



UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE ALAGOAS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CAMPUS SERTÃO  
EIXO TECNOLOGIA



# Mecânica dos Sólidos II

Prof. Dr. Alverlando Ricardo

## Aula 13: PARTE IV: **FLEXÃO**

# INTRODUÇÃO

➤ **VIGAS** são geralmente elementos prismáticos retos longos, sujeitos a forças perpendiculares ao seu eixo:



# INTRODUÇÃO

- Carregamentos transversais de vigas são classificados como **forças concentradas** ou **forças distribuídas**;



# INTRODUÇÃO

- Carregamentos transversais de vigas são classificados como **forças concentradas** ou **forças distribuídas**;
- Tais carregamentos induzem esforços internos na estrutura:
  - Esforços cortantes provocam tensões de cisalhamento;
  - Momentos fletores provocam tensões normais.



*Na maioria dos casos, o critério dominante no projeto de uma viga quanto à resistência é o valor máximo da tensão normal atuante.*

# INTRODUÇÃO

- Carregamentos transversais de vigas são classificados como **forças concentradas** ou **forças distribuídas**;
- Tais carregamentos induzem esforços internos na estrutura:
  - Esforços cortantes provocam tensões de cisalhamento;
  - Momentos fletores provocam tensões normais.



*Na maioria dos casos, o critério dominante no projeto de uma viga quanto à resistência é o valor máximo da tensão normal atuante.*

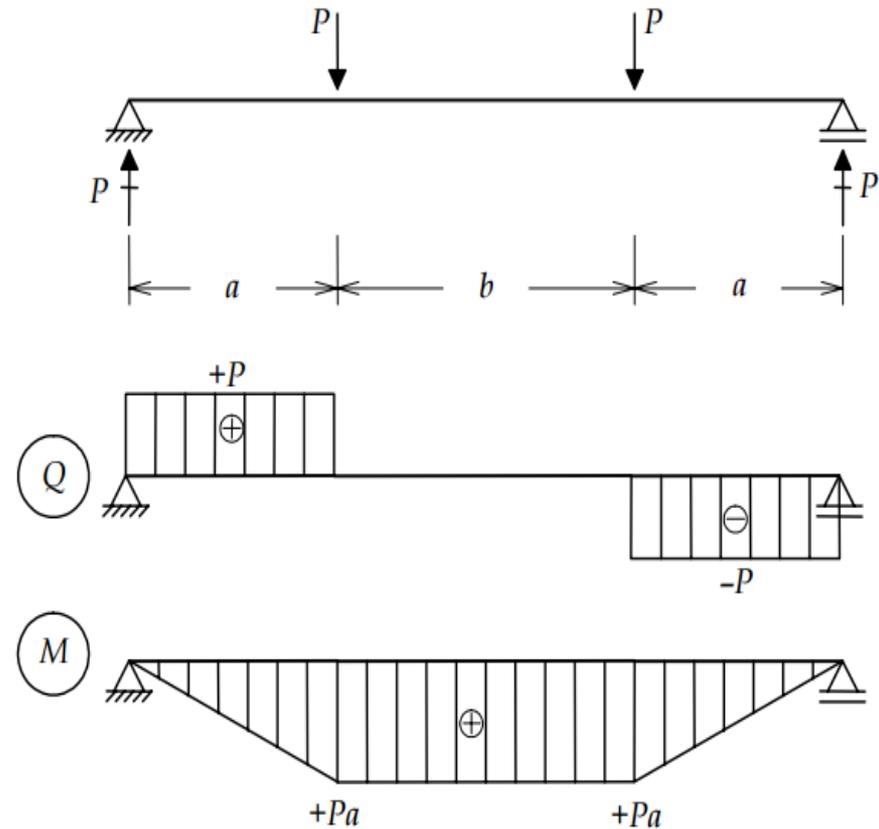
- Tensões normais dependem somente do valor do momento fletor e da geometria da seção:

$$\sigma_x = -\frac{My}{I} \quad \sigma_m = \frac{|M|c}{I} = \frac{|M|}{W}$$

# Classificação da Flexão

# Classificação da Flexão

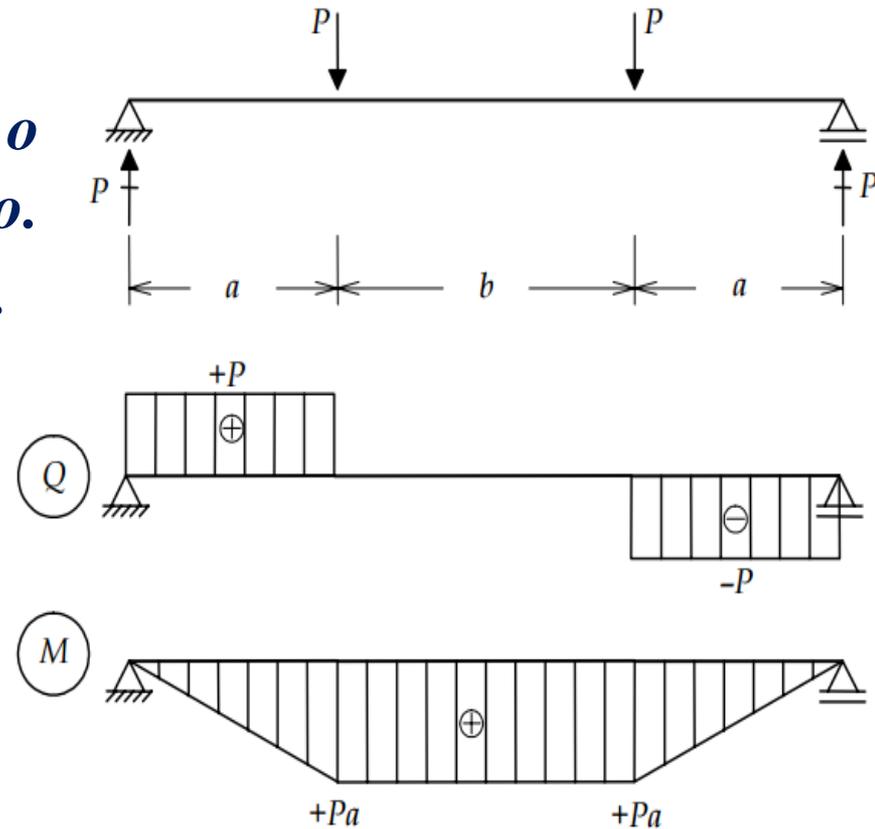
➤ *A flexão pode ser classificada de acordo com o esforço solicitante que acompanha o momento fletor:*



# Classificação da Flexão

➤ *A flexão pode ser classificada de acordo com o esforço solicitante que acompanha o momento fletor:*

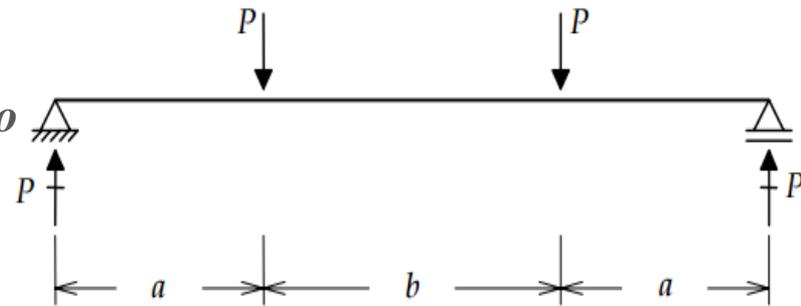
➤ **PURA:** *O momento fletor é o único esforço atuante na seção. Isto é: **cortante = normal = 0.***



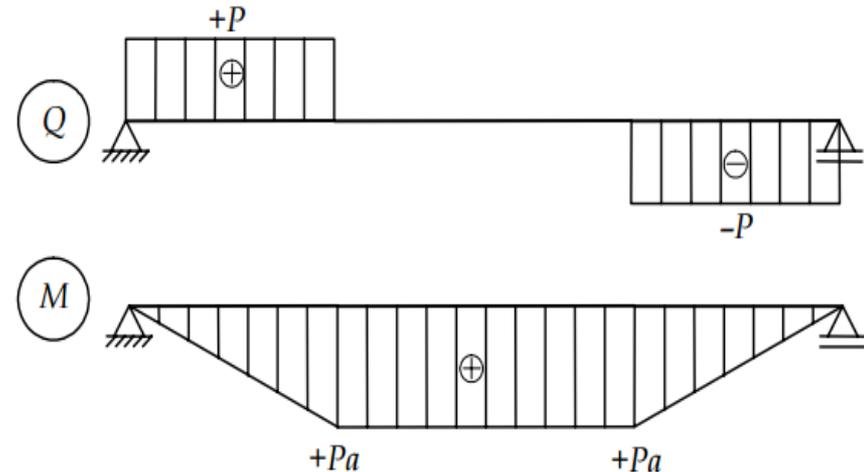
# Classificação da Flexão

➤ *A flexão pode ser classificada de acordo com o esforço solicitante que acompanha o momento fletor:*

➤ **PURA:** O momento fletor é o único esforço atuante na seção. Isto é:  $\text{cortante} = \text{normal} = 0$



➤ **SIMPLES:** Atua na seção o momento **Fletor** e o esforço **cortante**. (MECÂNICA DOS SÓLIDOS 3)



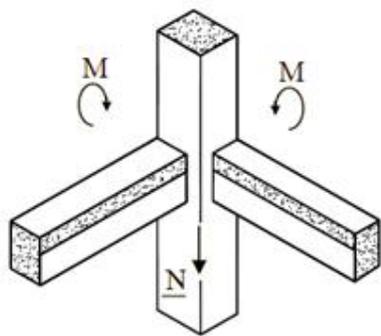
# Classificação da Flexão

➤ **A flexão** pode ser classificada de acordo com o esforço solicitante que acompanha o momento fletor:

➤ **PURA:** O momento fletor é o único esforço atuante na seção. Isto é:  $cortante = normal = 0$ .

