

**uff** - UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

**ESCOLA DE ENGENHARIA INDUSTRIAL METALÚRGICA DE VOLTA REDONDA**  
**PROFESSORA: SALETE SOUZA DE OLIVEIRA BUFFONI**  
**DISCIPLINA: RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS**

## **Deformação**

## DEFINIÇÃO

Deformação é a mudança na forma e tamanho de um corpo quando uma força é aplicada no mesmo.

A deformação pode ser:

**Visível:** Exemplo: Esticamento de uma tira de borracha

**Imperceptível:** Exemplo: Edifício sendo ocupado por pessoas movimentando-se

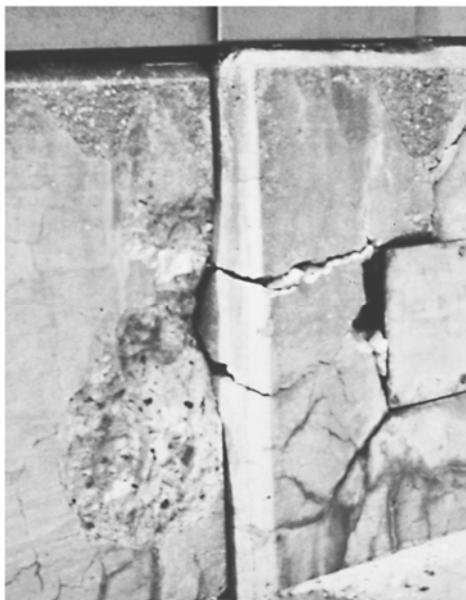


Figura 1 - A tensão excessiva em materiais frágeis como este encontro de ponte de concreto pode provocar sua deformação até a ruptura. Pela medição da deformação, os engenheiros podem prever a tensão do material.

Medida da deformação na prática: Realizam-se experimentos

**Deformação normal:** É o alongamento ou a contração de um segmento de reta por unidade de comprimento.

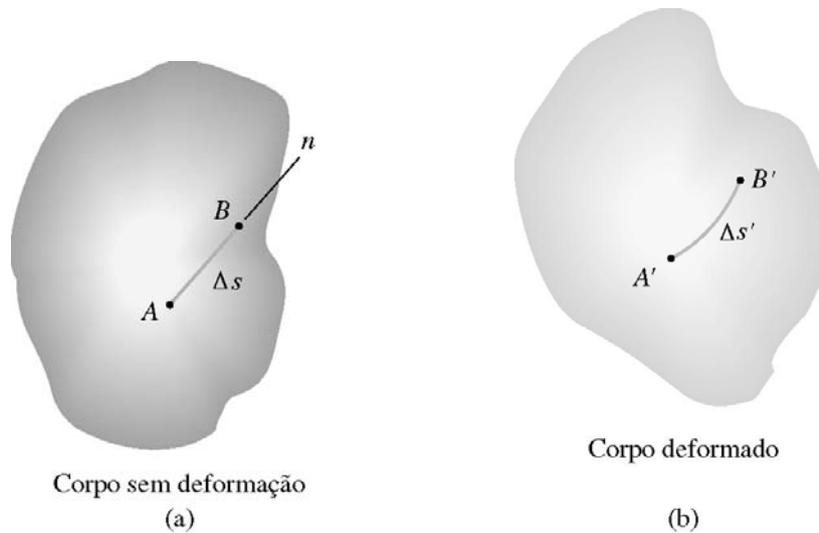


Figura 2 - Deformação normal

**Deformação Normal Média:**

$$\varepsilon_{méd} = \frac{\Delta s' - \Delta s}{\Delta s} \quad (1)$$

Onde:

$\Delta s$  - Comprimento inicial

$\Delta s'$  - Comprimento após a deformação

A deformação no ponto **A** na direção de  $n$  é

$$\varepsilon = \lim_{B \rightarrow A \text{ eixo } n} \frac{\Delta s' - \Delta s}{\Delta s} \quad (2)$$

Se a deformação normal for conhecida, podemos utilizar a equação (2) para obter o comprimento final aproximado, da seguinte forma:

$$\Delta s' \approx (1 + \varepsilon)\Delta s \quad (3)$$

**Casos**

Se  $\varepsilon > 0$  a reta inicial alonga-se

Se  $\varepsilon < 0$  a reta inicial contrai-se

**Unidades:** A deformação normal é uma grandeza adimensional por que é a relação entre dois comprimentos. SI (m/m).

Na maioria das aplicações de engenharia,  $\varepsilon$  é muito pequena e pode ser dada em  $\mu m / m = 10^{-6} m / m$ .

