

2. Tensão e Deformação. Carregamento Axial.

Conteúdo

Tensão e Deformação: Carregamento Axial

Deformação Normal

Ensaio Tensão-Deformação

Diagrama Tensão-Deformação: Materiais Dúteis

Diagrama Tensão-Deformação: Materiais Frágeis

Lei de Hooke: Módulo de Elasticidade

Comportamento Elástico vs. Plástico

Fadiga

Deformações sob Carregamento Axial

Exemplo 2.01

Problema Exemplo 2.1

Indeterminação Estática

Exemplo 2.04

Tensões Térmicas

Coeficiente de Poisson

Tensão e Deformação: Carregamento Axial

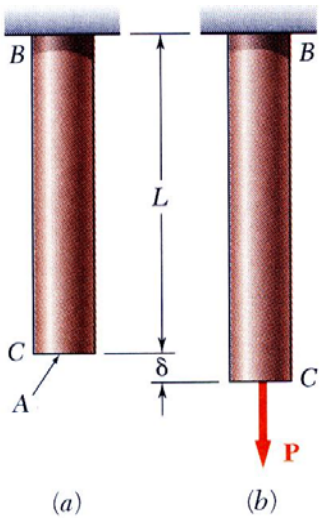
- A adequação de uma estrutura ou de uma máquina pode depender tanto das deformações na estrutura como da tensões induzidas sob carregamento. Análises estáticas, apenas, não são suficientes.

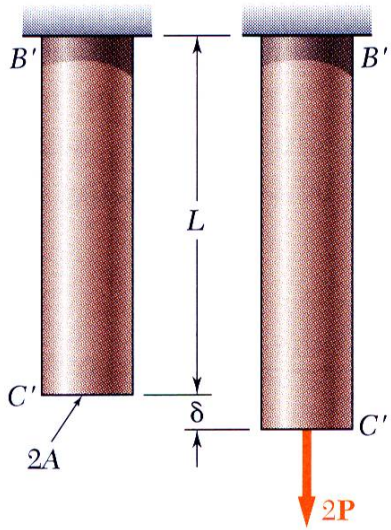
- Considerar estruturas como deformáveis permite a determinação das forças e reações estaticamente indeterminadas.

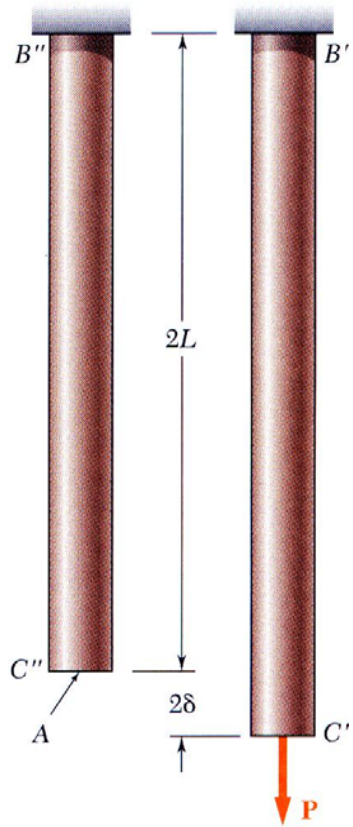
- A determinação da distribuição de tensão dentro de um membro também requer a consideração das deformações no mesmo.

- Este capítulo aborda a deformação de um membro estrutural sob carregamento axial.

Deformação Específica Normal







σ = P/A (tensão)

ε = δ/L (deformação)

