

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

QUINTA LISTA DE EXERCÍCIOS

GETHER FILIPE PITA DRUMOND

(matrícula- 2015207732)

Trabalho apresentado à disciplina de Resistência dos materiais, ministrada pelo Dr. Fernando César Meira Menandro, do Graduação de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Espírito Santo.

Vitória-ES

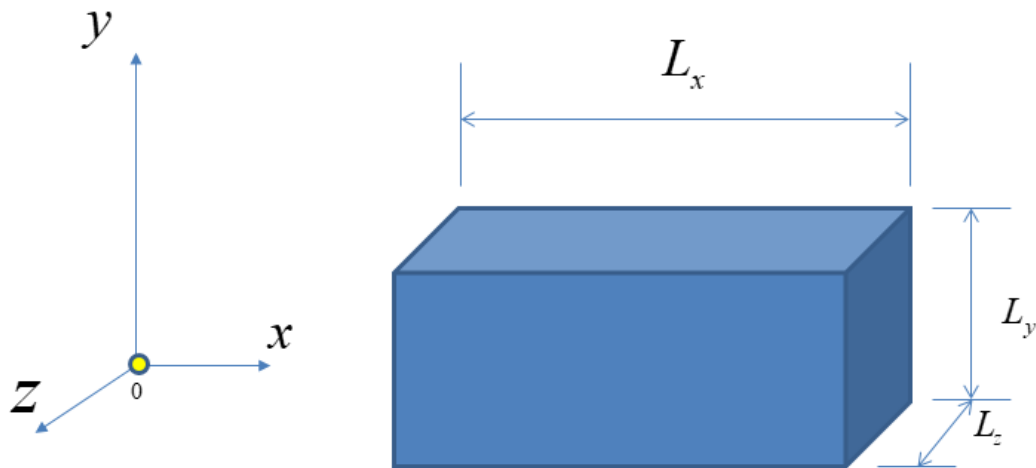
2021

Problema 5.1

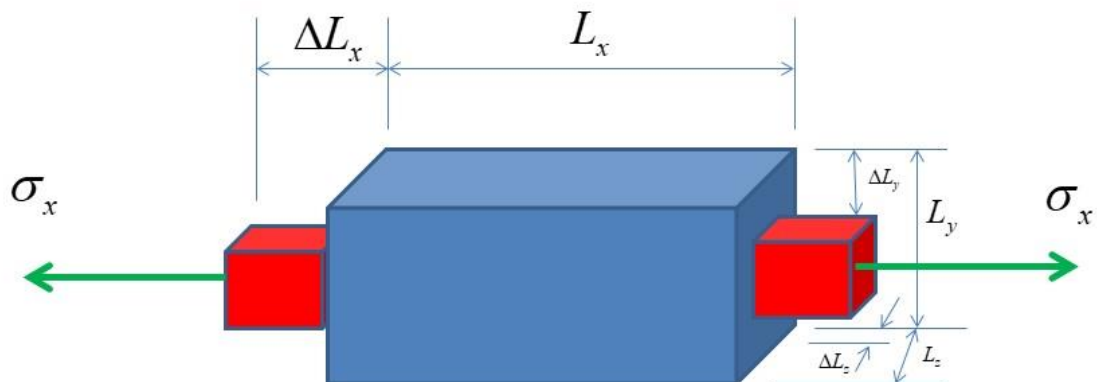
Elabore um exemplo que ajudaria, na sua opinião, na fixação dos conceitos estudados neste capítulo.

- Resolução:

Considerando-se um elemento tridimensional solicitado segundo as direções principais:



a) Aplicando-se apenas a tensão σ_x :



$$\left. \begin{array}{l}
 \text{Equação-1a} \\
 \boxed{\varepsilon_x = \frac{\Delta L_x}{L_x}} \\
 \text{Equação-2a} \\
 \boxed{\varepsilon_y = \frac{-\Delta L_y}{L_y}} \\
 \text{Equação-3a} \\
 \boxed{\varepsilon_z = \frac{-\Delta L_z}{L_z}}
 \end{array} \right\} \rightarrow \boxed{\text{razão - de - deformação } (\nu) = \frac{\text{deformação - Lateral } (-)}{\text{deformação - axial } (+)}} \left. \begin{array}{l}
 \text{Equação-5a} \\
 \boxed{\nu = \frac{-\varepsilon_y}{\varepsilon_x}} \\
 \text{Equação-6a} \\
 \boxed{\nu = \frac{-\varepsilon_z}{\varepsilon_x}}
 \end{array} \right\}$$