No sistema Pés-Libras-segundo (pol/pol)

No trabalho experimental: exemplo:  $0,001m/m = 0,1 \%$

**Deformação por Cisalhamento:** É a mudança de ângulo ocorrida entre dois segmentos de reta originalmente perpendiculares entre si. O ângulo é denotado por  $\gamma$  e medido em radianos.

$$\gamma_{nt} = \frac{\pi}{2} - \lim_{\substack{B \rightarrow A \text{ eixo } n \\ C \rightarrow A \text{ eixo } t}} \theta' \quad (3)$$

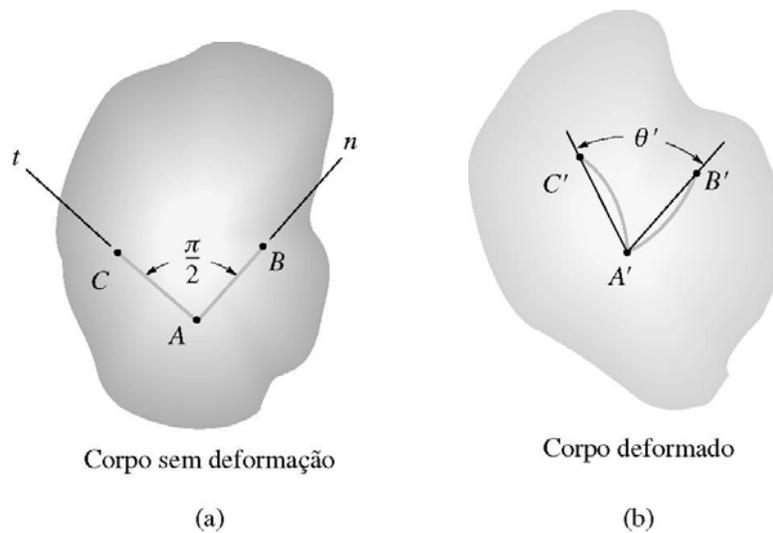


Figura 3 - Deformação por cisalhamento

$\theta' < \frac{\pi}{2}$ ; A deformação por cisalhamento é positiva.

$\theta' > \frac{\pi}{2}$ ; A deformação por cisalhamento é negativa.