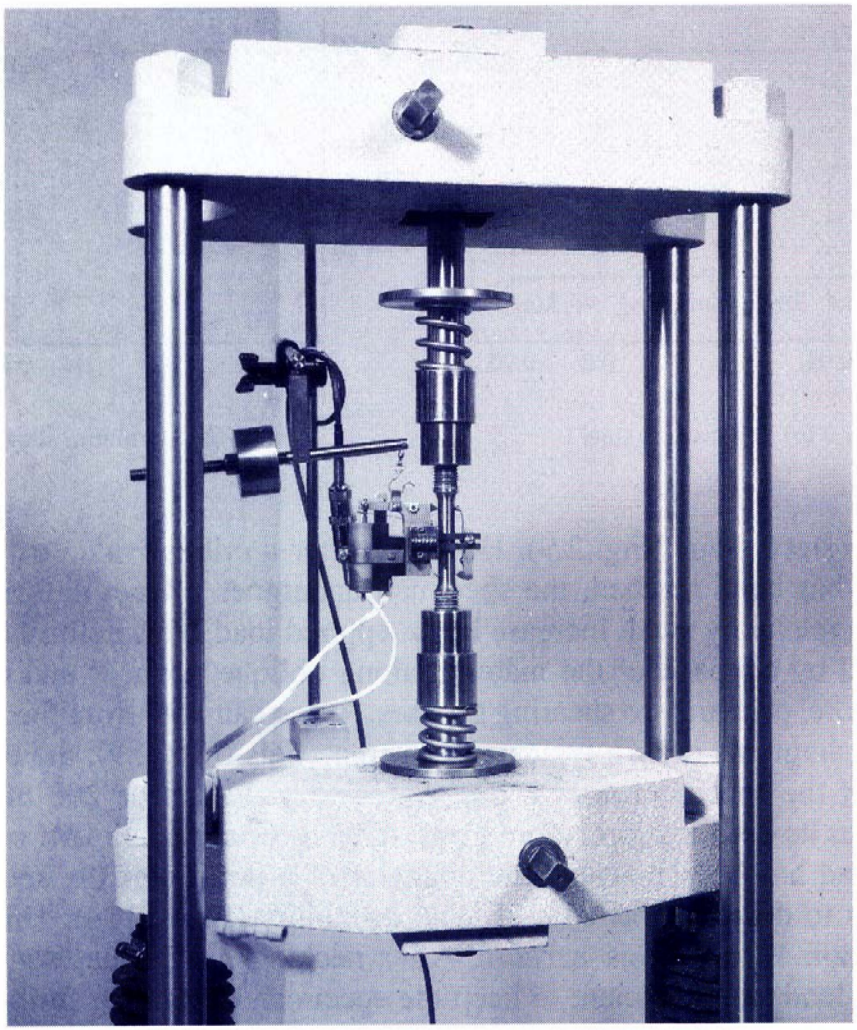
σ = 2P/2A = P/A

ε = δ/L

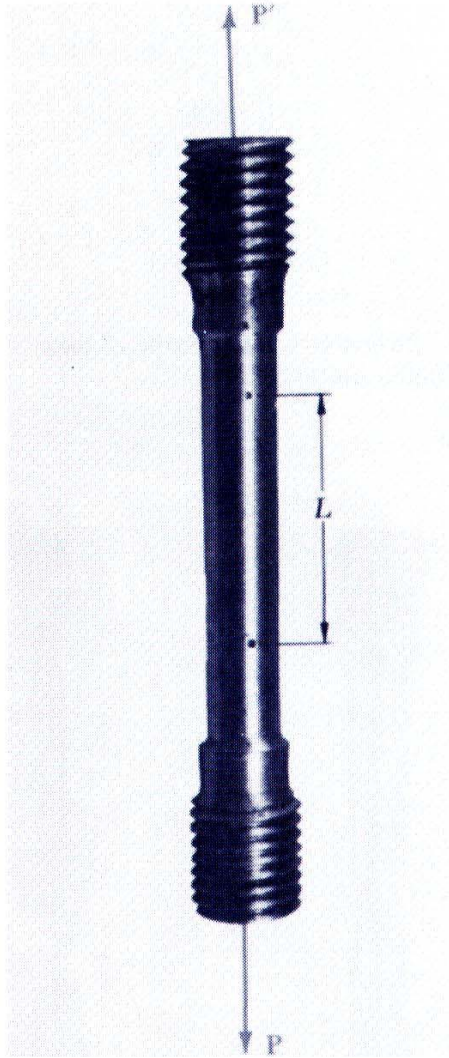
σ = P/A

ε = 2δ/2L = δ/L

Ensaio Tensão-Deformação

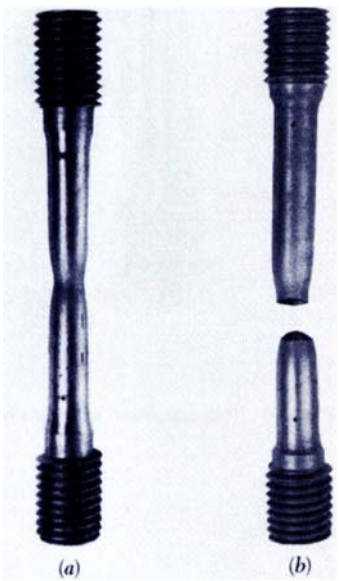


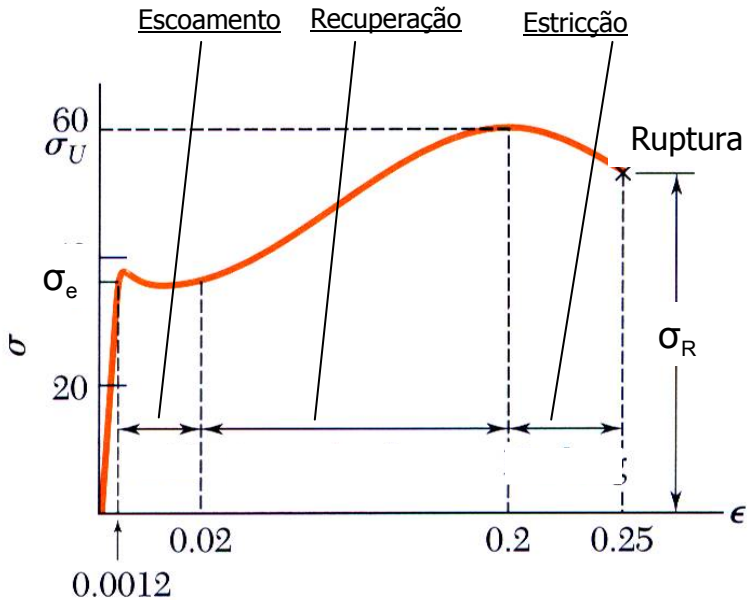
Máquina para Ensaio de Tração



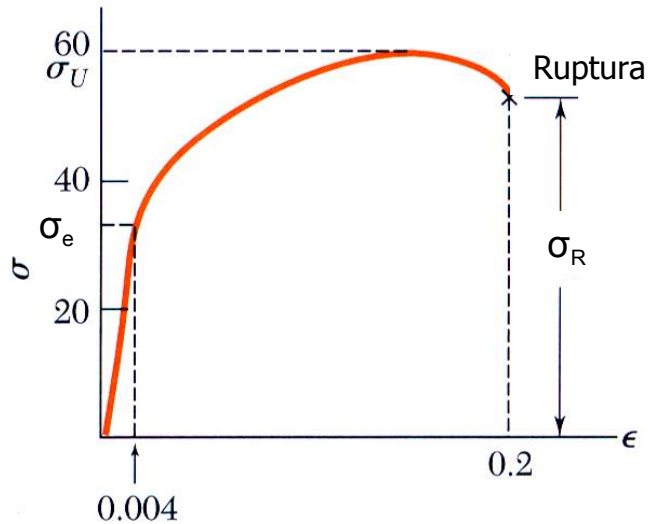
Corpo de Prova para Ensaio de Tração

Diagrama Tensão-Deformação: Materiais Dúteis





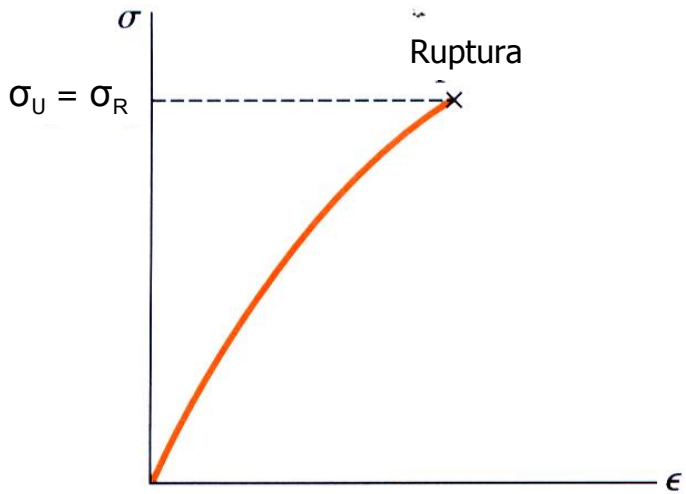
Aço de Baixo Carbono



Liga de Alumínio

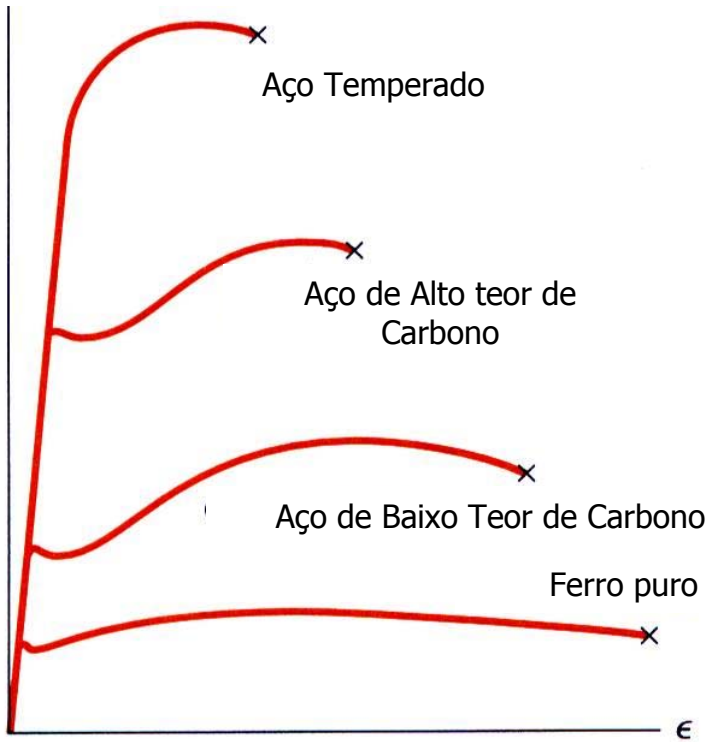