I-a) E, igualando-se a equação-1a na equação-7a, obtém-se a equação-9a:

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{Equação-1a} \\
 \boxed{\varepsilon_x = \frac{\Delta L_x}{L_x}} \\
 \text{Equação-7a} \\
 \boxed{\sigma_x = \varepsilon_x * E}
 \end{array} \right\} \rightarrow \boxed{\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E}} \rightarrow \frac{\Delta L_x}{L_x} = \frac{\sigma_x}{E} \rightarrow \boxed{\Delta L_x = \frac{L_x * \sigma_x}{E}} \text{Equação-9a}$$

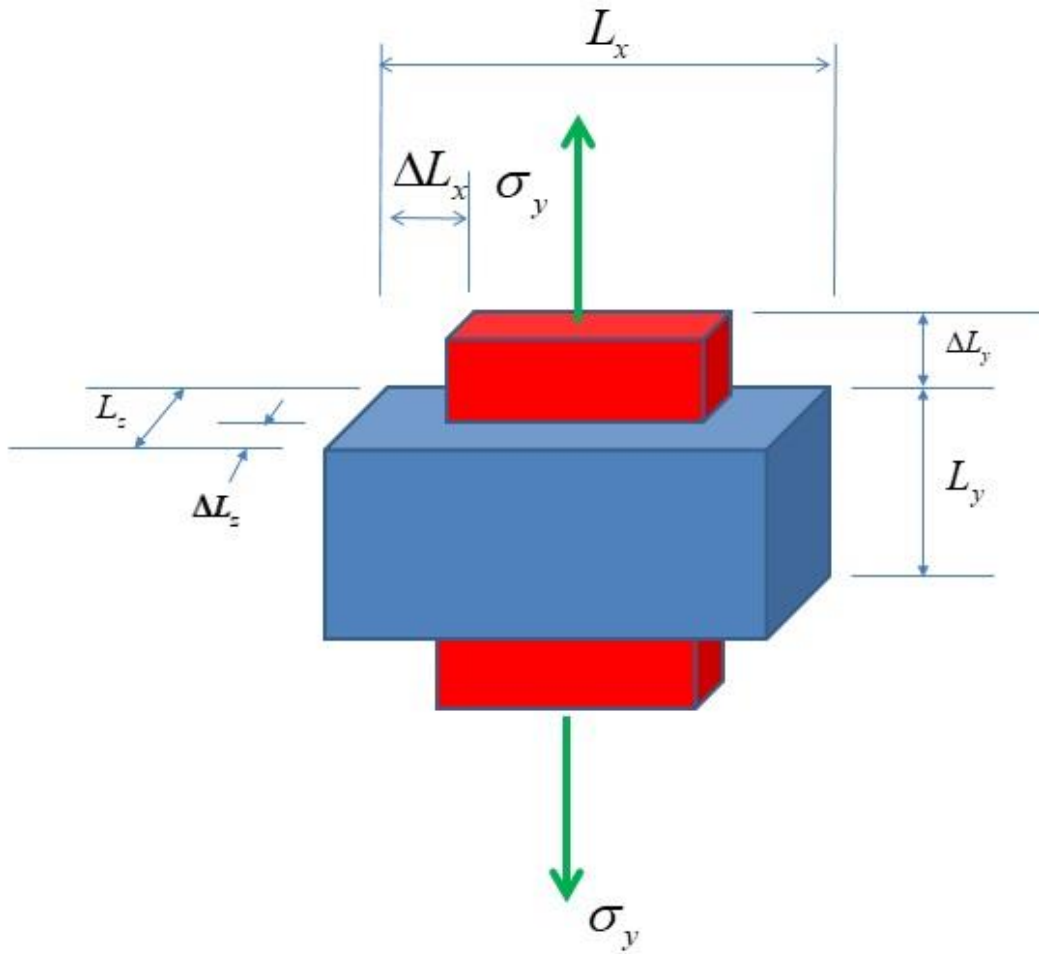
II-a) E, substituindo-se a equação-2a e a equação-1a na equação-5a, obtém-se a equação-10a:

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{Equação-5a} \\
 \boxed{\nu = \frac{-\varepsilon_y}{\varepsilon_x}}
 \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{Eq.-2a/Eq.-1a}} \nu = \frac{-\frac{\Delta L_y}{L_y}}{\frac{\Delta L_x}{L_x}} \xrightarrow{\text{Eq.-8a}} \nu = \frac{-\frac{\Delta L_y}{L_y}}{\frac{\sigma_x}{E}} * \frac{E}{\sigma_x} \rightarrow \nu = \frac{-\Delta L_y}{L_y} * \frac{E}{\sigma_x} \therefore \boxed{\Delta L_y = \frac{-\nu L_y * \sigma_x}{E}} \text{Equação-10a}$$