➤ **SIMPLES:** Atua na seção o momento Fletor e o esforço cortante. (MECÂNICA DOS SÓLIDOS 3)

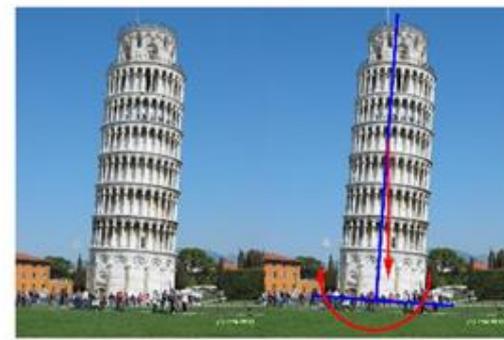
➤ **COMPOSTA:** Atua na seção o momento **Fletor** e o esforço **Normal**. (MECÂNICA DOS SÓLIDOS 3)



PILAR DE CANTO



VIGA PROTENDIDA



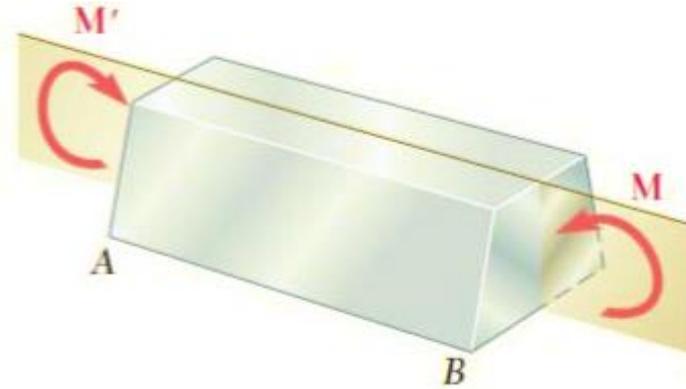
SAPATAS COM CARGAS EXCÊNTRICAS

# **Análise preliminar das tensões na flexão pura**

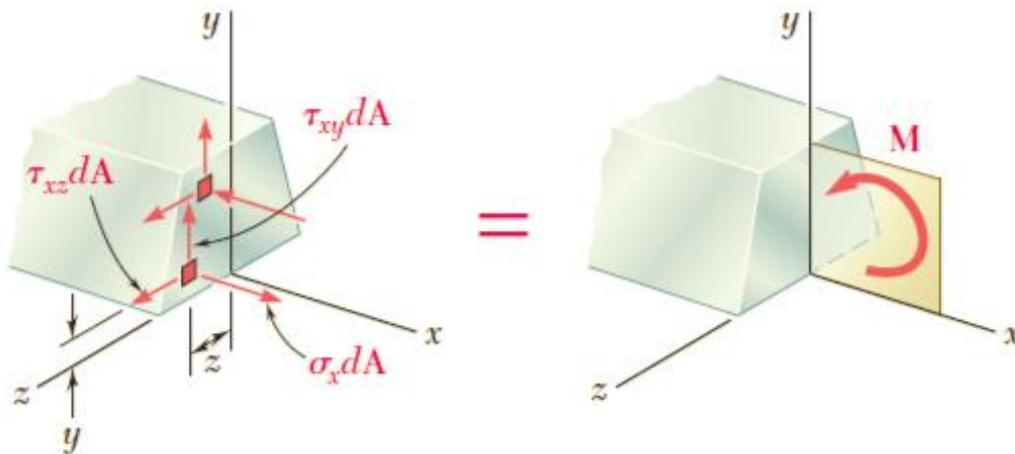
# Análise das tensões na flexão pura

- Membro em flexão pura:

*Barra submetida à ação de dois momentos iguais e de sentidos contrários, que atuam em um mesmo plano longitudinal.*



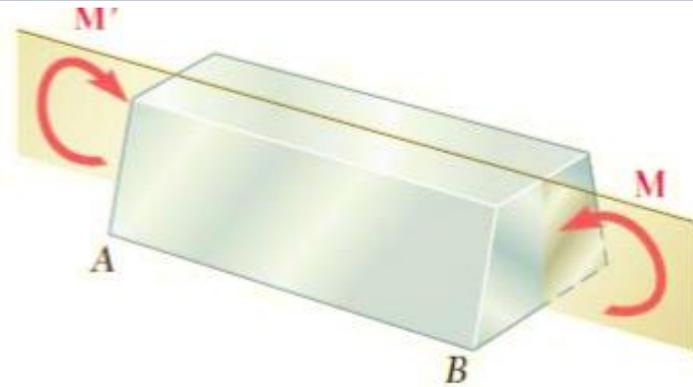
- Tomando uma seção transversal qualquer ao longo de uma peça prismática em flexão pura:



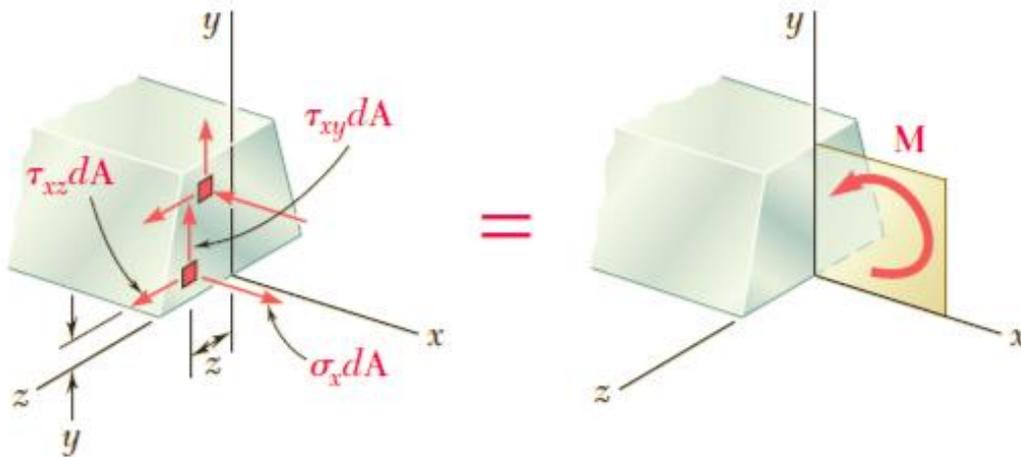
# Análise das tensões na flexão pura

- Membro em flexão pura:

*Barra submetida à ação de dois momentos iguais e de sentidos contrários, que atuam em um mesmo plano longitudinal.*



- Tomando uma seção transversal qualquer ao longo de uma peça prismática em flexão pura:



*As componentes  $\tau_{xy}$  e  $\tau_{xz}$  são nulas;*

$$\Sigma F_x = 0 \quad \int \sigma_x dA = 0$$

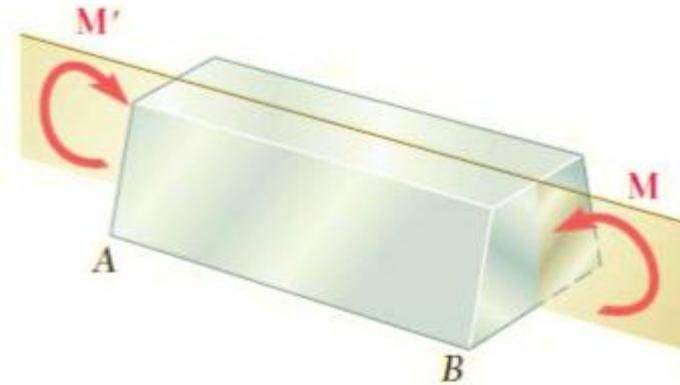
$$\Sigma M_y = 0 \quad \int z \sigma_x dA = 0$$

$$\Sigma M_z = M \quad \int (-y \sigma_x) dA = M$$

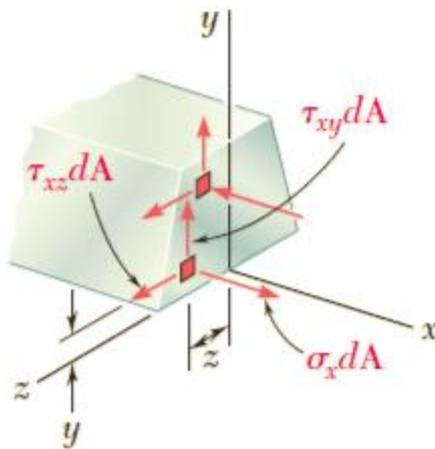
# Análise das tensões na flexão pura

- Membro em flexão pura:

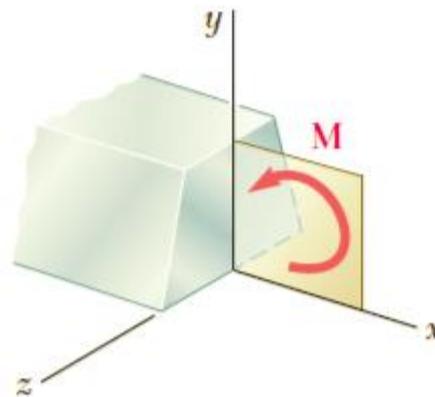
*Barra submetida à ação de dois momentos iguais e de sentidos contrários, que atuam em um mesmo plano longitudinal.*



- Tomando uma seção transversal qualquer ao longo de uma peça prismática em flexão pura:



=



*As componentes  $\tau_{xy}$  e  $\tau_{xz}$  são nulas;*

$$\Sigma F_x = 0 \quad \int \sigma_x dA = 0$$

$$\Sigma M_y = 0 \quad \int z \sigma_x dA = 0$$

$$\Sigma M_z = M \quad \int (-y \sigma_x) dA = M$$

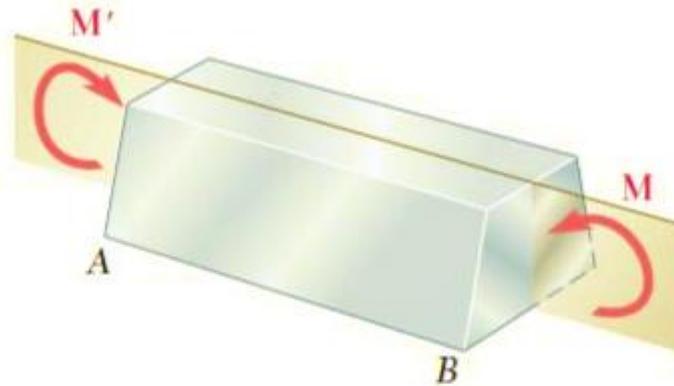


*A distribuição real de tensões na seção transversal é estaticamente indeterminada.*

# Deformações em uma barra simétrica na flexão pura

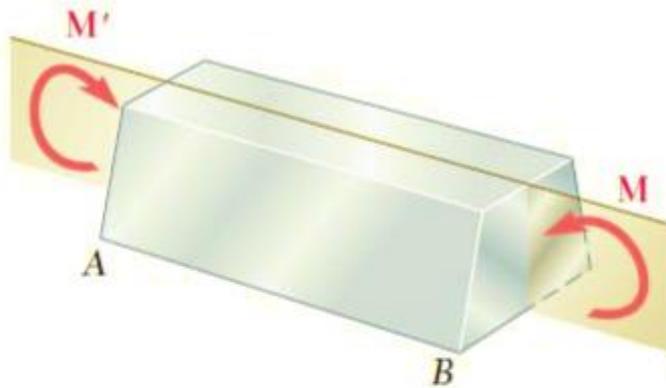
# Deformações na flexão pura

- Consideremos uma barra prismática que contém um plano de simetria, sujeita à ação de dois momentos  $M$  e  $M'$ , que atuam no plano de simetria, com intensidades iguais e sentidos opostos.