Diagrama Tensão-Deformação: Materiais Frágeis





Material Tipicamente Frágil

Lei de Hooke: Módulo de Elasticidade



Diagramas para Ferro puro e Aços com diferente teor de carbono

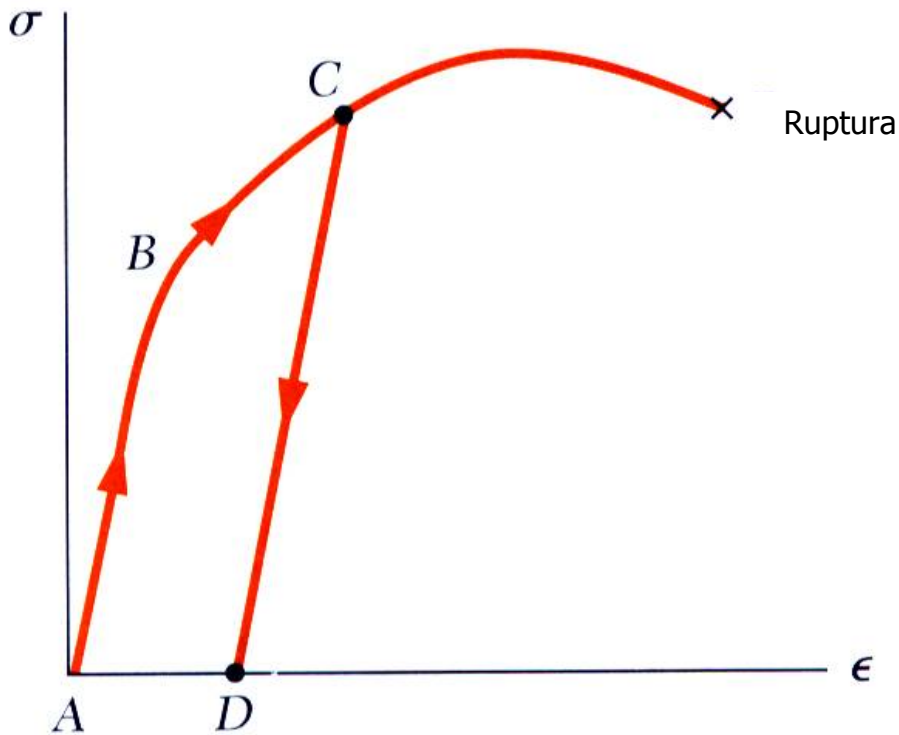
- Abaixo da tensão de escoamento

$$\sigma = E\varepsilon$$

E = Módulo de Young ou
Módulo de Elasticidade

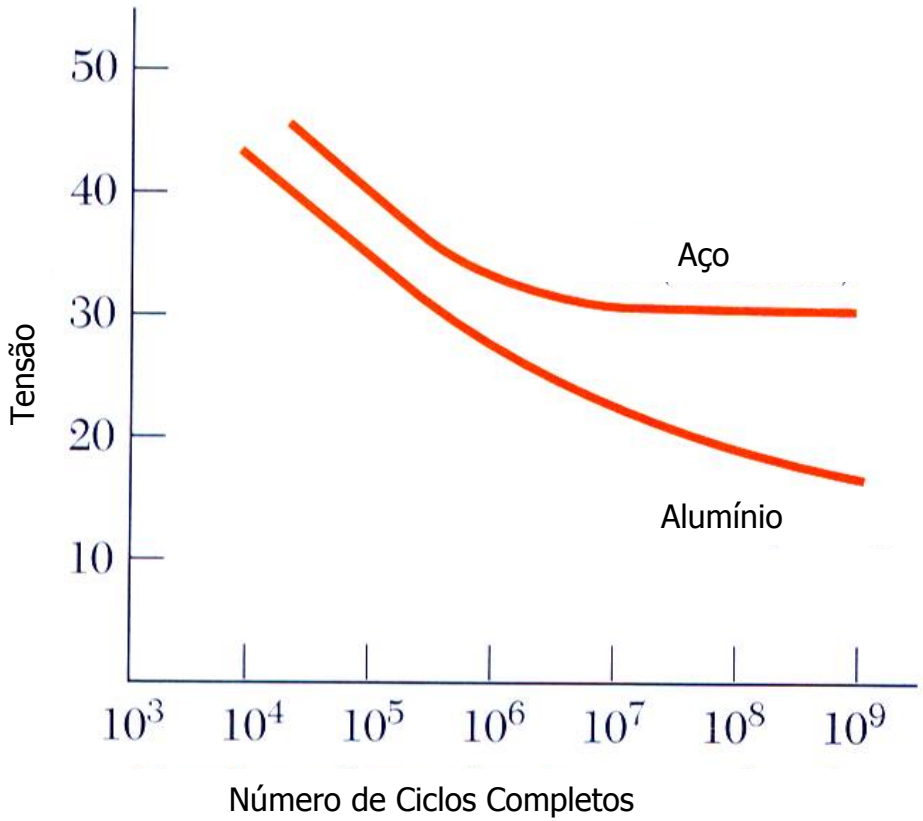
- O limite de ruptura é afetado pelo teor de carbono, tratamento térmico, e pelo processo de fabricação, mas a rigidez (Módulo de Elasticidade) não é.