III-a) E, substituindo-se a equação-3a e a equação-1a na equação-6a, obtém-se a equação-11a:

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{Equação-6a} \\
 \boxed{\nu = \frac{-\varepsilon_z}{\varepsilon_x}}
 \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{Eq.-3a/Eq.-1a}} \nu = \frac{-\frac{\Delta L_z}{L_z}}{\frac{\Delta L_x}{L_x}} \xrightarrow{\text{Eq.-8a}} \nu = \frac{-\frac{\Delta L_z}{L_z}}{\frac{\sigma_x}{E}} * \frac{E}{\sigma_x} \rightarrow \nu = \frac{-\Delta L_z}{L_z} * \frac{E}{\sigma_x} \therefore \boxed{\Delta L_z = \frac{-\nu L_z * \sigma_x}{E}} \text{Equação-11a}$$

b) Aplicando-se apenas a tensão σ_y :



Equação-1b

$$\epsilon_x = \frac{-\Delta L_x}{L_x}$$

Equação-2b

$$\epsilon_y = \frac{\Delta L_y}{L_y}$$

Equação-3b

$$\epsilon_z = \frac{-\Delta L_z}{L_z}$$

Equação-4b

$$\text{razão - de - deformação } (\nu) = \frac{\text{deformação - Lateral } (-)}{\text{deformação - axial } (+)}$$

Equação-5b

$$\nu = \frac{-\epsilon_x}{\epsilon_y}$$

Equação-6b

$$\nu = \frac{-\epsilon_z}{\epsilon_y}$$

I-b) E, igualando-se a equação-1b na equação-7b, obtém-se a equação-9b:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Equação-1b} \\ \boxed{\varepsilon_y = \frac{\Delta L_y}{L_y}} \\ \\ \text{Equação-7b} \\ \boxed{\sigma_y = \varepsilon_y * E} \end{array} \right\} \rightarrow \frac{\Delta L_y}{L_y} = \frac{\sigma_y}{E} \rightarrow \boxed{\text{Equação-9b}} \\ \Delta L_y = \frac{L_y * \sigma_y}{E}$$

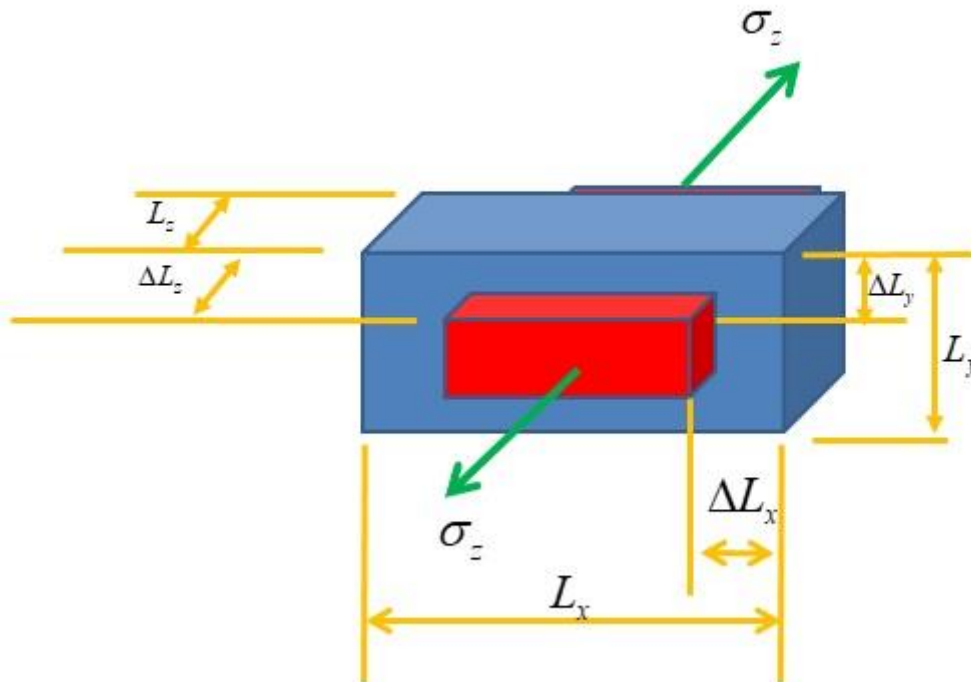
II-b) E, substituindo-se a equação-1b e a equação-2b na equação-5b, obtém-se a equação-10b:

$$\boxed{\text{Eq.-5b}} \quad \nu = \frac{-\varepsilon_x}{\varepsilon_y} \xrightarrow{\text{Eq.-1b/Eq.-2b}} \nu = \frac{\frac{-\Delta L_x}{L_x}}{\frac{\Delta L_y}{L_y}} \xrightarrow{\text{Eq.-8b}} \nu = \frac{\frac{-\Delta L_x}{L_x} * \frac{E}{\sigma_y}}{\frac{E}{\sigma_y}} \rightarrow \nu = \frac{-\Delta L_x}{L_x} * \frac{E}{\sigma_y} \therefore \boxed{\text{Equação-10b}} \\ \Delta L_x = \frac{-\nu L_x * \sigma_y}{E}$$

III-b) E, substituindo-se a equação-3b e a equação-2b na equação-6b, obtém-se a equação-11b:

$$\boxed{\text{Eq.-6b}} \quad \nu = \frac{-\varepsilon_z}{\varepsilon_y} \rightarrow \nu = \frac{\frac{-\Delta L_z}{L_z}}{\frac{\Delta L_y}{L_y}} \rightarrow \nu = \frac{\frac{-\Delta L_z}{L_z} * \frac{E}{\sigma_y}}{\frac{E}{\sigma_y}} \rightarrow \nu = \frac{-\Delta L_z}{L_z} * \frac{E}{\sigma_y} \therefore \boxed{\text{Equação-11b}} \\ \Delta L_z = \frac{-\nu L_z * \sigma_y}{E}$$

c) Aplicando-se apenas a tensão σ_z :



$$\left. \begin{array}{l} \text{Eq.-1c} \\ \varepsilon_x = \frac{-\Delta L_x}{L_x} \\ \text{Eq.-2c} \\ \varepsilon_y = \frac{-\Delta L_y}{L_y} \\ \text{Eq.-3c} \\ \varepsilon_z = \frac{\Delta L_z}{L_z} \end{array} \right\}$$

$$\rightarrow \text{razão-de-deformação}(\nu) = \frac{\text{deformação - Lateral}(-)}{\text{deformação - axial}(+)} \quad \text{Eq.-4c}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Eq.-5c} \\ \nu = \frac{-\varepsilon_x}{\varepsilon_z} \\ \text{Eq.-6c} \\ \nu = \frac{-\varepsilon_y}{\varepsilon_z} \end{array} \right\}$$

I-c) E, igualando-se a equação-1c na equação-7c, obtém-se a equação-9c:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Eq.-1c} \\ \boxed{\varepsilon_z = \frac{\Delta L_z}{L_z}} \\ \\ \text{Eq.-7c} \\ \boxed{\sigma_z = \varepsilon_z * E} \end{array} \right\} \rightarrow \frac{\Delta L_z}{L_z} = \frac{\sigma_z}{E} \rightarrow \boxed{\text{Eq.-9c} \\ \Delta L_z = \frac{L_z * \sigma_z}{E}}$$

II-c) E, substituindo-se a equação-1c e a equação-3c na equação-5c, obtém-se a equação-10c:

$$\boxed{\text{Eq.-5c} \\ \nu = \frac{-\varepsilon_x}{\varepsilon_z}} \xrightarrow{\text{Eq.-1c/Eq.-3c}} \nu = \frac{-\frac{\Delta L_x}{L_x}}{\frac{\Delta L_z}{L_z}} \xrightarrow{\text{Eq.-8c}} \nu = \frac{-\frac{\Delta L_x}{L_x}}{\frac{\sigma_z}{E}} * \frac{E}{\sigma_z} \rightarrow \nu = \frac{-\Delta L_x}{L_x} * \frac{E}{\sigma_z} \therefore \boxed{\text{Eq.-10c} \\ \Delta L_x = \frac{-\nu L_x * \sigma_z}{E}}$$

III-c) E, substituindo-se a equação-2c e a equação-3c na equação-6c, obtém-se a equação-11c:

$$\boxed{\text{Eq.-6c} \\ \nu = \frac{-\varepsilon_y}{\varepsilon_z}} \xrightarrow{\text{Eq.-2c/Eq.-3c}} \nu = \frac{-\frac{\Delta L_y}{L_y}}{\frac{\Delta L_z}{L_z}} \xrightarrow{\text{Eq.-8c}} \nu = \frac{-\frac{\Delta L_y}{L_y}}{\frac{\sigma_z}{E}} * \frac{E}{\sigma_z} \rightarrow \nu = \frac{-\Delta L_y}{L_y} * \frac{E}{\sigma_z} \therefore \boxed{\text{Eq.-11c} \\ \Delta L_y = \frac{-\nu L_y * \sigma_z}{E}}$$