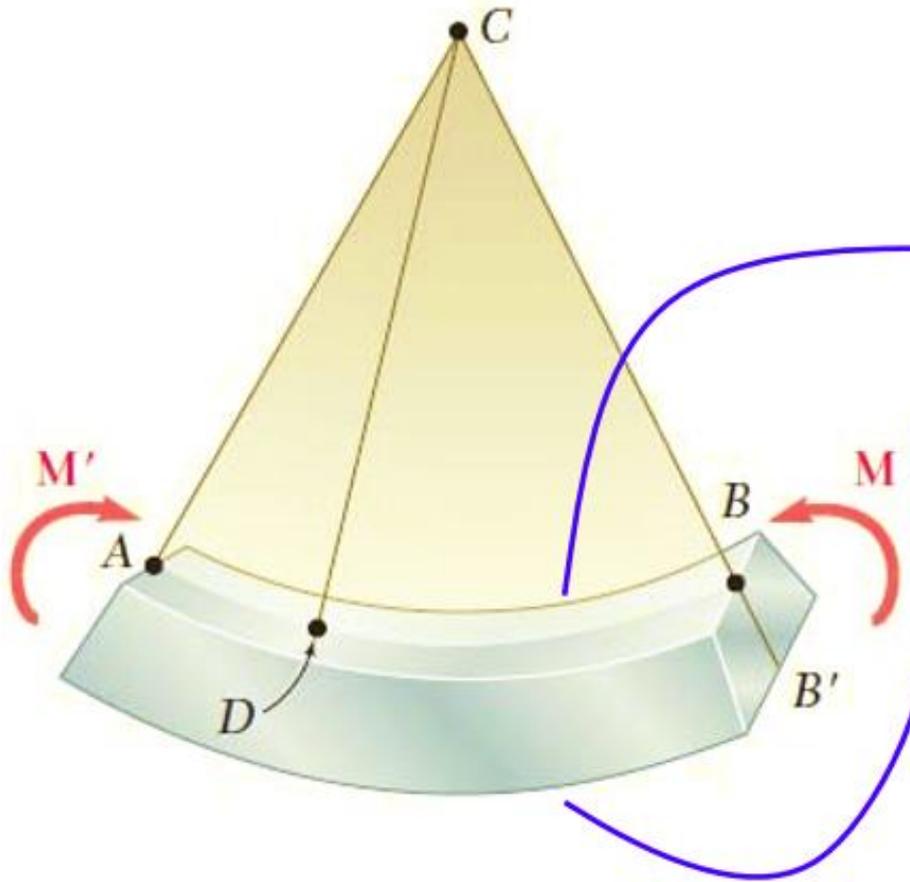
# Deformações na flexão pura

- Consideremos uma barra prismática que contém um plano de simetria, sujeita à ação de dois momentos  $M$  e  $M'$ , que atuam no plano de simetria, com intensidades iguais e sentidos opostos.



- **Hipóteses:**
  - A barra se flexiona sob a ação dos momentos, mas permanece simétrica em relação ao plano;
  - O momento fletor  $M$  é o mesmo em qualquer seção, então a barra se flexiona de maneira uniforme.

# Deformações na flexão pura

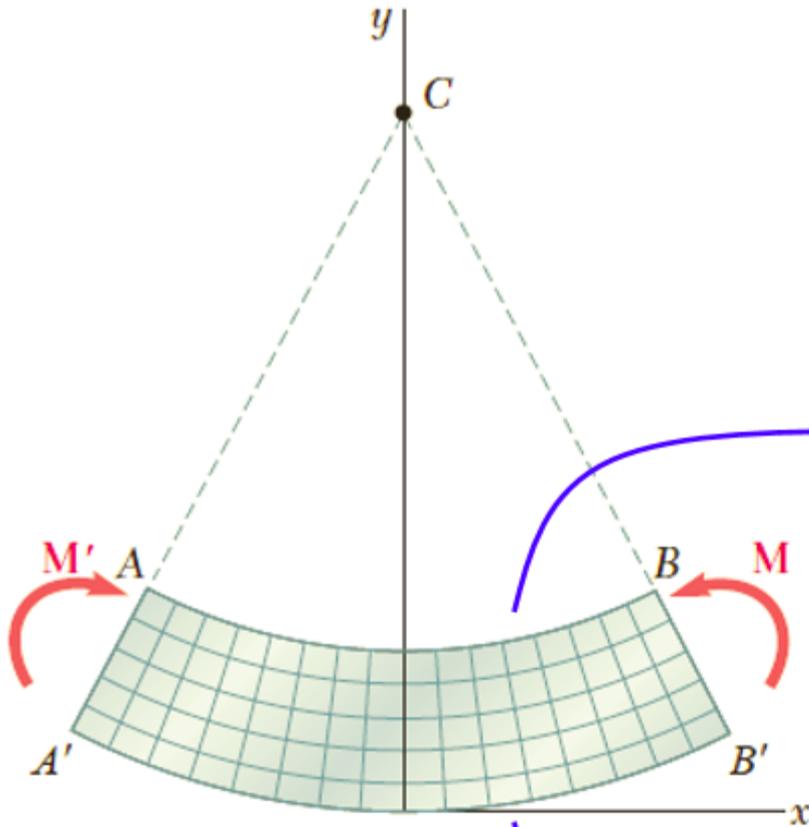


*As linhas AB e A'B', inicialmente retas, se transformam em arcos de circunferência de centro C.*



*A linha AB diminui de comprimento;  
A linha A'B' aumenta de comprimento.*

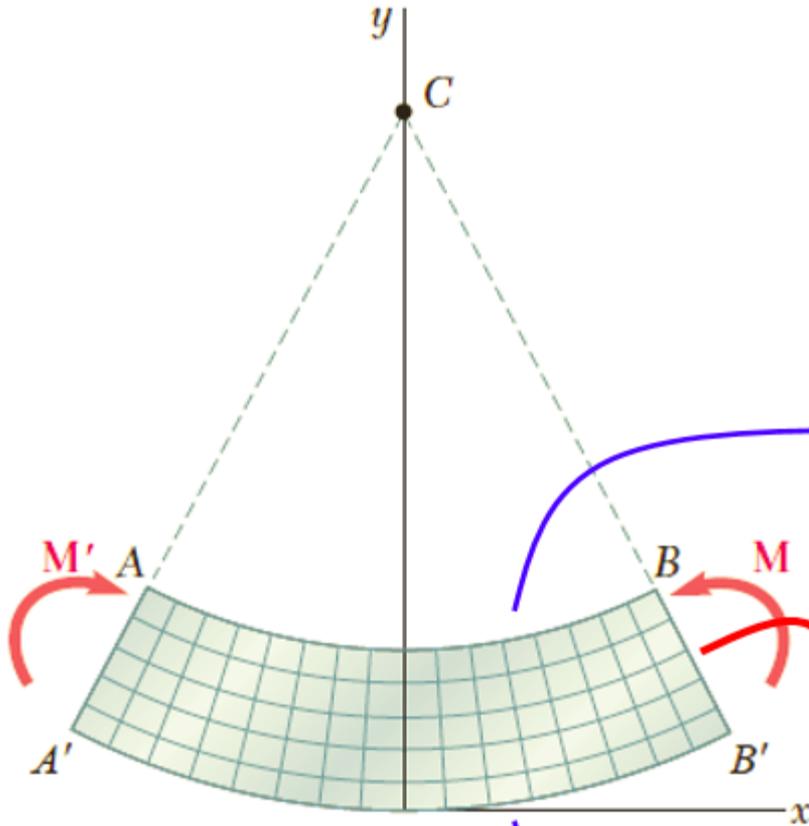
# Deformações na flexão pura



A deformação específica  $\varepsilon_x$  e a tensão  $\sigma_x$  são **negativas** na parte superior da barra (compressão).

A deformação específica  $\varepsilon_x$  e a tensão  $\sigma_x$  são **positivas** na parte inferior da barra (tração).

# Deformações na flexão pura



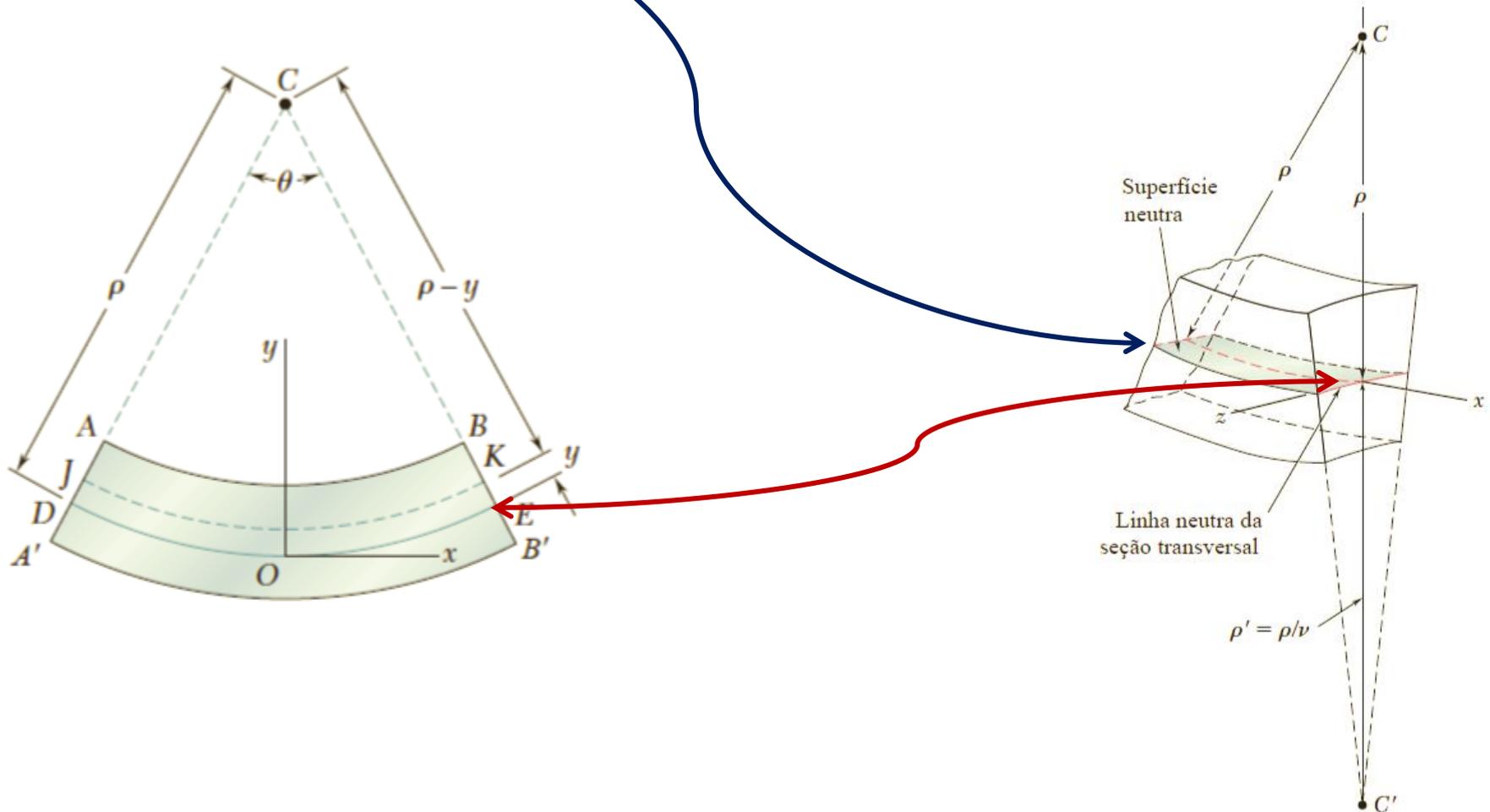
A deformação específica  $\varepsilon_x$  e a tensão  $\sigma_x$  são **negativas** na parte superior da barra (compressão).

