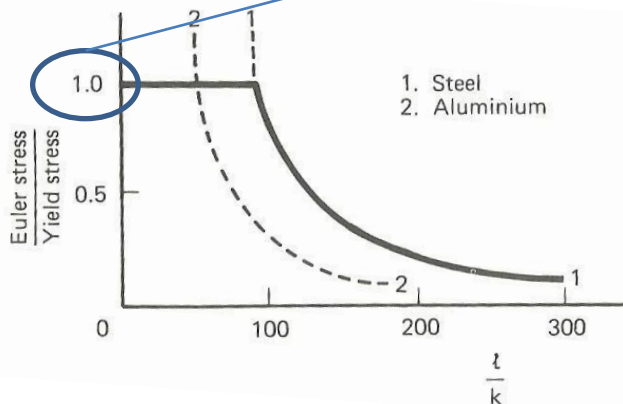
A rigidez de secções

- Outra solução comum é a utilização de tubos de seção quadrada ou cilíndrica:
 - Mais material longe da linha neutra ($\uparrow I$)
 - Aumento de rigidez com redução de seção transversal
 - Paredes muito finas podem trazer problemas de flambagem das paredes do tubo

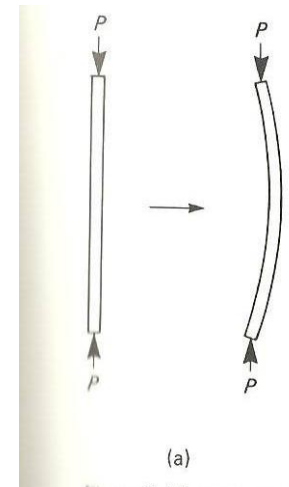
A rigidez de secções

- Falha de uma escora: Barra em compressão
 - Flambagem : Quanto mais longa e delgada menor a carga para flambagem
 - Formula de Euler (valida para escoras esbeltas):

$$P_E = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \quad I = k^2 A \quad \sigma_E = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{l}{k}\right)^2}$$



Índice de esbeltez



A rigidez de secções

- Falha de uma escora: Barra em compressão
 - A Formula de Euler considera caso ideal e na prática sobre-estima a tensão de flambagem
 - Norma britânica, empírica (fala na área destacada)

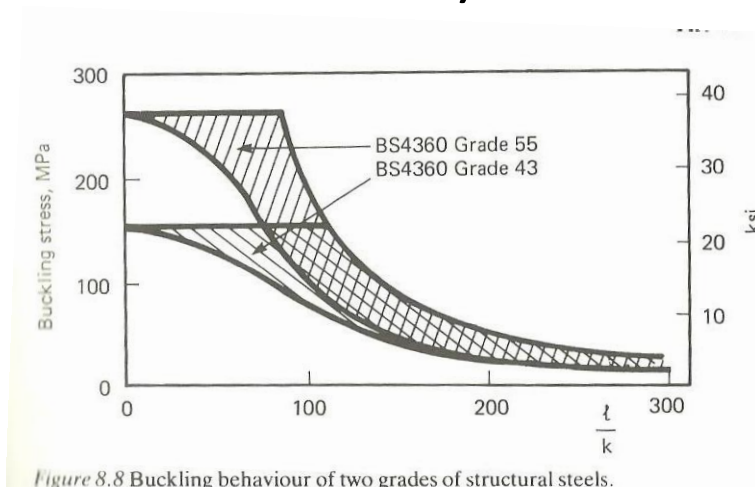


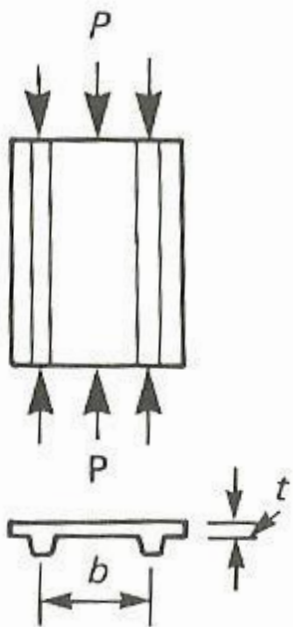
Figure 8.8 Buckling behaviour of two grades of structural steels.

$$\sigma_{BS} = \frac{\sigma_e + (\eta + 1)\sigma_E}{2} - \left\{ \left[\frac{\sigma_e + (\eta + 1)\sigma_E}{2} \right]^2 - \sigma_e \sigma_E \right\}^{1/2}$$

Para escoras esbeltas a tensão limite de escoamento é pouco importante no projeto

A rigidez de secções

- Flambagem de um painel



$$\sigma_F = \frac{\pi^2 E}{3(1-\nu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2}$$

Utilização de reforços aumenta a resistência à flambagem e melhora a eficiência de utilização do material

Critérios de seleção de materiais para rigidez

- Redução de peso

Modo de Carregamento	Forma	Índice de Mérito	
		Rigidez	Resistência
Flexão	Barra, Tubo	$E^{1/2} / \rho$	$\sigma^{2/3} / \rho$
	Chapa	$E^{1/3} / \rho$	$\sigma^{1/2} / \rho$
Tração	Barra	E / ρ	σ / ρ
Flambagem	Coluna, tubo	$E^{1/2} / \rho$	-
	Chapa	$E^{1/3} / \rho$	-
Torção	Barra, Tubo	G / ρ	σ / ρ
Pressão interna	Vaso de pressão cilíndrico	E / ρ	σ / ρ
	Vaso de pressão esférico	$E / (1 - \nu)$	σ / ρ



É importante lembrar

- Em que casos a rigidez é importante no projeto
 - Deformação máxima
 - Instabilidade
- Como se pode variar a rigidez
 - Material (E)
 - Projeto (I)
- Índices de mérito