d) E, juntando-se as deformações de x, somando-se as equações (Eq.-9a, Eq.-10b e Eq.-10c), obtemos:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Equação-9a} \\ \boxed{\Delta L_x = \frac{L_x * \sigma_x}{E}} \\ \\ \text{Equação-10b} \\ \boxed{\Delta L_x = \frac{-\nu L_x * \sigma_y}{E}} \\ \\ \text{Eq.-10c} \\ \boxed{\Delta L_x = \frac{-\nu L_x * \sigma_z}{E}} \end{array} \right\} \rightarrow \frac{L_x * \sigma_x}{E} + \left(\frac{-\nu L_x * \sigma_y}{E} \right) + \left(\frac{-\nu L_x * \sigma_z}{E} \right) = \boxed{\frac{L_x * \sigma_x}{E} - \frac{\nu L_x * \sigma_y}{E} - \frac{\nu L_x * \sigma_z}{E}}$$

e) E, fazendo-se a superposição de efeitos:

$$\varepsilon_x = \left(\frac{\Delta L_x}{L_x} \right)_{\sigma_x} + \left(\frac{\Delta L_x}{L_x} \right)_{\sigma_y} + \left(\frac{\Delta L_x}{L_x} \right)_{\sigma_z} = \frac{L_x * \sigma_x}{E} - \frac{\nu L_x * \sigma_y}{E} - \frac{\nu L_x * \sigma_z}{E} \rightarrow$$

$$\rightarrow \varepsilon_x = \frac{L_x * \sigma_x}{E} * \frac{1}{L_x} - \frac{\nu L_x * \sigma_y}{E} * \frac{1}{L_x} - \frac{\nu L_x * \sigma_z}{E} * \frac{1}{L_x} \rightarrow$$

$$\rightarrow \varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \frac{\nu * \sigma_y}{E} - \frac{\nu * \sigma_z}{E} \therefore$$

$$\therefore \boxed{\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - (\nu * \sigma_y + \nu * \sigma_z)]}$$

f) E, juntando-se as deformações de y, somando-se as equações (Eq.-10a, Eq.-9b e Eq.-11c), calculamos:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Equação-10a} \\ \boxed{\Delta L_y = \frac{-\nu L_y * \sigma_x}{E}} \\ \text{Equação-9b} \\ \boxed{\Delta L_y = \frac{L_y * \sigma_y}{E}} \\ \text{Eq.-11c} \\ \boxed{\Delta L_y = \frac{-\nu L_y * \sigma_z}{E}} \end{array} \right\} \rightarrow \frac{-\nu L_y * \sigma_x}{E} + \frac{L_y * \sigma_y}{E} + \frac{-\nu L_y * \sigma_z}{E} = \boxed{\frac{L_y * \sigma_y}{E} - \frac{\nu L_y * \sigma_x}{E} - \frac{\nu L_y * \sigma_z}{E}}$$

g) E, fazendo-se a superposição de efeitos:

$$\varepsilon_y = \left(\frac{\Delta L_y}{L_y} \right)_{\sigma_x} + \left(\frac{\Delta L_y}{L_y} \right)_{\sigma_y} + \left(\frac{\Delta L_y}{L_y} \right)_{\sigma_z} = \frac{L_y * \sigma_y}{E} - \frac{\nu L_y * \sigma_x}{E} - \frac{\nu L_y * \sigma_z}{E} \rightarrow$$

$$\rightarrow \varepsilon_y = \frac{L_y * \sigma_y}{E} * \frac{1}{L_y} - \frac{\nu L_y * \sigma_x}{E} * \frac{1}{L_y} - \frac{\nu L_y * \sigma_z}{E} * \frac{1}{L_y} \therefore$$

$$\therefore \boxed{\varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - (\nu * \sigma_x + \nu * \sigma_z)]}$$

h) E, por fim, o mesmo processo para ε_z :

$$\boxed{\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - (\nu * \sigma_x + \nu * \sigma_y)]}$$

Problema 5.2

Elabore um problema de verificação dos conceitos estudados neste capítulo e resolva o problema proposto.