Comportamento Elástico vs. Plástico



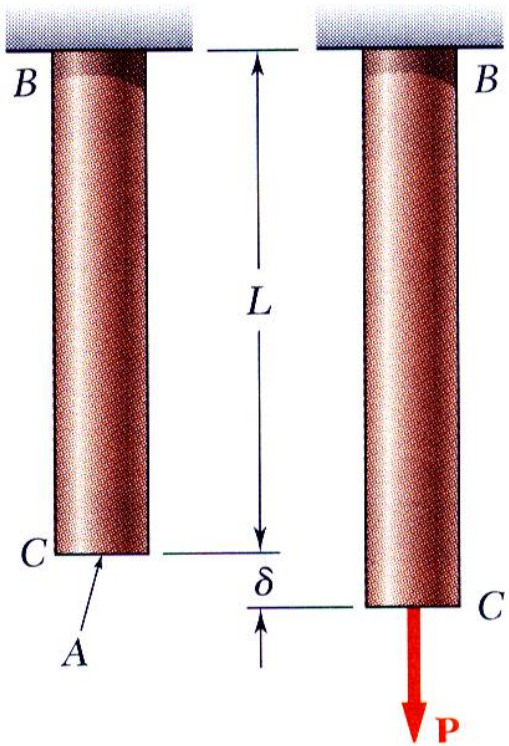
- Se a deformação desaparece quando a tensão é removida, o material comporta-se *elasticamente*.
- A maior tensão na qual isto ocorre é chamada *limite elástico*.
- Quando a deformação não retorna a zero depois que a tensão é removida, o material comporta-se *plasticamente*, apresentando deformaçao permanente.

Fadiga



- As propriedades de fadiga são mostradas em diagramas σ-N.
- Um membro pode falhar devido à fadiga em níveis de tensão significativamente abaixo da tensão de ruptura se sujeito a muitos ciclos de carregamento.
- Quando a tensão é reduzida abaixo do *limite de resistência*, as falhas de fadiga não ocorrem para nenhum número de ciclos.

Deformações sob Carregamento Axial



- A partir da Lei de Hooke:

$$\sigma = E\varepsilon \quad \varepsilon = \sigma/E = P/AE$$

- Da definição de deformação:

$$\varepsilon = \delta/L$$

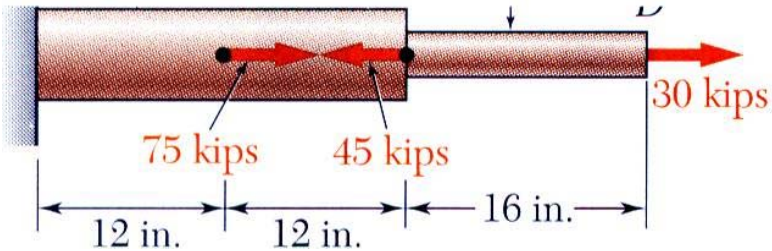
- Igualando e resolvendo para a deformação,

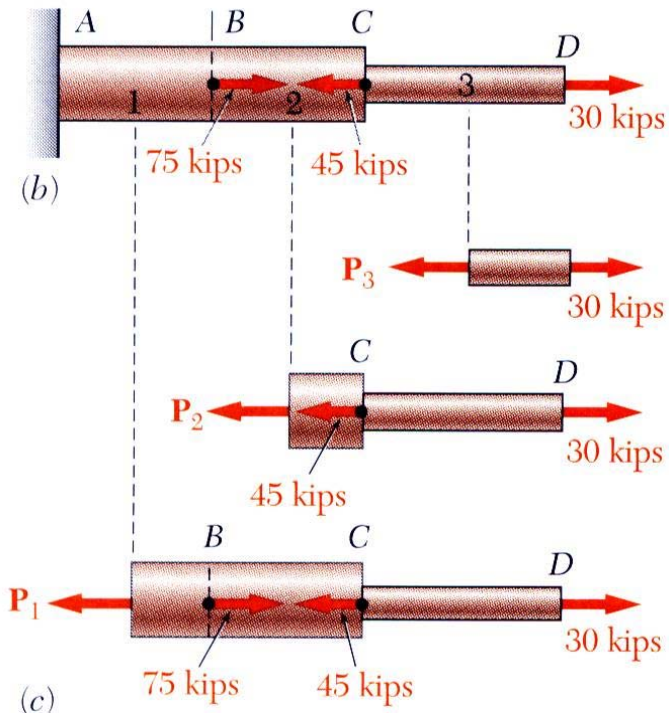
$$\delta = PL/AE$$

- Com variações no carregamento, na seção transversal ou nas propriedades do material, a deformação total da peça será:

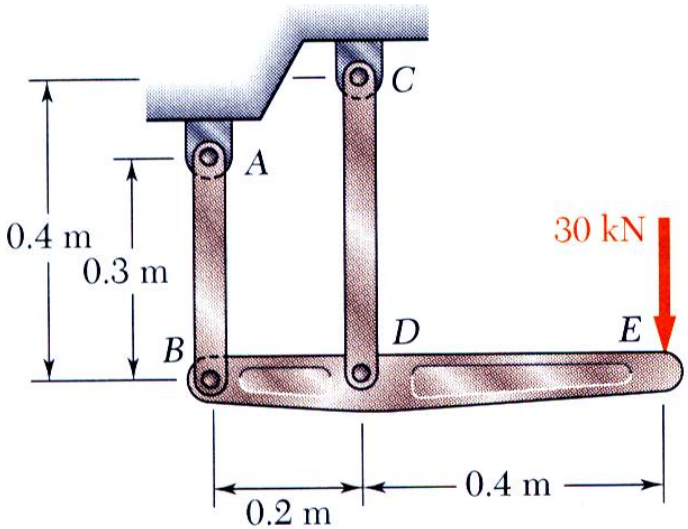
$$\delta = \Sigma(P_i L_i / A_i E_i)$$

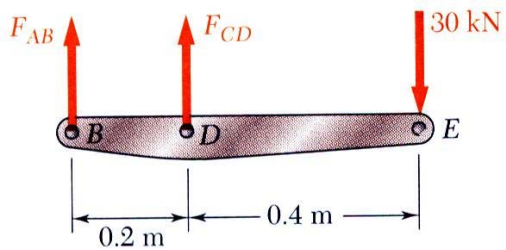
Ex. 2.1: Determine a deformação da haste de aço mostrada.