Haverá uma superfície paralela à face superior e à face inferior da barra onde  $\varepsilon_x$  e  $\sigma_x$  são nulas (**superfície neutra**).

A deformação específica  $\varepsilon_x$  e a tensão  $\sigma_x$  são **positivas** na parte inferior da barra (tração).

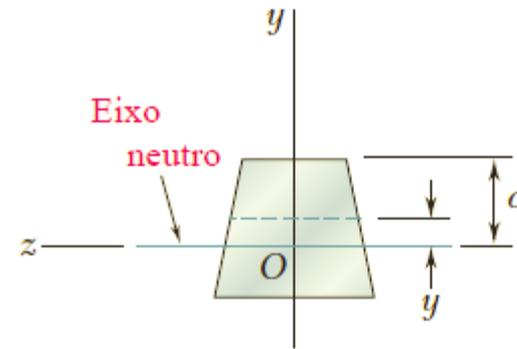
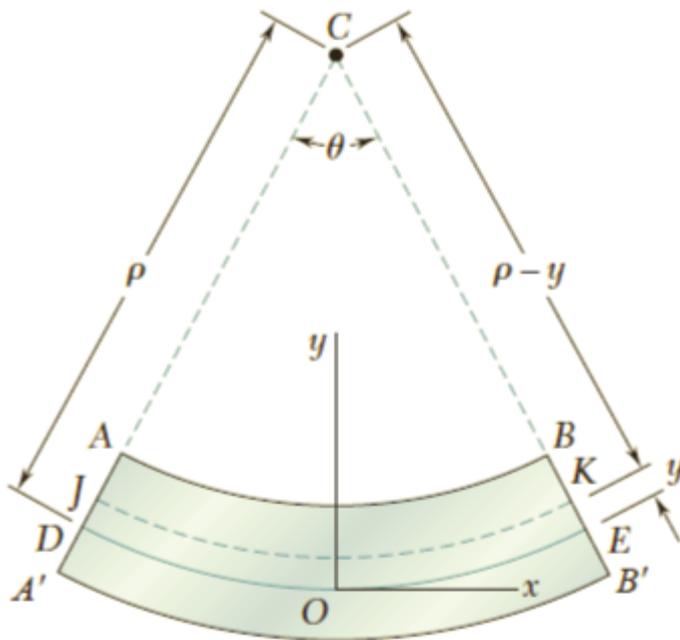
# Deformações na flexão pura

- A intersecção da *superfície neutra* com uma dada seção transversal da barra é chamada *linha neutra* ou *eixo neutro* da seção;



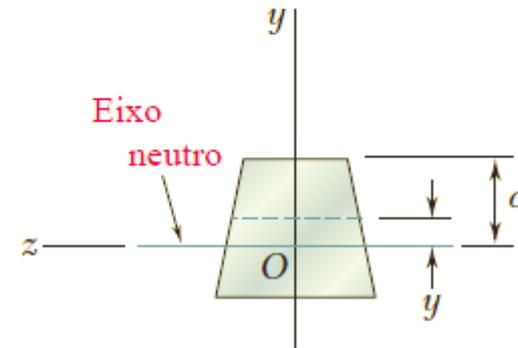
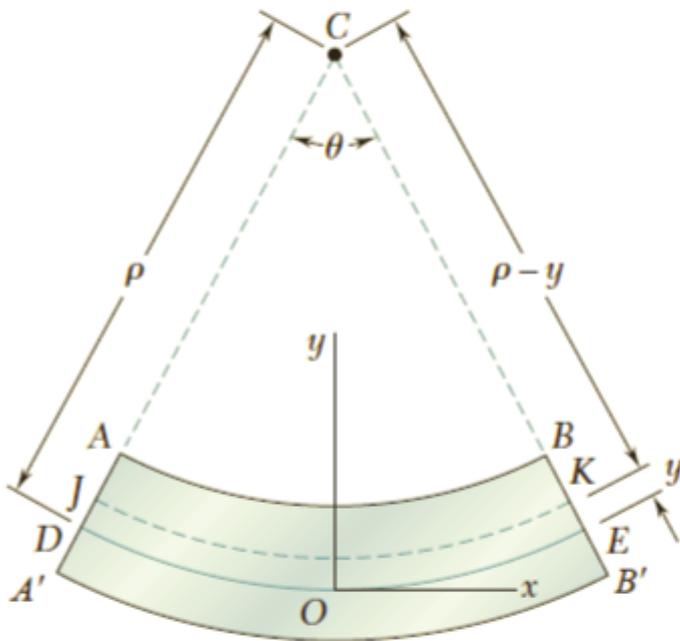
# Deformações na flexão pura

- A intersecção da *superfície neutra* com uma dada seção transversal da barra é chamada *linha neutra* ou *eixo neutro* da seção;
- Adotemos um **novo sistema de coordenadas** com origem em um ponto sobre a **superfície neutra**:



# Deformações na flexão pura

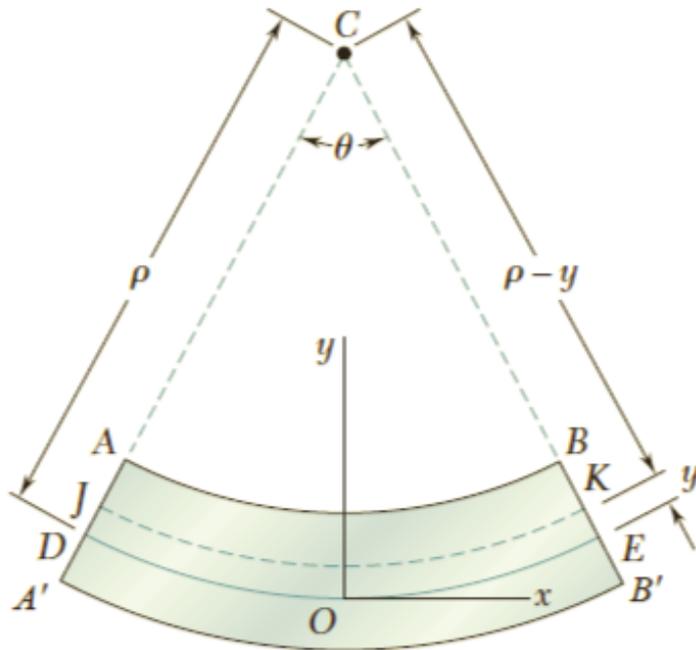
- A intersecção da *superfície neutra* com uma dada seção transversal da barra é chamada *linha neutra* ou *eixo neutro* da seção;
- Adotemos um **novo sistema de coordenadas** com origem em um ponto sobre a **superfície neutra**:



Chamando de  $\rho$  o raio do arco de circunferência  $DE$  e de  $\theta$  o ângulo, o comprimento  $DE$  é igual ao comprimento  $L$  da barra inderformada:

$$L = \rho\theta$$

# Deformações na flexão pura



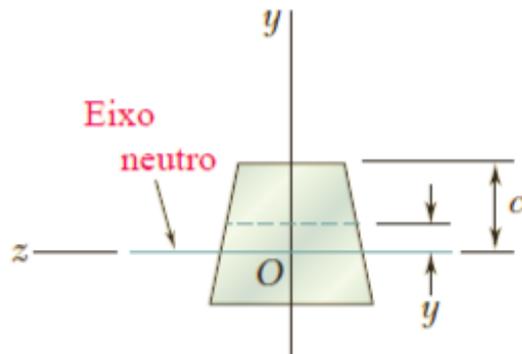
Considerando um arco  $JK$ , localizado a uma distância  $y$  acima da superfície neutra, temos que o comprimento deste arco é dado por:

$$L' = (\rho - y)\theta$$

A variação de comprimento é dada por:

$$\Delta L = L' - L = (\rho - y)\theta - \rho\theta$$

$$\therefore \Delta L = -y\theta$$



# Deformações na flexão pura

Considerando um arco  $JK$ , localizado a uma distância  $y$  acima da superfície neutra, temos que o comprimento deste arco é dado por:

$$L' = (\rho - y)\theta$$

A variação de comprimento é dada por:

$$\Delta L = L' - L = (\rho - y)\theta - \rho\theta$$

$$\therefore \Delta L = -y\theta$$

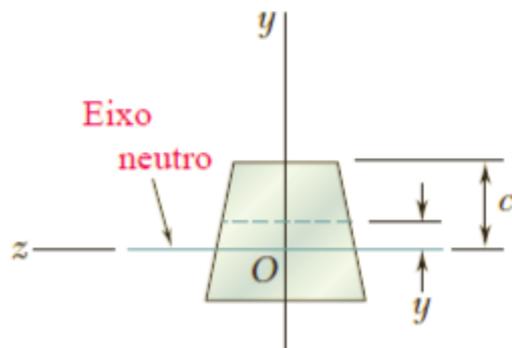
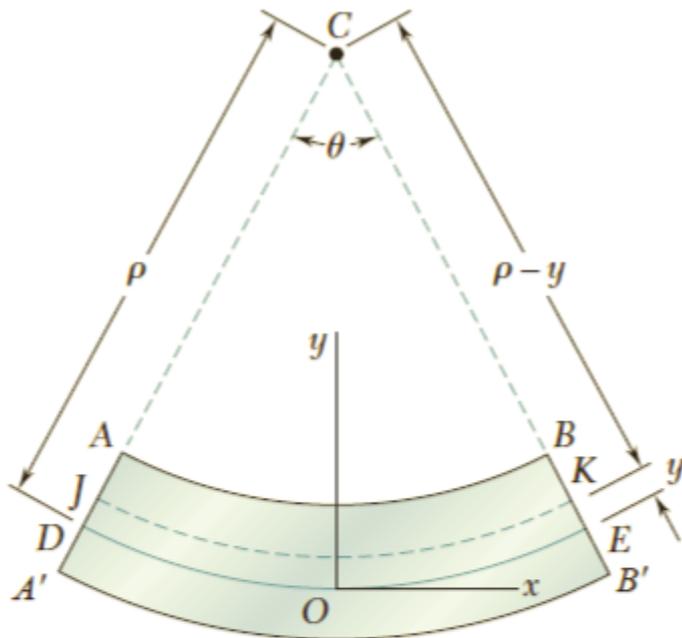
- E, portanto, a deformação específica longitudinal  $\epsilon_x$  nos elementos que compõem a fibra  $JK$ , será dada por:

$$\epsilon_x = \frac{\Delta L}{L} = \frac{-y\theta}{\rho\theta}$$



$$\epsilon_x = -\frac{y}{\rho}$$

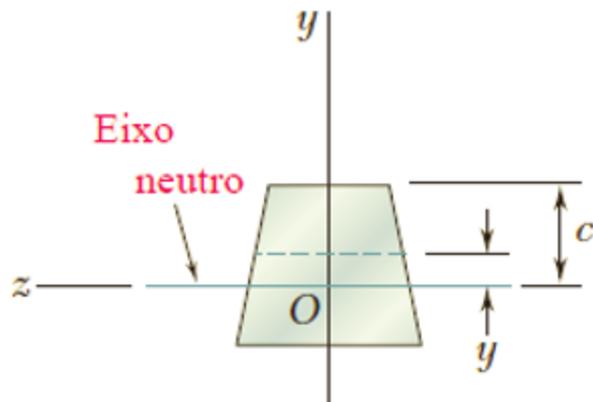
*$\epsilon_x$  varia linearmente com a distância  $y$  à superfície neutra!*



# Deformações na flexão pura

$$\epsilon_x = -\frac{y}{\rho}$$

- A maior deformação específica  $\epsilon_x$  ocorre para o máximo valor de  $y$ . Chamando de  $c$  esse valor máximo, e expressando por  $\epsilon_m$  o valor absoluto máximo da deformação específica, temos:



$$\epsilon_m = \frac{c}{\rho} \quad \therefore \quad \rho = \frac{c}{\epsilon_m}$$

- Então:

$$\epsilon_x = -\frac{y}{\rho}$$



$$\epsilon_x = -\frac{y}{c}\epsilon_m$$



# Tensões e deformações no regime elástico

# Tensões e deformações no regime elástico

- Se o momento fletor  $M$  tem valor tal que as tensões normais se mantêm abaixo do limite de proporcionalidade e do limite de elasticidade do material, a lei de Hooke (para o estado uniaxial de tensões) pode ser aplicada:

$$\sigma_x = E\varepsilon_x$$

- Daí:

$$\varepsilon_x = -\frac{y}{c}\varepsilon_m$$



$$E\varepsilon_x = -\frac{y}{c}(E\varepsilon_m)$$

# Tensões e deformações no regime elástico

- Se o momento fletor  $M$  tem valor tal que as tensões normais se mantêm abaixo do limite de proporcionalidade e do limite de elasticidade do material, a lei de Hooke (para o estado uniaxial de tensões) pode ser aplicada:

$$\sigma_x = E\varepsilon_x$$

- Daí:

$$\varepsilon_x = -\frac{y}{c}\varepsilon_m$$



$$E\varepsilon_x = -\frac{y}{c}(E\varepsilon_m)$$

- Como,  $\sigma_m = E\varepsilon_m$

- Então:  $\sigma_x = -\frac{y}{c}\sigma_m$

# Tensões e deformações no regime elástico

- Se o momento fletor  $M$  tem valor tal que as tensões normais se mantêm abaixo do limite de proporcionalidade e do limite de elasticidade do material, a lei de Hooke (para o estado uniaxial de tensões) pode ser aplicada:

$$\sigma_x = E\varepsilon_x$$

- Daí:

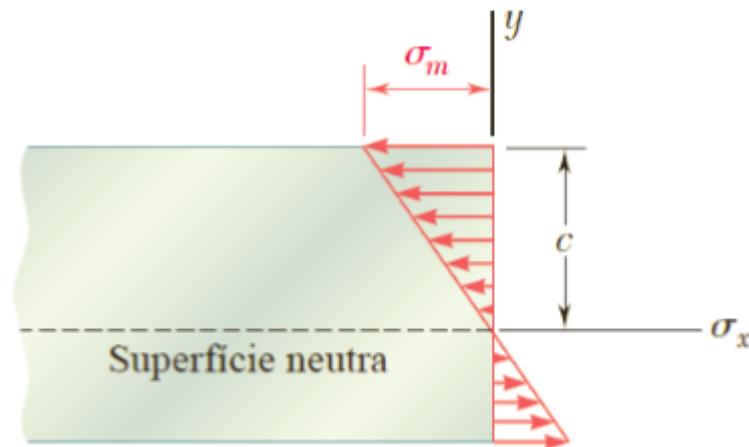
$$\varepsilon_x = -\frac{y}{c}\varepsilon_m$$



$$E\varepsilon_x = -\frac{y}{c}(E\varepsilon_m)$$

- Como,  $\sigma_m = E\varepsilon_m$

- Então:  $\sigma_x = -\frac{y}{c}\sigma_m$

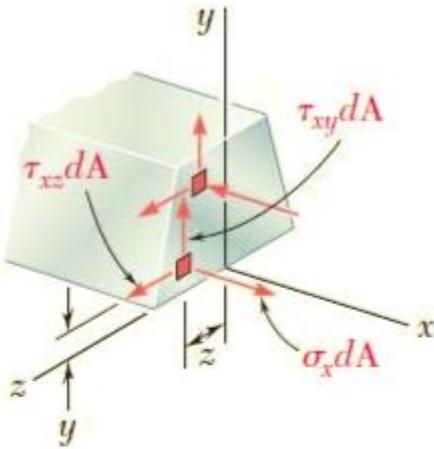


*A tensão normal varia linearmente com a distância à superfície neutra!*

# Tensões e deformações no regime elástico

Determinando a posição da superfície neutra e o valor máximo da tensão normal:

- Pelas condições da estática, temos:



$$\Sigma F_x = 0 \quad \int \sigma_x dA = 0$$

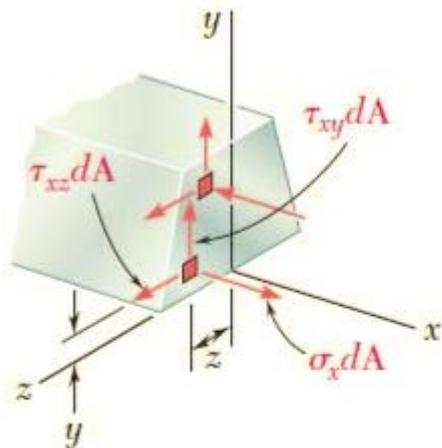
$$\Sigma M_y = 0 \quad \int z \sigma_x dA = 0$$

$$\Sigma M_z = M \quad \int (-y \sigma_x) dA = M$$

# Tensões e deformações no regime elástico

Determinando a posição da superfície neutra e o valor máximo da tensão normal:

- Pelas condições da estática, temos:



$$\int \sigma_x dA = \int \left( -\frac{y}{c} \sigma_m \right) dA = -\frac{\sigma_m}{c} \int y dA = 0$$
$$\int y dA = 0$$

$$\Sigma F_x = 0 \quad \int \sigma_x dA = 0$$

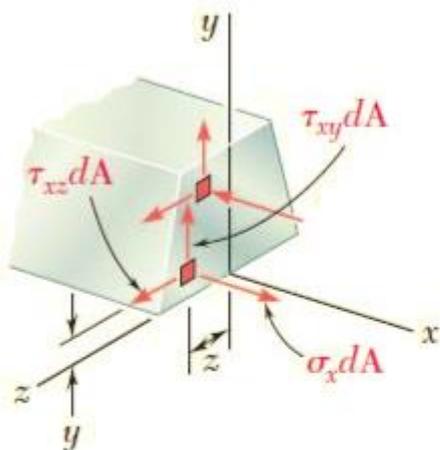
$$\Sigma M_y = 0 \quad \int z \sigma_x dA = 0$$

$$\Sigma M_z = M \quad \int (-y \sigma_x) dA = M$$

# Tensões e deformações no regime elástico

Determinando a posição da superfície neutra e o valor máximo da tensão normal:

- Pelas condições da estática, temos:



$$\int \sigma_x dA = \int \left( -\frac{y}{c} \sigma_m \right) dA = -\frac{\sigma_m}{c} \int y dA = 0$$

(Momento estático de área)  $\int y dA = 0$

*Isso significa que, para barras submetidas à flexão pura (dentro do regime elástico linear) a linha neutra passa pelo centro geométrico da seção.*

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\int \sigma_x dA = 0$$

$$\Sigma M_y = 0$$

$$\int z \sigma_x dA = 0$$

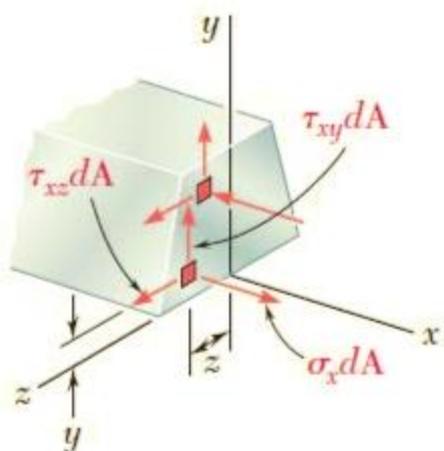
$$\Sigma M_z = M$$

$$\int (-y \sigma_x) dA = M$$

# Tensões e deformações no regime elástico

**Determinando a posição da superfície neutra e o valor máximo da tensão normal:**

- Pelas condições da estática, temos:



$$\int (-y) \left( -\frac{y}{c} \sigma_m \right) dA = M$$

$$\frac{\sigma_m}{c} \underbrace{\int y^2 dA}_{I} = M$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\int \sigma_x dA = 0$$

$$\Sigma M_y = 0$$

$$\int z \sigma_x dA = 0$$

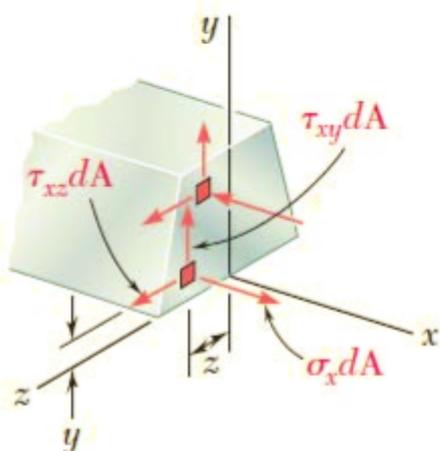
$$\Sigma M_z = M$$

$$\int (-y \sigma_x) dA = M$$

# Tensões e deformações no regime elástico

Determinando a posição da superfície neutra e o valor máximo da tensão normal:

- Pelas condições da estática, temos:



$$\int (-y) \left( -\frac{y}{c} \sigma_m \right) dA = M$$

$$\frac{\sigma_m}{c} \int y^2 dA = M$$

**Momento de inércia  $I$**  da seção transversal em relação à linha neutra!

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\int \sigma_x dA = 0$$

$$\Sigma M_y = 0$$

$$\int z \sigma_x dA = 0$$

$$\Sigma M_z = M$$

$$\int (-y \sigma_x) dA = M$$

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma_x = -\frac{My}{I}$$

***Fórmulas da flexão em regime elástico.***



# Tensões e deformações no regime elástico

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I}$$

- A relação  $I/c$  só depende da geometria da seção transversal, e é denominada *módulo resistente ou momento resistente*,  $W$ :

$$\text{Módulo resistente} = \frac{I}{c}$$

# Tensões e deformações no regime elástico

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I}$$

- A relação  $I/c$  só depende da geometria da seção transversal, e é denominada *módulo resistente ou momento resistente*,  $W$ :

$$\text{Módulo resistente} = \frac{I}{c}$$

$$\sigma_m = \frac{M}{W}$$

- A tensão máxima é inversamente proporcional a  $W$ ;
- Uma viga deve ser projetada com o maior valor de  $W$  possível.

# Tensões e deformações no regime elástico

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I}$$

- A relação  $I/c$  só depende da geometria da seção transversal, e é denominada *módulo resistente ou momento resistente*,  $W$ :

$$\text{Módulo resistente} = \frac{I}{c}$$

$$\sigma_m = \frac{M}{W}$$

- A tensão máxima é inversamente proporcional a  $W$ ;
- Uma viga deve ser projetada com o maior valor de  $W$  possível.

- **Exemplo:** para seção retangular, temos:

$$W = \frac{I}{c} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{h/2} = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6}Ah$$

# Tensões e deformações no regime elástico

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I}$$

- A relação  $I/c$  só depende da geometria da seção transversal, e é denominada *módulo resistente ou momento resistente*,  $W$ :

$$\text{Módulo resistente} = \frac{I}{c}$$

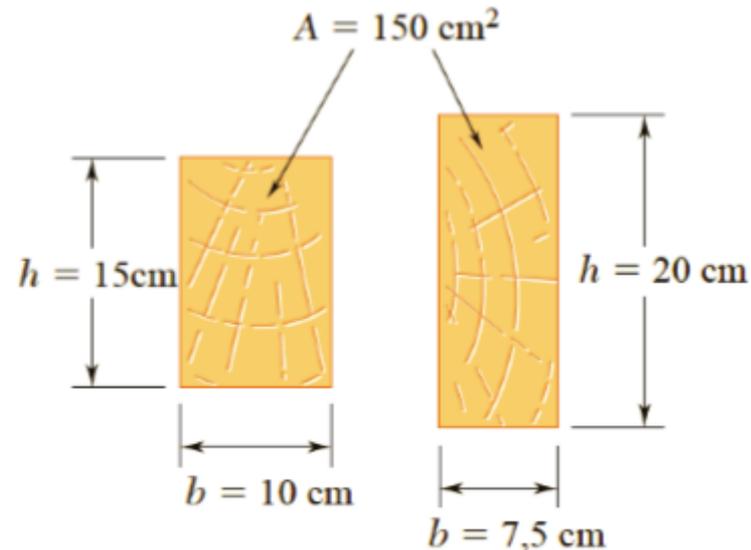
$$\sigma_m = \frac{M}{W}$$

- A tensão máxima é inversamente proporcional a  $W$ ;
- Uma viga deve ser projetada com o maior valor de  $W$  possível.

- **Exemplo:** para seção retangular, temos:

$$W = \frac{I}{c} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{h/2} = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6}Ah$$

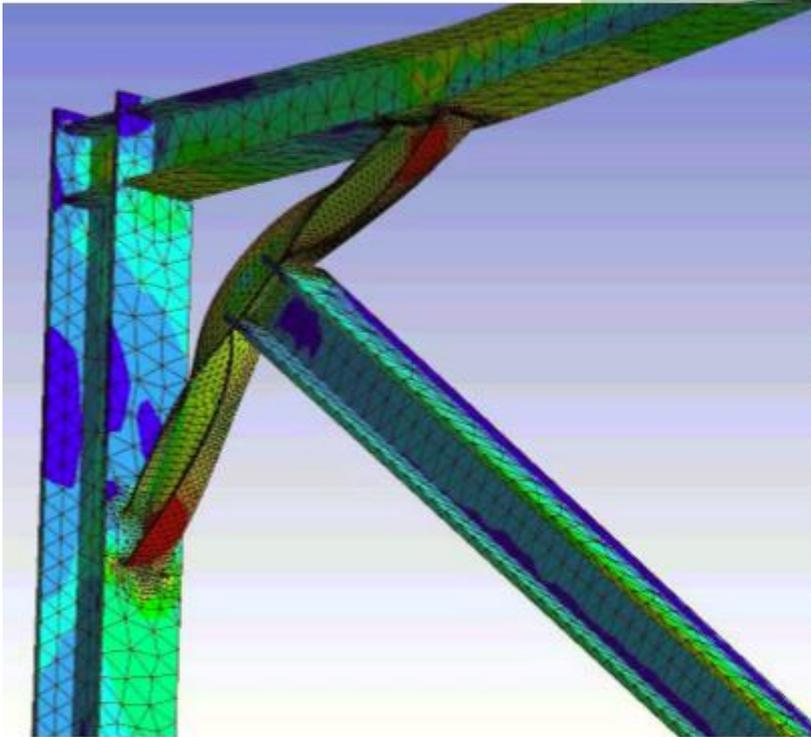
*Qual das duas vigas ao lado trabalha melhor à flexão?*



# Tensões e deformações no regime elástico



# Tensões e deformações no regime elástico



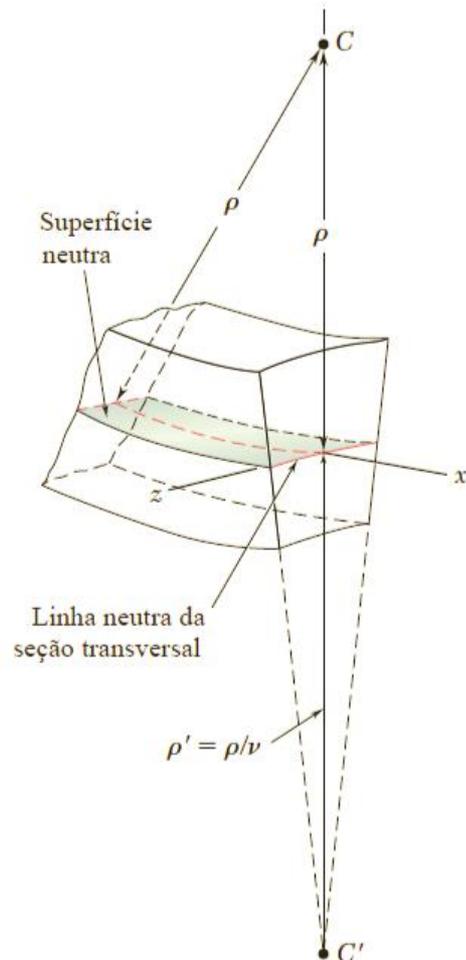
# Tensões e deformações no regime elástico

- A deformação da barra submetida à flexão é medida pela *curvatura* da superfície neutra, que é o inverso do raio de curvatura ( $1/\rho$ );
- Dentro do regime elástico, temos:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\sigma_m}{Ec} = \frac{1}{Ec} \frac{Mc}{I}$$



$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}$$



# Exemplo 1 (exemplo 4.1, Beer)

- *Uma barra de aço tem seção retangular de 20x60mm e é submetida à ação de dois momentos iguais e de sentido contrário que agem em um plano vertical de simetria da barra. Determinar o valor do momento  $M$  que provoca escoamento do material da barra. Adotar  $\sigma_e = 250 \text{ MPa}$ .*



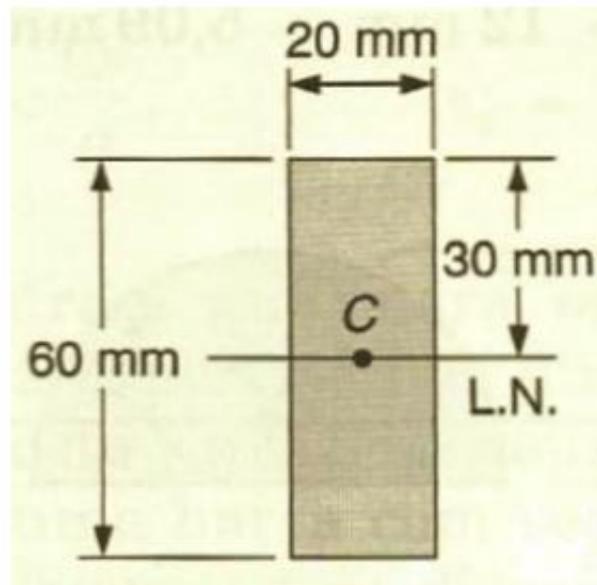
# Exemplo 1 (exemplo 4.1, Beer)

## Exemplo 1

Como o eixo neutro deve passar pelo centróide  $C$  da seção transversal,  $c=30 \times 10^{-3} \text{ m}$ .