## Componentes Cartesianos da Deformação

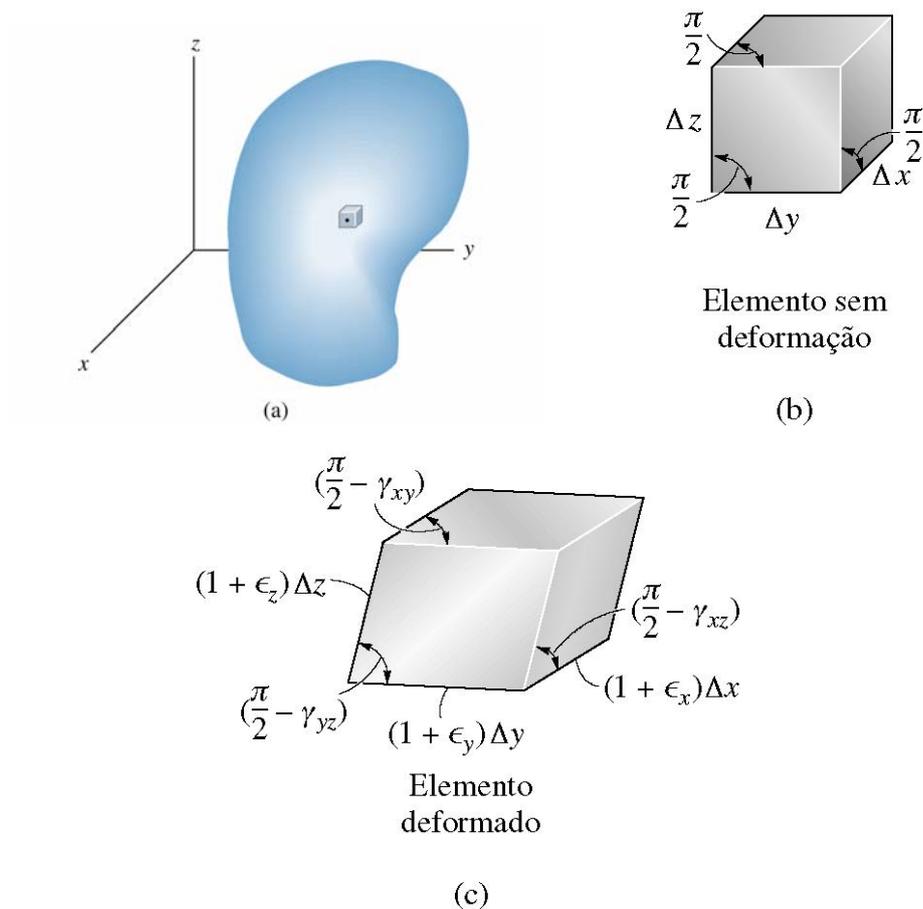


Figura 4 - Componentes cartesianos da deformação

### Suposições:

- 1- Dimensões do elemento retangular muito pequena (Figura 4.b), seu formato deformado será um paralelepípedo (Figura 4.c)
- 2- Segmentos de reta muito pequenos permanecem retos após a deformação do corpo

Os comprimentos aproximados dos lados do paralelepípedo são:

$$(1 + \varepsilon_x)\Delta x \quad (1 + \varepsilon_y)\Delta y \quad (1 + \varepsilon_z)\Delta z \quad (4)$$

Os ângulos aproximados entre os lados, originalmente definidos pelos lados  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  e  $\Delta z$ , são:

$$\frac{\pi}{2} - \gamma_{xy} \quad \frac{\pi}{2} - \gamma_{yz} \quad \frac{\pi}{2} - \gamma_{xz} \quad (5)$$

### Observações:

- 1- Deformações normais provocam mudança de volume do elemento retangular
- 2- Deformações por cisalhamento provocam mudança no seu formato.

O estado de deformação em um ponto é caracterizado por seis componentes da deformação: Três deformações normais  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$  e  $\varepsilon_z$  e três deformações por cisalhamento  $\gamma_{xy}$ ,  $\gamma_{yz}$  e  $\gamma_{xz}$ . Esses componentes dependem da orientação dos segmentos de reta e de sua localização no corpo.

**Análise de pequenas deformações:** A maioria dos materiais da engenharia sofre pequenas deformações e desse modo, a deformação normal  $\varepsilon \ll 1$ .

### Exercícios:

- 1- A haste delgada apresentada na Figura 5 está submetida a um aumento de temperatura ao longo de seu eixo, o que cria uma deformação normal na haste de  $\varepsilon_z = 40(10^{-3})z^{1/2}$ , em que  $z$  é dado em metros. Determinar (a) O deslocamento da extremidade  $B$  da haste devido ao aumento de temperatura e (b) a deformação normal média da haste.

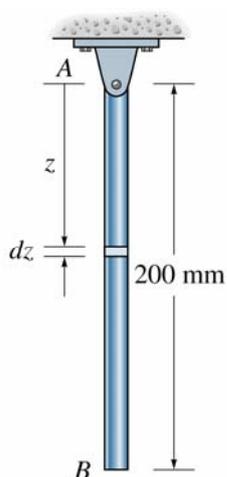


Figura 5.