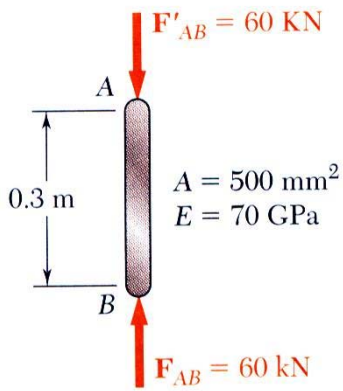


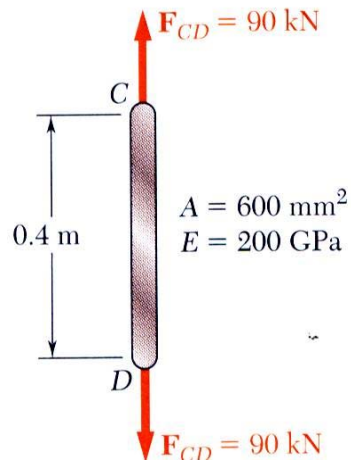


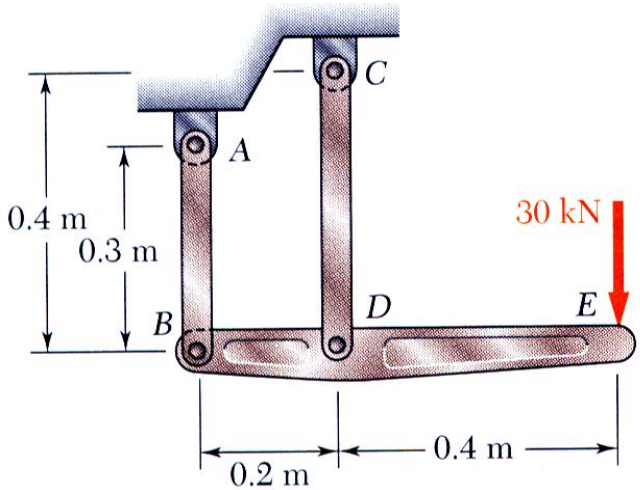
Ex. 2.2: Determine a deflexão dos pontos B, D e E da barra rígida BDE, suportada por duas ligações elásticas AB (alumínio; E=70 GPa, 500mm^2) e CD (aço; E=200 GPa, 600mm^2)

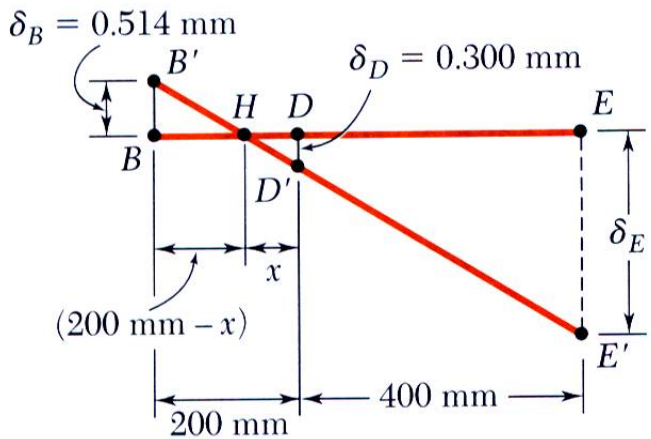




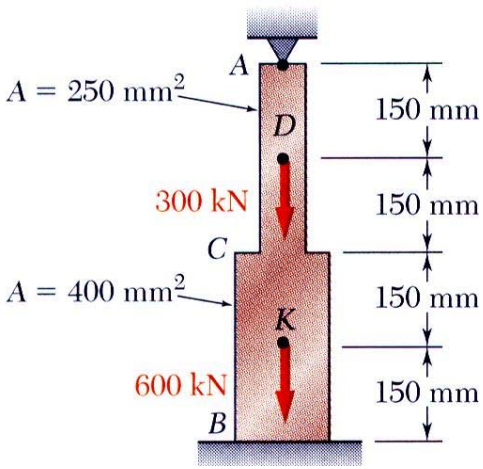





C
A
0.4 m
0.3 m
30 kN
B
D
E
0.2 m
0.4 m


$\delta_B = 0.514$ mm
B′
$\delta_D = 0.300$ mm
H
D
E
B
D′
δ_E
x
(200 mm − x)
E′
200 mm
400 mm

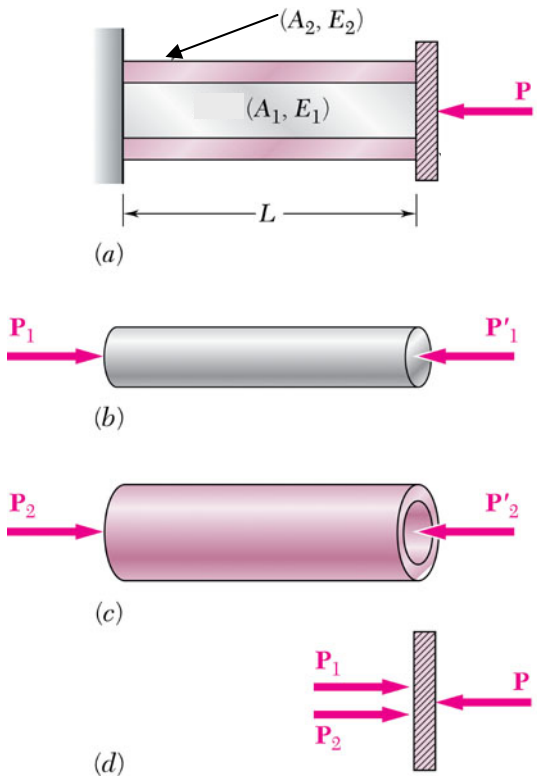
Indeterminação Estática



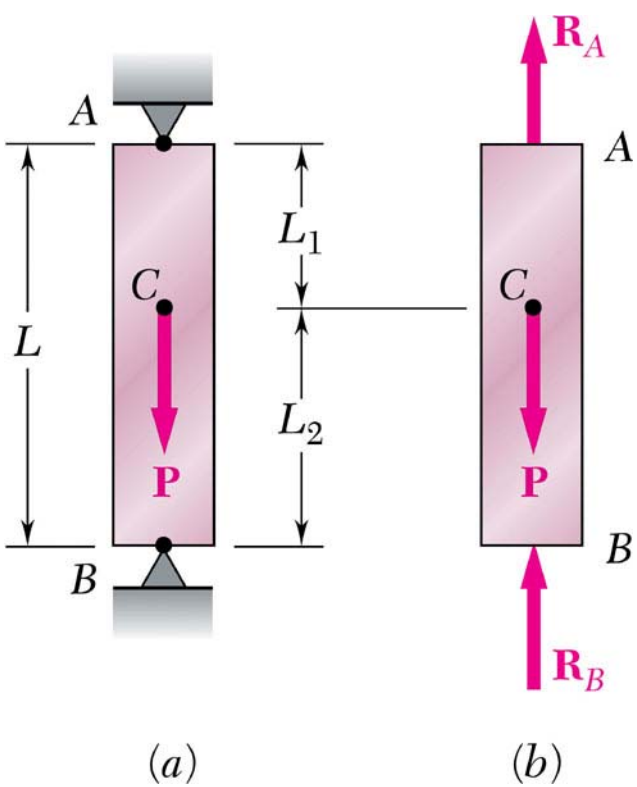
- As estruturas para as quais as forças internas e as reações não podem ser determinadas somente a partir da estática são chamadas *estaticamente indeterminadas*.
- Uma estrutura será estaticamente indeterminada sempre que é sustentada por mais suportes do que são necessários para manter seu equilíbrio.
- As reações redundantes são substituídas por carregamentos desconhecidos os quais juntos com outros carregamentos devem produzir deformações compatíveis.
- As deformações devido a carregamentos reais e a reações redundantes são determinadas separadamente e então adicionadas ou *superpostas*.