O momento de inércia da área da seção em relação à linha neutra é:

$$I = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1}{12} (20 \times 10^{-3}) (60 \times 10^{-3})^3 = 360 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$



# Exemplo 1 (exemplo 4.1, Beer)

## Exemplo 1

Dado o momento de inércia, podemos calcular o momento  $M$ :

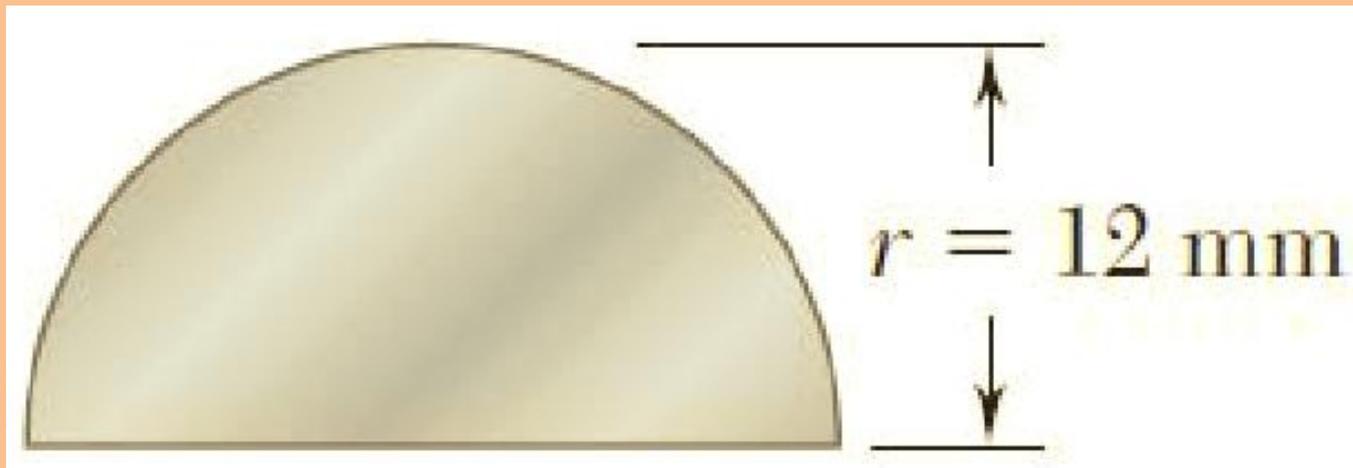
$$M = \frac{I}{c} \sigma_m = \frac{360 \times 10^{-9}}{30 \times 10^{-3}} (250 \times 10^6)$$

$$M = 3000 \text{ N} \cdot \text{m} = 3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



## Exemplo 2 (exemplo 4.2, Beer)

- *Uma barra de alumínio tem seção transversal em forma de semicírculo, com raio  $r=12\text{mm}$ . A barra é flexionada até se deformar em um arco de circunferência de raio médio  $\rho=2,5\text{m}$ . Sabendo-se que a face plana da barra fica voltada para o centro de curvatura do arco, determinar a máxima tensão de tração e de compressão na barra. Adotar  $E=70\text{GPa}$ .*



# Exemplo 2 (exemplo 4.2, Beer)

## Exemplo 2



### Primeira opção:

Determinar o momento fletor  $M$ , correspondente ao raio de curvatura dado:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}$$

Determinar  $\sigma_m$ :

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I}$$

### Segunda opção:

Calcular  $\varepsilon_m$ :

$$\varepsilon_m = \frac{c}{\rho}$$

*Nos dois casos temos que determinar primeiro o valor de  $c$ .*

Determinar a tensão pela Lei de Hooke:

$$\sigma_x = E\varepsilon_x$$

# Exemplo 2 (exemplo 4.2, Beer)

## Exemplo 2

A ordenada  $y$  do centróide  $C$  da seção semicircular é:

$$\bar{y} = \frac{4r}{3\pi} = \frac{4(12 \text{ mm})}{3\pi} = 5.093 \text{ mm}$$

Então:

$$c = r - \bar{y} = 12 \text{ mm} - 5.093 \text{ mm} = 6.907 \text{ mm}$$

Daí:

$$\epsilon_m = \frac{c}{\rho} = \frac{6.907 \times 10^{-3} \text{ m}}{2.5 \text{ m}} = 2.763 \times 10^{-3}$$

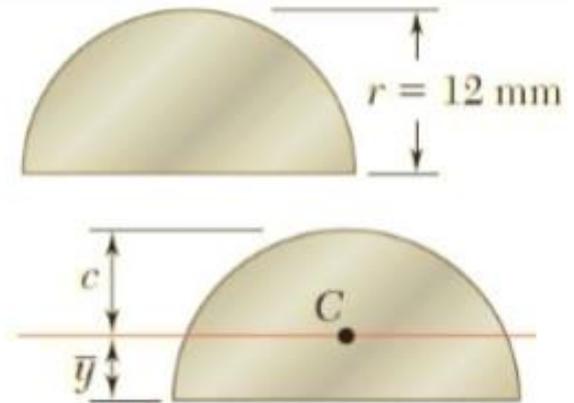
E, aplicando a Lei de Hooke:

$$\sigma_m = E\epsilon_m = (70 \times 10^9 \text{ Pa})(2.763 \times 10^{-3}) = 193.4 \text{ MPa}$$

Como o lado da barra analisado está voltado para fora do centro de curvatura, a tensão calculada é de tração. A máxima tensão de compressão ocorre no lado plano da barra.

*Levando em conta que a tensão é proporcional à distância à linha neutra...*

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{comp}} &= -\frac{\bar{y}}{c}\sigma_m = -\frac{5.093 \text{ mm}}{6.907 \text{ mm}}(193.4 \text{ MPa}) \\ &= -142.6 \text{ MPa}\end{aligned}$$



# Vigas de concreto armado sob flexão pura

# Vigas de **Concreto Armado** sob flexão pura



CONCRETO



AÇO

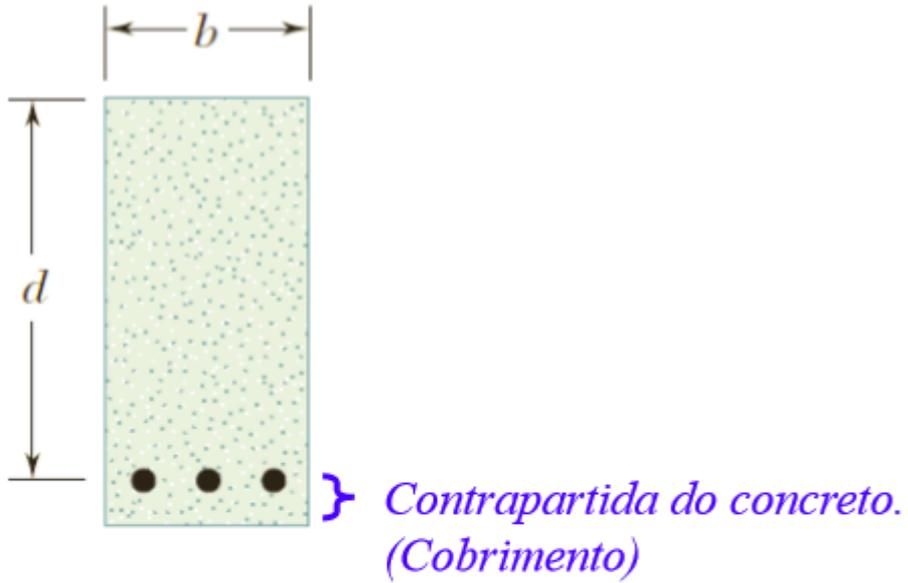
- Aproveitar melhor as características dos materiais;
- Diminuir custos;
- Evitar estruturas sem “aviso prévio”.

Coeficientes de dilatação térmica muito próximos:

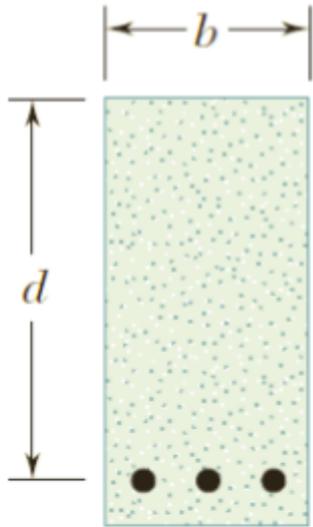
*Aço:  $1,2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$*

*Concreto: da ordem de  $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$*

# Vigas de concreto armado sob flexão pura

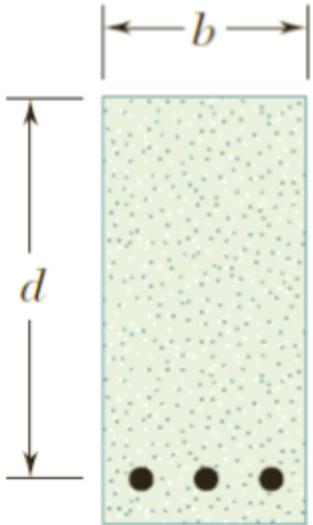


# Vigas de concreto armado sob flexão pura



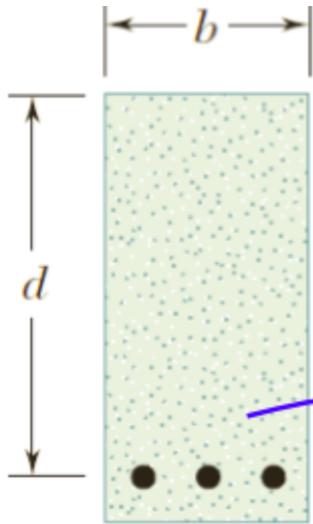
- Como iremos obter a seção transformada de uma viga de concreto armado?

# Vigas de concreto armado sob flexão pura



- Como iremos obter a seção transformada de uma viga de concreto armado?
  - Através da substituição da área das barras de aço,  $A_a$ , por uma área equivalente de concreto  $nA_a$ , onde  $n$  é igual a  $E_a/E_c$ .