- Resolução:

Numa análise experimental foram determinados os deslocamentos dos pontos A, B, C e D de estrutura de aço, de módulo de Young (E) igual à 210 GPa, e de módulo de cisalhamento G igual 79 GPa, e o coeficiente de Poisson ν igual à 0,33. Os tais pontos são mostrados na figura abaixo, e seus respectivos deslocamentos são:

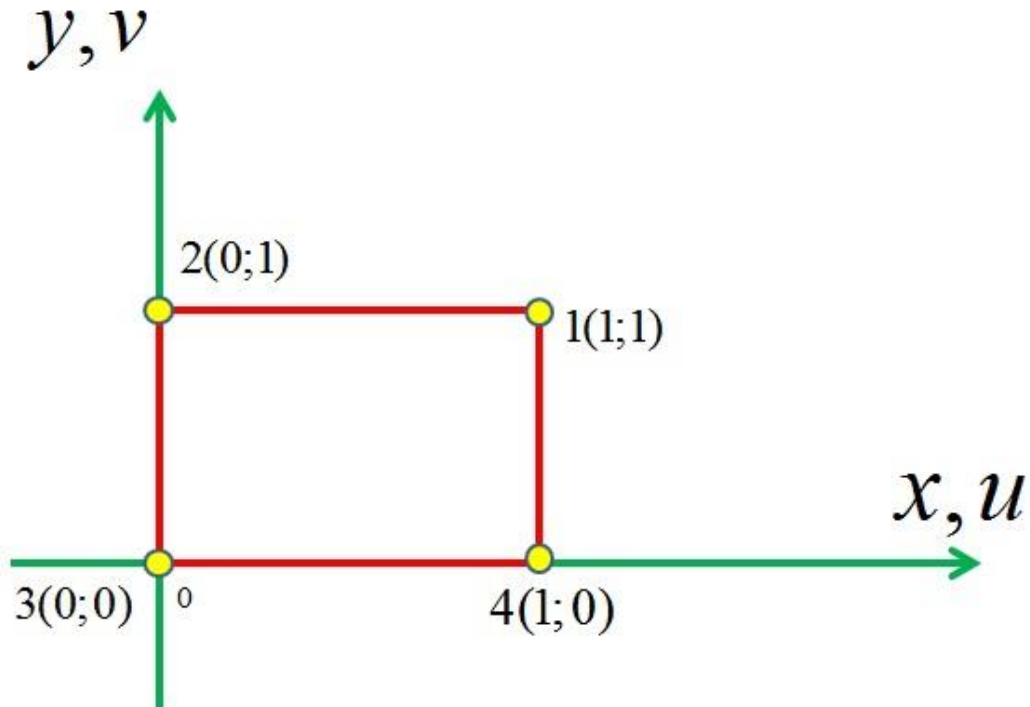
Ponto 1: $u_1 = 0,10 \cdot 10^{-3} [m], v_1 = 0,20 \cdot 10^{-3} [m]$

Ponto 2: $u_2 = 0,15 \cdot 10^{-3} [m], v_2 = 0,15 \cdot 10^{-3} [m]$

Ponto 3: $u_3 = 0,20 \cdot 10^{-3} [m], v_3 = -0,20 \cdot 10^{-3} [m]$

Ponto 4: $u_4 = -0,10 \cdot 10^{-3} [m], v_4 = 0,10 \cdot 10^{-3} [m]$

Calcule o valor aproximado das tensões σ_x, σ_y e τ_{xy} no ponto A em função dos dados experimentais obtidos. Considere $\varepsilon_z = 0$.



- Resposta:

$$u(x, y) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 xy$$

$$\text{Ponto 1} \rightarrow u_1(1,1) = \alpha_1 + \alpha_2(1) + \alpha_3(1) + \alpha_4(1)(1) = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = 0,10 * 10^{-3} [m]$$

$$\text{Ponto 2} \rightarrow u_2(0,1) = \alpha_1 + \alpha_2(0) + \alpha_3(1) + \alpha_4(0)(1) = \alpha_1 + 0 + \alpha_3 + 0 = 0,15 * 10^{-3} [m]$$

$$\text{Ponto 3} \rightarrow u_3(0,0) = \alpha_1 + \alpha_2(0) + \alpha_3(0) + \alpha_4(0)(0) = \alpha_1 + 0 + 0 + 0 = 0,20 * 10^{-3} [m]$$

$$\text{Ponto 4} \rightarrow u_4(1,0) = \alpha_1 + \alpha_2(1) + \alpha_3(0) + \alpha_4(1)(0) = \alpha_1 + \alpha_2 + 0 + 0 = -0,10 * 10^{-3} [m]$$

E, do sistema algébrico montamos uma matriz com os coeficientes.