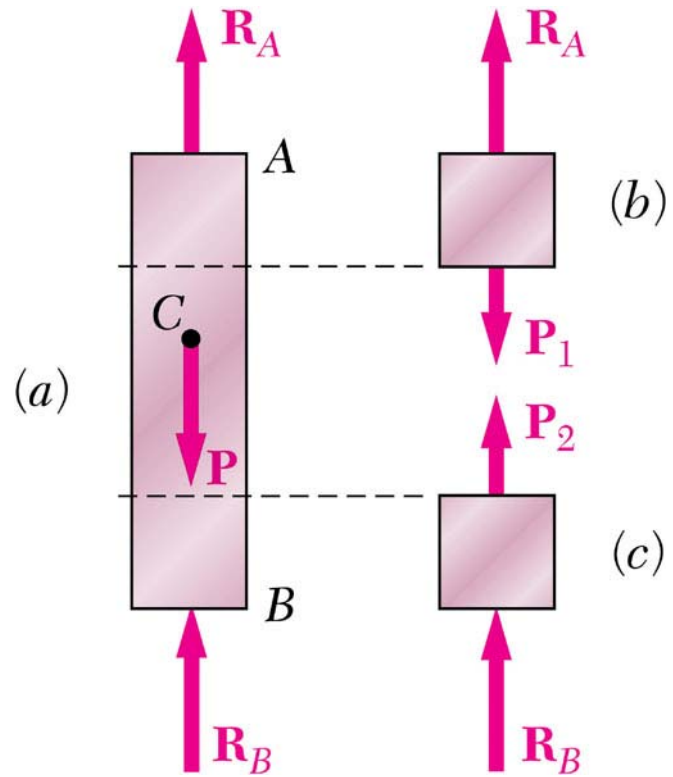
$$\delta = \delta_L + \delta_R = 0$$

Ex. 2.2: Calcule a deformação da barra e do tubo da montagem abaixo quando a força P é aplicada

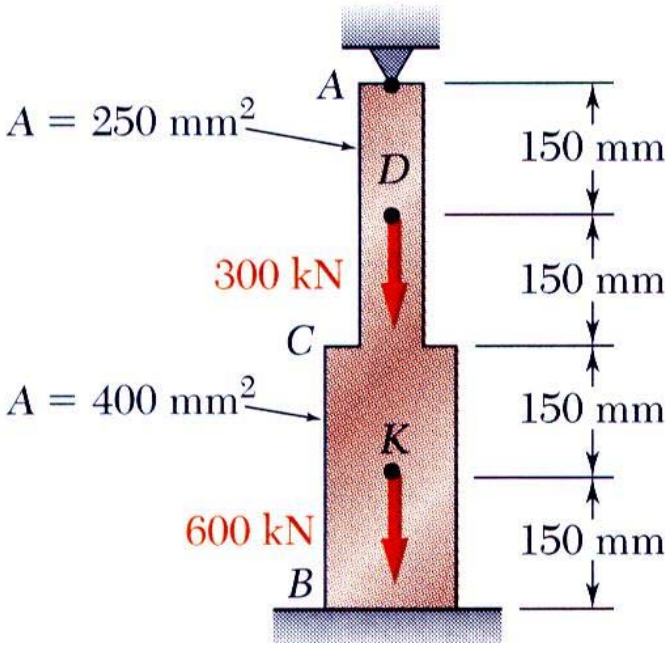


Ex. 2.3: Quais são as tensões nas partes AC e BC na barra abaixo, devido a aplicação da força P?

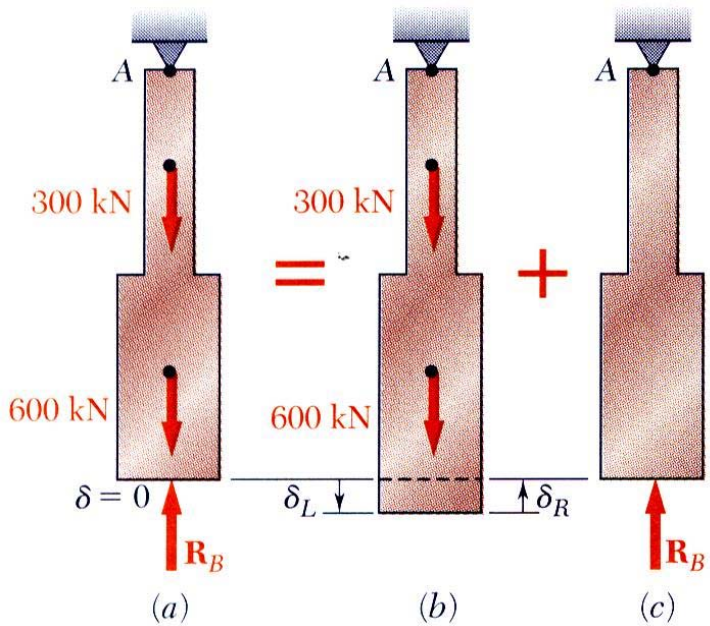


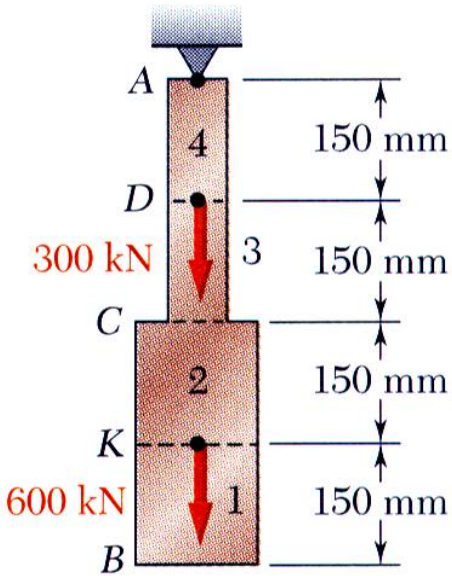


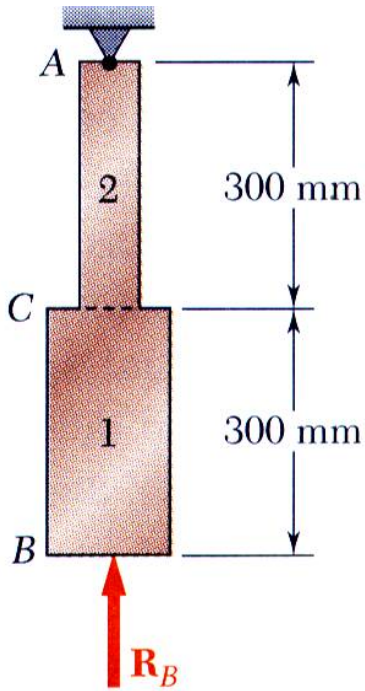
Ex. 2.4: Determine as reações em A e B para a barra de aço mostrada, assumindo um ajuste adequado em ambos os suportes antes da aplicação dos carregamentos.