Resposta: a)  $\Delta_B = 2,39 \text{ mm} \downarrow$  b)  $\varepsilon_{med} = 0,0119 \text{ mm/mm}$

2- A chapa é deformada, ficando com o formato tracejado da Figura 6.a . Se nesse formato deformado as linhas horizontais da chapa permanecerem horizontais e não mudarem seu comprimento, determinar (a) a deformação normal média ao longo de  $AB$  e (b) a deformação por cisalhamento média da chapa em relação aos eixos  $x$  e  $y$  .

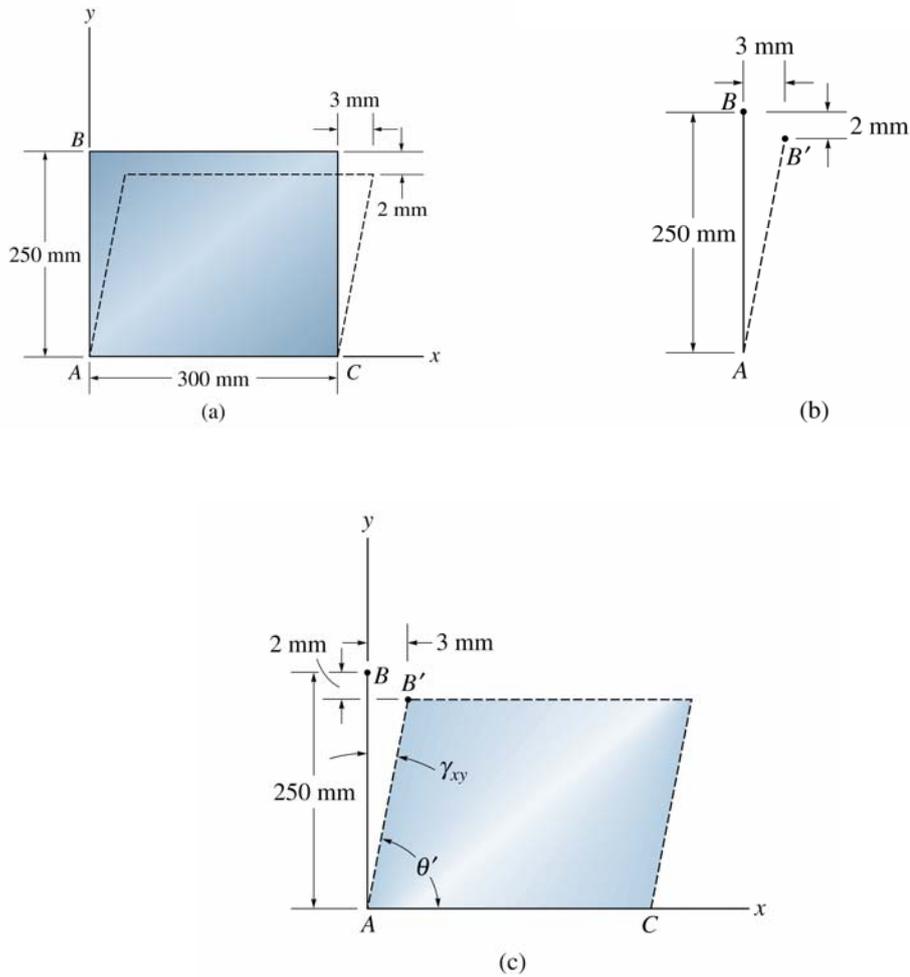


Figura 6.

Resposta: a)  $(\varepsilon_{AB})_{méd} = -7,93(10^{-3}) \text{ mm/mm}$  b)  $\gamma_{xy} = 0,0121 \text{ rad}$

Referências Bibliográficas:

1. BEER, F.P. e JOHNSTON, JR., E.R. <b>Resistência dos Materiais</b> , 3.º Ed., Makron Books, 1995.
2. Gere, J. M. <b>Mecânica dos Materiais</b> , Editora Thomson Learning
3. HIBBELER, R.C. <b>Resistência dos Materiais</b> , 3.º Ed., Editora Livros Técnicos e Científicos, 2000.

**Observações:**

- 1- O presente texto é baseado nas referências citadas.
- 2- Todas as figuras se encontram no livro do Hibbeler..