# Vigas de concreto armado sob flexão pura

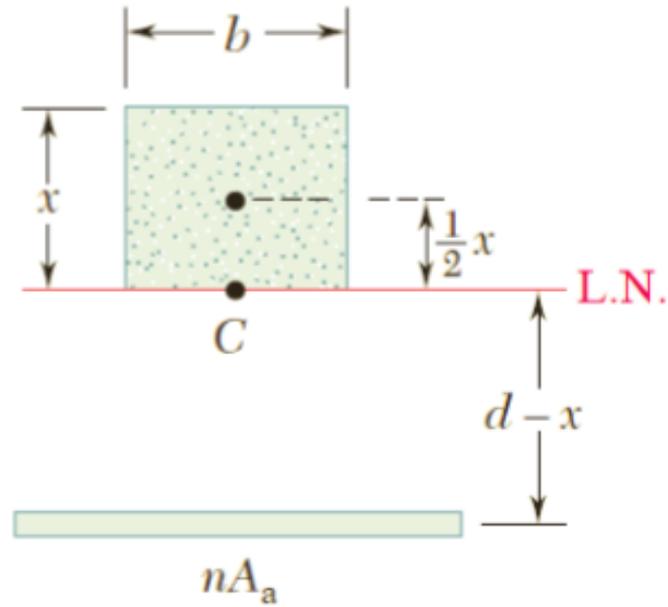
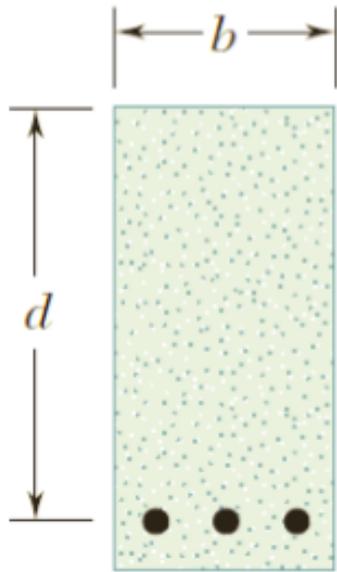


## DETALHE:

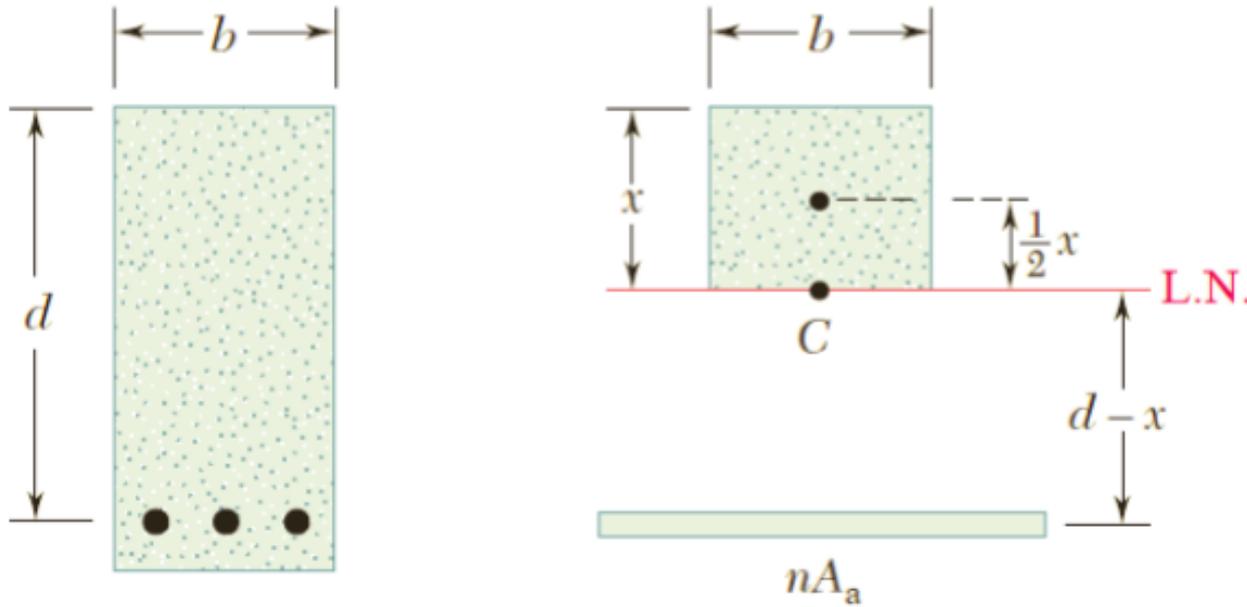
*Desprezamos a contribuição da parcela de concreto tracionada (simplificação a favor da segurança).*

- Como iremos obter a seção transformada de uma viga de concreto armado?
  - Através da substituição da área das barras de aço,  $A_a$ , por uma área equivalente de concreto  $nA_a$ , onde  $n$  é igual a  $E_a/E_c$ .

# Vigas de concreto armado sob flexão pura



# Vigas de concreto armado sob flexão pura



- O momento estático da seção transformada em relação à linha neutra deve ser nulo, então:

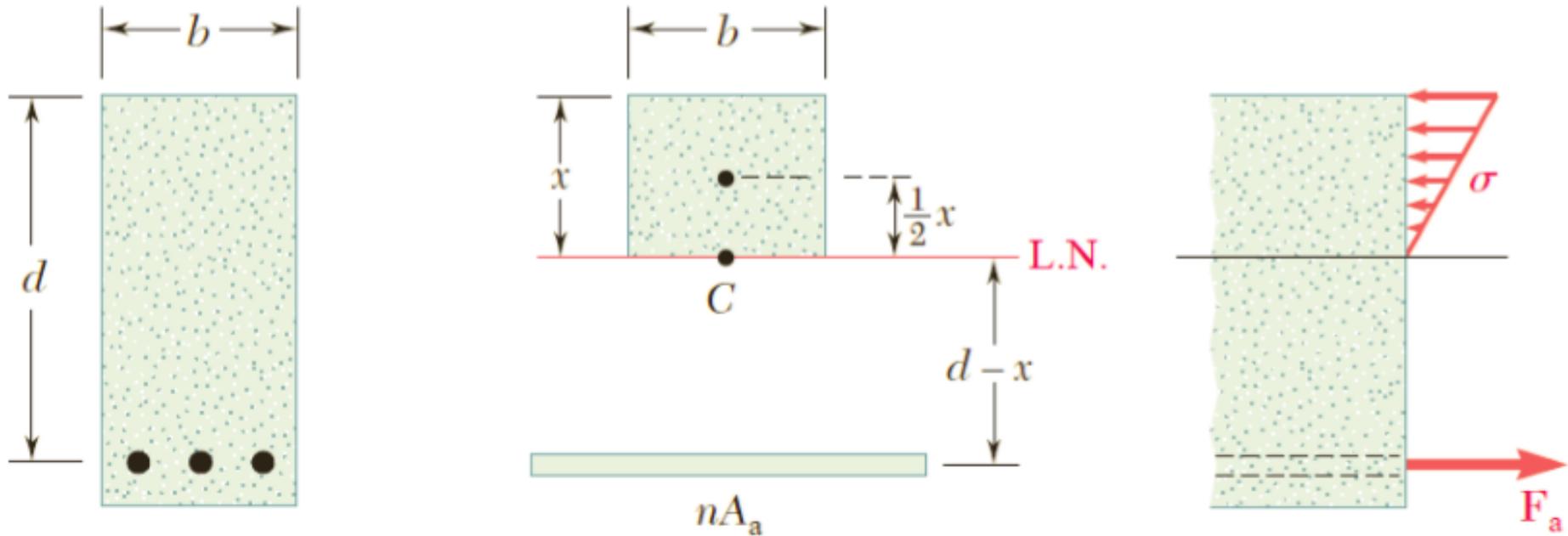
$$(bx) \frac{x}{2} - nA_a(d - x) = 0$$



$$\frac{1}{2}bx^2 + nA_ax - nA_ad = 0$$

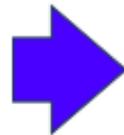
*Permite determinar a posição da linha neutra.*

# Vigas de concreto armado sob flexão pura



- O momento estático da seção transformada em relação à linha neutra deve ser nulo, então:

$$(bx) \frac{x}{2} - nA_a (d - x) = 0$$



$$\frac{1}{2}bx^2 + nA_ax - nA_ad = 0$$

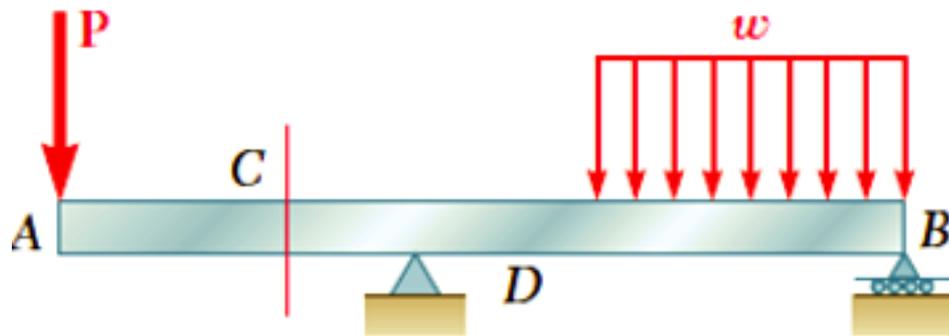
*Permite determinar a posição da linha neutra.*

# Deformações em uma barra simétrica na FLEXÃO SIMPLES

# FLEXÃO SIMPLES

➤ **FLEXÃO SIMPLES:** Atua na seção o momento *Fletor* e o esforço *cortante*. (MECÂNICA DOS SÓLIDOS 3)

**Tensão Normal gerada pela Flexão**



$$\sigma_x = \frac{-My}{I}$$

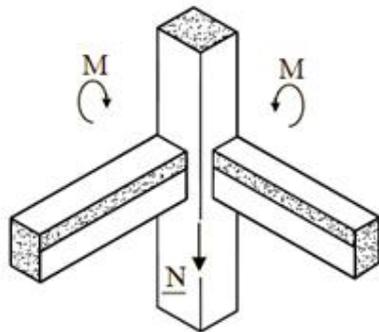
$$\tau_{xy} = -\frac{VQ}{It}$$

**Tensão Cisalhante devido ao esforço cortante**

# Deformações em uma barra simétrica na FLEXÃO COMPOSTA

# FLEXÃO SIMPLES

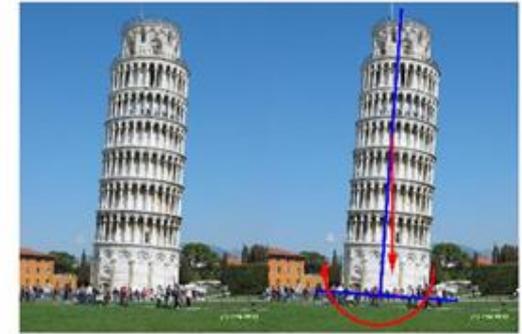
➤ **COMPOSTA:** Atua na seção o momento *Fletor* e o esforço *Normal*. (MECÂNICA DOS SÓLIDOS 3)



PILAR DE CANTO



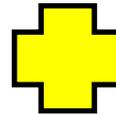
VIGA PROTENDIDA



SAPATAS COM CARGAS EXCÊNTRICAS

$$\sigma_x = -\frac{My}{I}$$

*Tensão devido a Flexão*



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

*Tensão devido Tração/Compressão*

...

**CONTINUA EM MECÂNICA 3**