$$\begin{cases} \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = 0,10 * 10^{-3} [m] \\ \alpha_1 + 0 + \alpha_3 + 0 = 0,15 * 10^{-3} [m] \\ \alpha_1 + 0 + 0 + 0 = 0,20 * 10^{-3} [m] \\ \alpha_1 + \alpha_2 + 0 + 0 = -0,10 * 10^{-3} [m] \end{cases} \rightarrow \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0,10 * 10^{-3} \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0,15 * 10^{-3} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0,20 * 10^{-3} \\ 1 & 1 & 0 & 0 & -0,10 * 10^{-3} \end{bmatrix}$$

Reduzindo-se a matriz, tem-se:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0,0002 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -0,0003 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -5 * 10^{-5} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0,00025 \end{bmatrix} \rightarrow u(x, y) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 xy \therefore$$

$$\therefore u(x, y) = 0,0002 - 0,0003x - 5 * 10^{-5} y + 0,00025xy$$

$$v(x, y) = \beta_1 + \beta_2 x + \beta_3 y + \beta_4 xy$$

$$\text{Ponto 1} \rightarrow v_1(1,1) = \beta_1 + \beta_2(1) + \beta_3(1) + \beta_4(1)(1) = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 = 0,20 * 10^{-3} [m]$$

$$\text{Ponto 2} \rightarrow v_2(0,1) = \beta_1 + \beta_2(0) + \beta_3(1) + \beta_4(0)(1) = \beta_1 + 0 + \beta_3 + 0 = 0,15 * 10^{-3} [m]$$

$$\text{Ponto 3} \rightarrow v_3(0,0) = \beta_1 + \beta_2(0) + \beta_3(0) + \beta_4(0)(0) = \beta_1 + 0 + 0 + 0 = -0,20 * 10^{-3} [m]$$

$$\text{Ponto 4} \rightarrow v_4(1,0) = \beta_1 + \beta_2(1) + \beta_3(0) + \beta_4(1)(0) = \beta_1 + \beta_2 + 0 + 0 = 0,10 * 10^{-3} [m]$$

$$\begin{cases} \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 = 0,20 * 10^{-3} [m] \\ \beta_1 + 0 + \beta_3 + 0 = 0,15 * 10^{-3} [m] \\ \beta_1 + 0 + 0 + 0 = -0,20 * 10^{-3} [m] \\ \beta_1 + \beta_2 + 0 + 0 = 0,10 * 10^{-3} [m] \end{cases} \rightarrow \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0,20 * 10^{-3} \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0,15 * 10^{-3} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -0,20 * 10^{-3} \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0,10 * 10^{-3} \end{bmatrix}$$

Reduzindo-se a matriz, tem-se:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -0,0002 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0,0003 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0,00035 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -0,00025 \end{bmatrix} \rightarrow v(x, y) = \beta_1 + \beta_2 x + \beta_3 y + \beta_4 xy \therefore$$

$$\therefore v(x, y) = -0,0002 + 0,0003x + 0,00035y - 0,00025xy$$

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial(0,0002 - 0,0003x - 5 \cdot 10^{-5}y + 0,00025xy)}{\partial x} \therefore \varepsilon_x = -0,0003 + 0,00025y$$

$$\varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\partial(-0,0002 + 0,0003x + 0,00035y - 0,00025xy)}{\partial y} \therefore \varepsilon_y = 0,00035 - 0,00025x$$

$$\gamma_{xy} = \left[\frac{\partial u}{\partial y} \right] + \left[\frac{\partial v}{\partial x} \right] \rightarrow$$

$$\rightarrow \gamma_{xy} = \left[\frac{\partial [10^{-3} * (0,2 - 0,3x - 0,05y + 0,25xy)]}{\partial y} \right] + \left[\frac{\partial [10^{-3} * (-0,2 + 0,3x + 0,35y - 0,25xy)]}{\partial x} \right] \rightarrow$$

$$\rightarrow \gamma_{xy} = -5 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot 10^{-3}x + 0,3 \cdot 10^{-3} - 0,25 \cdot 10^{-3}y \therefore \gamma_{xy} = 0,25 \cdot 10^{-3} + 0,25 \cdot 10^{-3}x - 0,25 \cdot 10^{-3}y$$

A média das deformações:

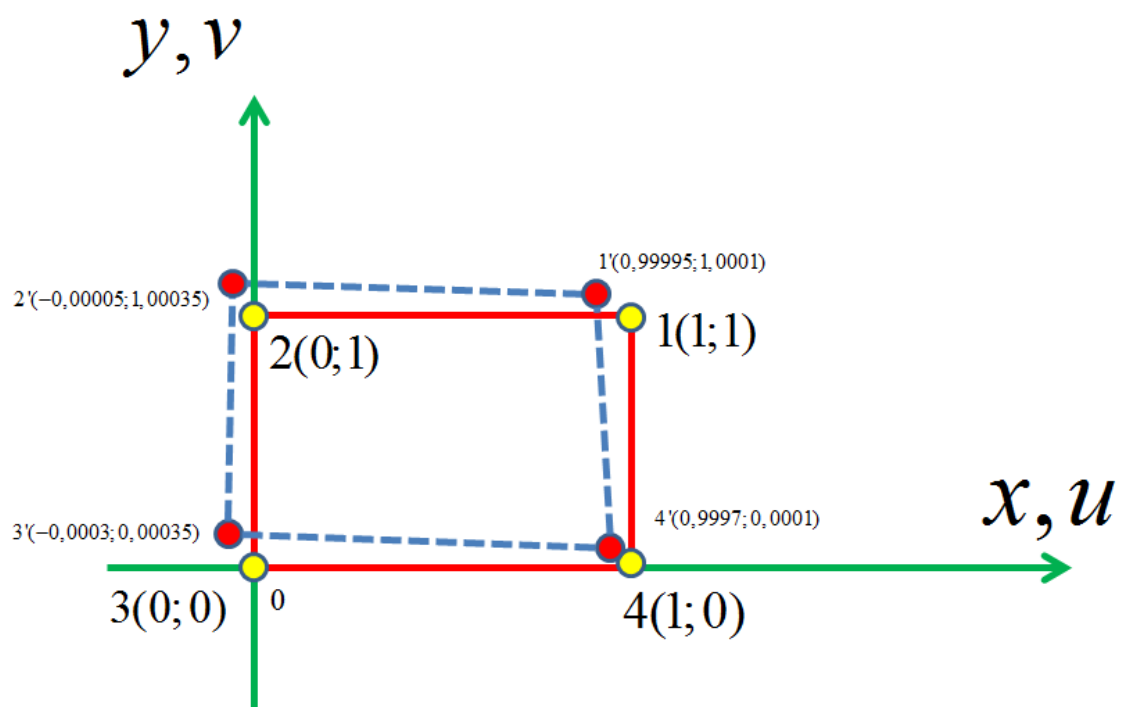
	x	y	ϵ_x	ϵ_y	γ_{xy}
Ponto 1	1	1	-0,00005	0,0001	0,00025
Ponto 2	0	1	-0,00005	0,00035	0
Ponto 3	0	0	-0,0003	0,00035	0,00025
Ponto 4	1	0	-0,0003	0,0001	0,0005

média	-0,00018	0,000225	0,00025
-------	----------	----------	---------

Os novos pontos após as deformações:

	x	y
Ponto 1'	0,99995	1,0001
Ponto 2'	-0,00005	1,00035
Ponto 3'	-0,0003	0,00035
Ponto 4'	0,9997	0,0001

O gráfico está fora de escala, o objetivo do esboço é exagerar as dimensões para destacar as deformações sofridas. A linha tracejada representa as novas dimensões após as deformações.



Usando a Lei generalizada de Hooke, tem-se:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{xz} \\ \tau_y \end{Bmatrix} = \left(\frac{E}{1+\nu} \right) \begin{bmatrix} \frac{1-\nu}{1-2\nu} & \frac{\nu}{1-2\nu} & \frac{\nu}{1-2\nu} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu}{1-2\nu} & \frac{1-\nu}{1-2\nu} & \frac{\nu}{1-2\nu} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu}{1-2\nu} & \frac{\nu}{1-2\nu} & \frac{1-\nu}{1-2\nu} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{Bmatrix} \rightarrow$$

Sabendo-se que:

$$\boxed{\varepsilon_z = \tau_{xz} = \tau_{yz} = \gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0}$$

Utilizando-se à média ε_x , ε_y e γ_{xy} , tem-se:

$$\rightarrow \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{xz} \\ \tau_y \end{Bmatrix} = \left(\frac{210 \cdot 10^9}{1 + 0.33} \right) \begin{bmatrix} \frac{1-0.33}{1-2(0.33)} & \frac{0.33}{1-2(0.33)} & \frac{0.33}{1-2(0.33)} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{0.33}{1-2(0.33)} & \frac{1-0.33}{1-2(0.33)} & \frac{0.33}{1-2(0.33)} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{0.33}{1-2(0.33)} & \frac{0.33}{1-2(0.33)} & \frac{1-0.33}{1-2(0.33)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -0.00018 \\ 0.000225 \\ 0 \\ 0,00025 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \therefore$$

$$\therefore \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{xz} \\ \tau_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -21,52 \\ 42,42 \\ 6,90 \\ 19,74 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} (MPa)$$