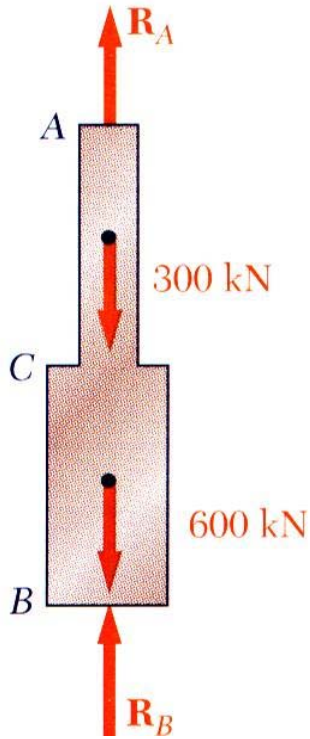


Princípio da Superposição:

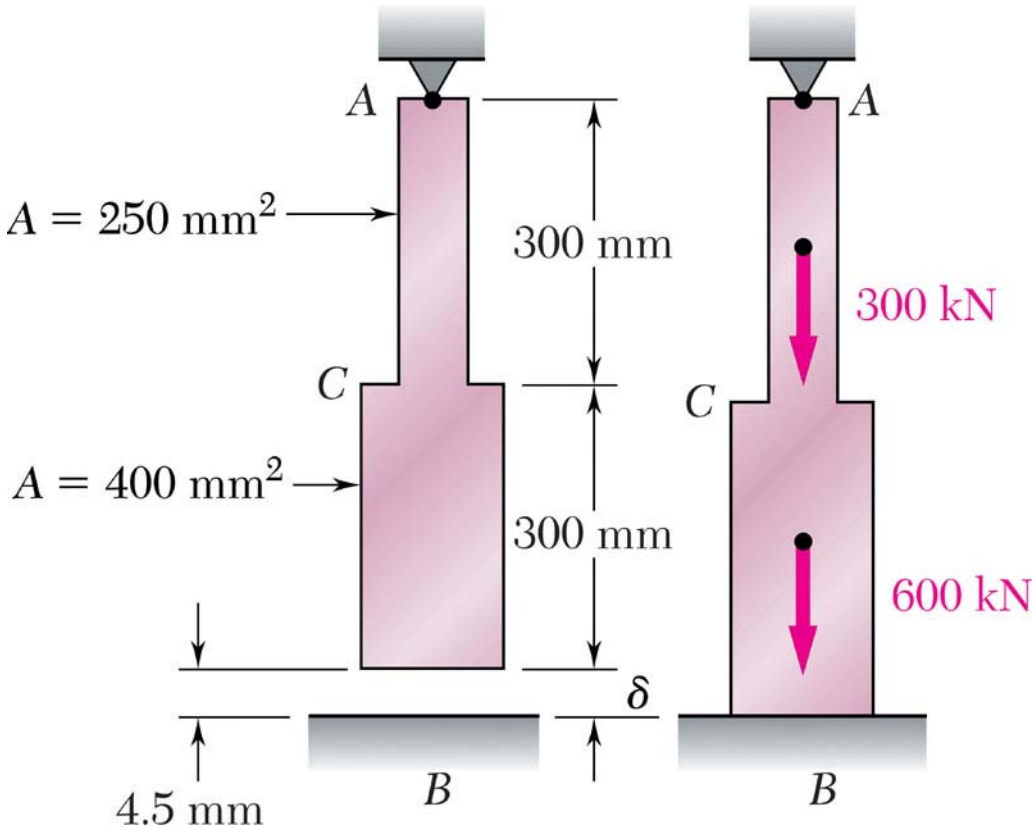



A
4
150 mm
D
300 kN
3
150 mm
C
2
150 mm
K
600 kN
1
150 mm
B

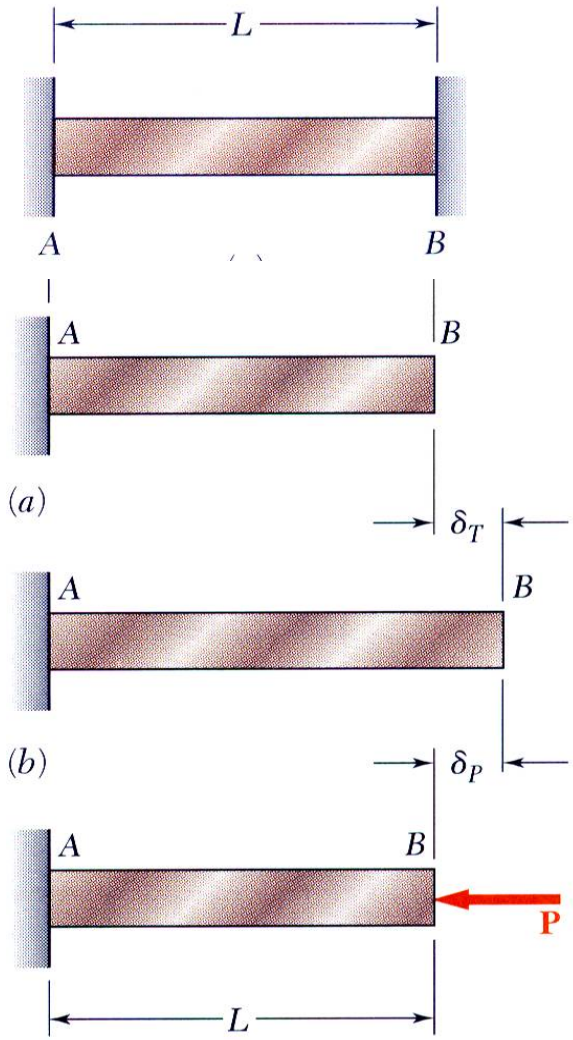

A
2
300 mm
C
1
300 mm
B
$\mathbf{R}_B$


$\mathbf{R}_A$
A
300 kN
C
600 kN
B
$\mathbf{R}_B$

Ex. 2.5: Considerando no exercício anterior a folga de 4,5mm entre a peça e a superfície, conforme mostrado, calcular novamente as reações em A e B, com E=200GPa.



Tensões Térmicas



- Uma mudança de temperatura resulta em mudança no comprimento, ou seja, em *deformação térmica*. Não há nenhuma tensão associada com a deformação térmica, a menos que esta seja contida pelos suportes.

$\delta_T = \alpha(\Delta T)L$ $\qquad$ $\delta_P = PL/AE$

α : coef. de dilatação térmica

- Trate um dos suportes como redundante e aplique o princípio da superposição.

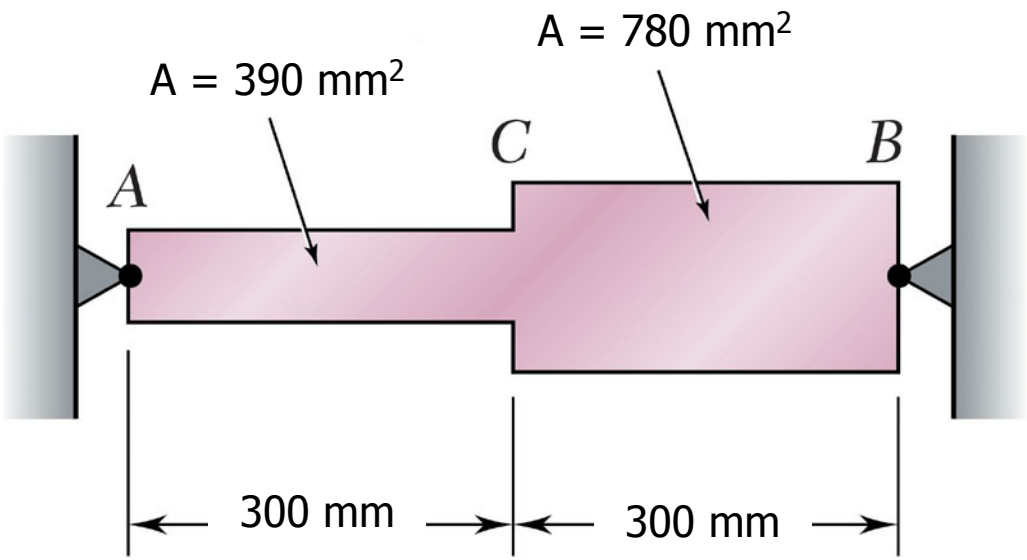
- A deformação térmica e a deformação mecânica que ocorreria na ausência do suporte redundante devem ser compatíveis.

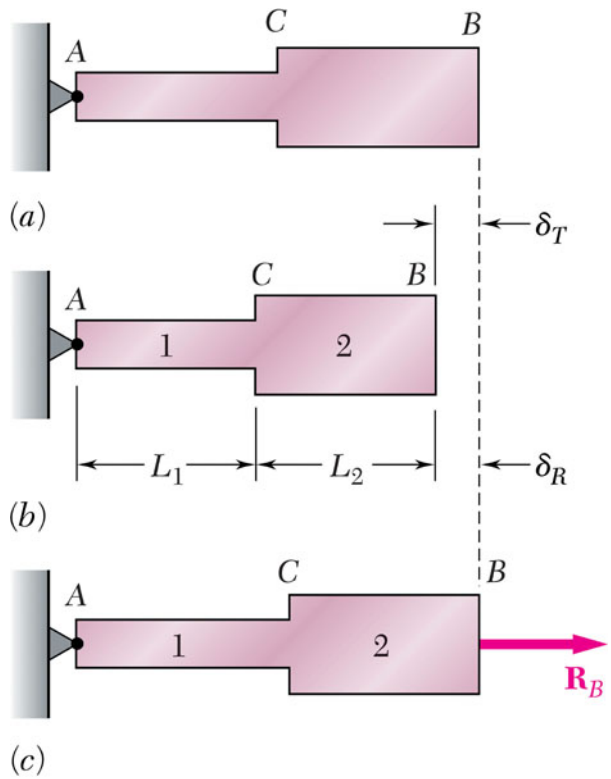
$\delta = \delta_T + \delta_P = 0$ $\qquad$ $\alpha(\Delta T)L + PL/AE = 0$

$P = -AE\alpha\,(\Delta T)$

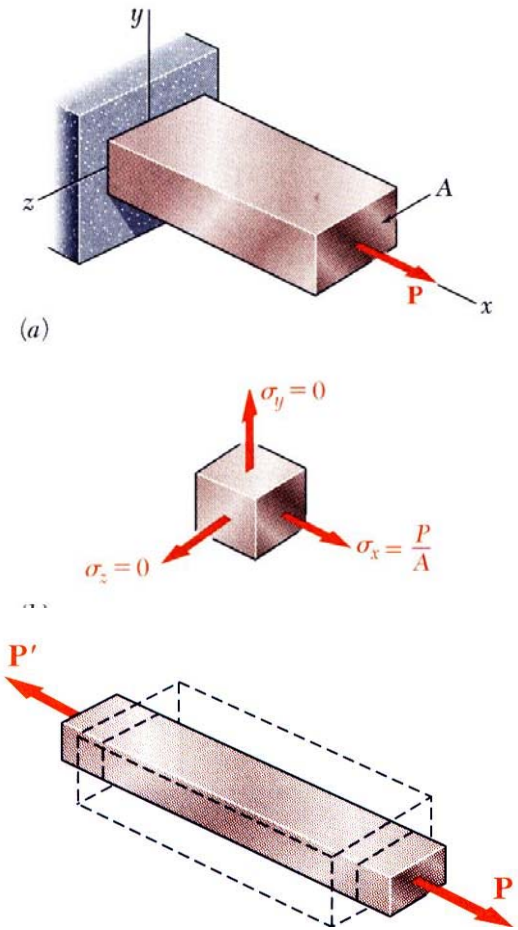
$\sigma = P/A = -E\alpha(\Delta T)$

Ex. 2.6: Determine as tensões em AC e CB na barra de aço, quando a temperatura é de -45°C, sabendo que os apoios rígidos são ajustados quando a temperatura é de 20°C. Sendo E=200 GPa e $\alpha=12\times10^{-6}/^{o}C$.





Coeficiente de Poisson



- Para uma barra esbelta sujeita a carregamento axial:

$$\varepsilon_x = \sigma_x/E \quad \sigma_y = \sigma_z = 0$$

- O alongamento na direção x é acompanhado por uma contração nas outras duas direções (y e z). Assumindo que o material é isotrópico, ou seja, que suas propriedades independem da direção, tem-se:

$$\varepsilon_y = \varepsilon_z \neq 0$$

- O Coeficiente de Poisson é definido como:

$$\nu = \text{abs}(\text{def. lateral} / \text{def.axial}) = -\varepsilon_y / \varepsilon_x = -\varepsilon_z / \varepsilon_x$$

Ex. 2.7: Determinar o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson do material da barra abaixo para a condição de carregamento apresentada.

