Projeto mecânico para Eng. de Materiais e Manuf.

Aula 7 – Revisão de análise estrutural

Paula e Rafael

Etapas do projeto

- Inform. → Requisitos
  - Ser durável
  - Ser rígido/flexível
  - Ser leve
- Conceitual
- **Proj. Preliminar**
  - **Pré-dimens.**
  - Hardcore
- Proj. Detalhado

Disciplinas

Mec. Sol.
Ens. Mec.
Comp. Mec.

Sel. de mat.
CAE
An. falhas
END

Objetivo: ter a capacidade de julgar a parte estrutural de um projeto, principalmente com relação ao material e suas propriedades.

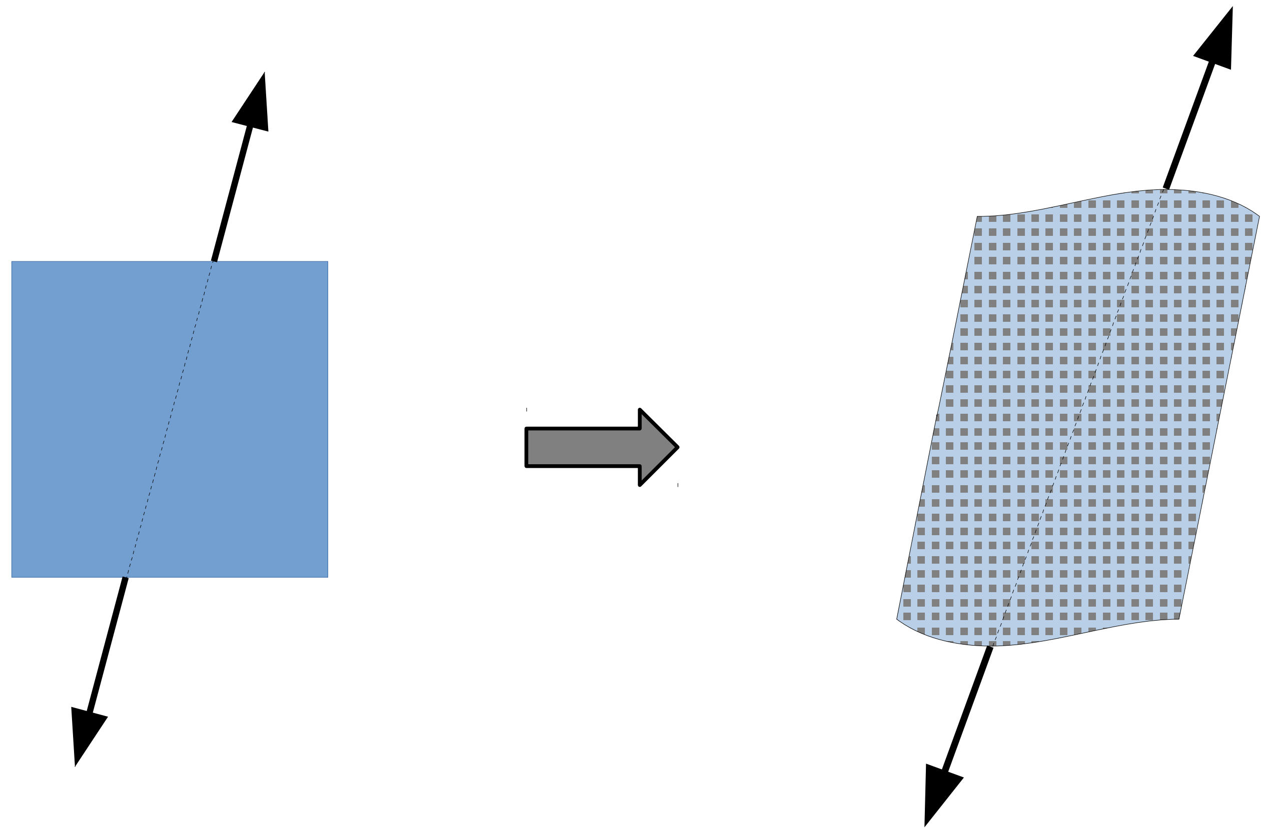
EESC-USP, São Carlos, Abril/2017

Falha no navio MSC Carla – 1998
http://www.shipstructure.org/case_studies/

Flambagem de trilho de trem

Snap fit de mochila

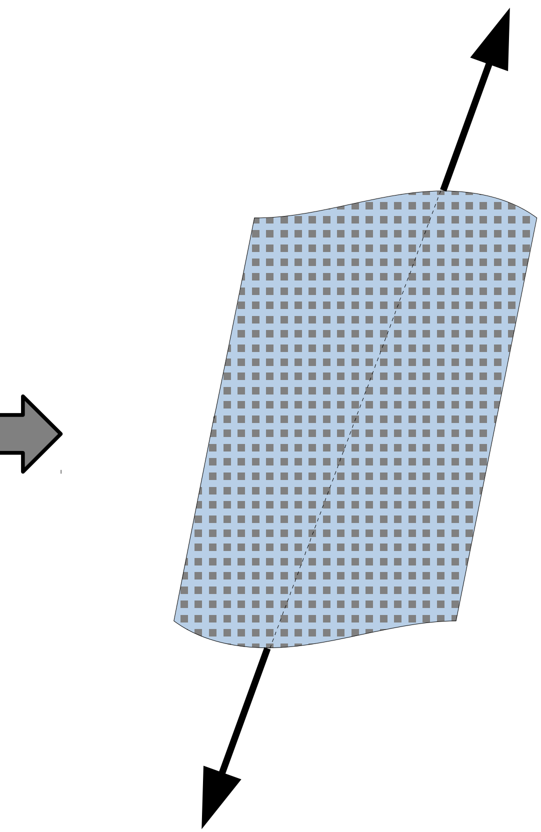
Responder ao questionário da extrusora



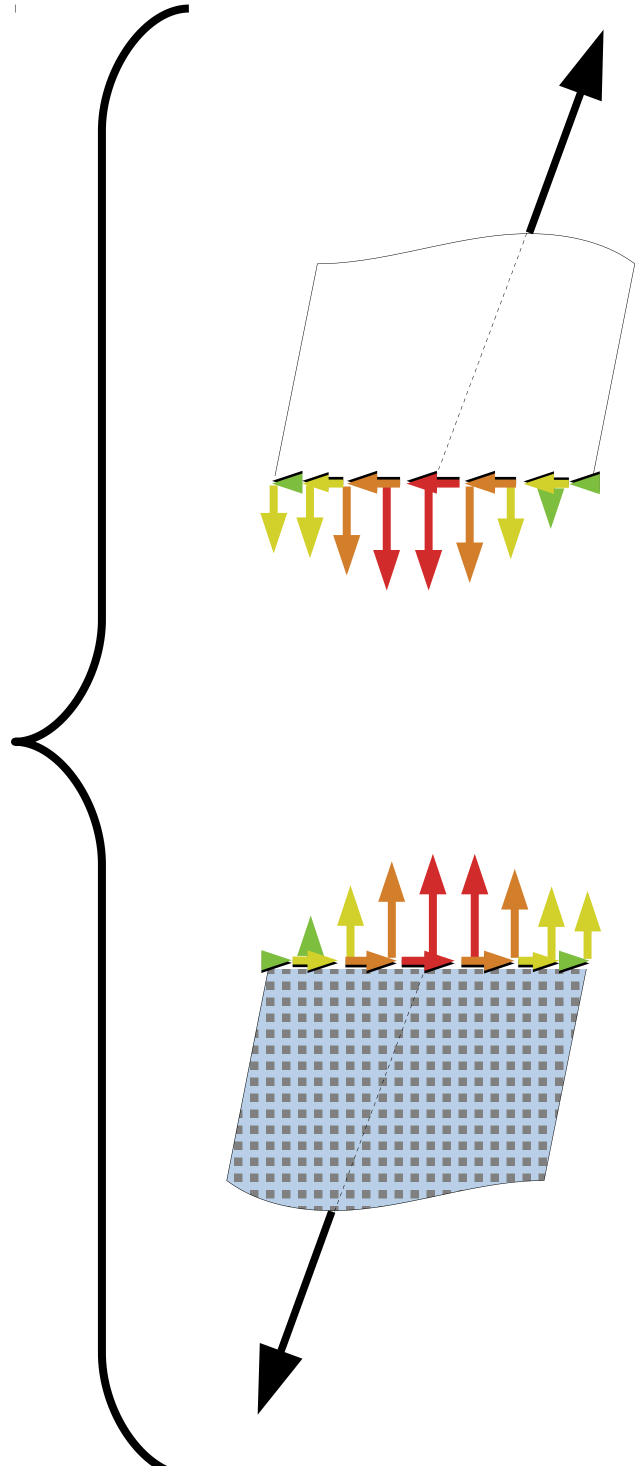
1) Forças ou Reações → Deformação na geometria

Restituível

Permanente (ou fratura)

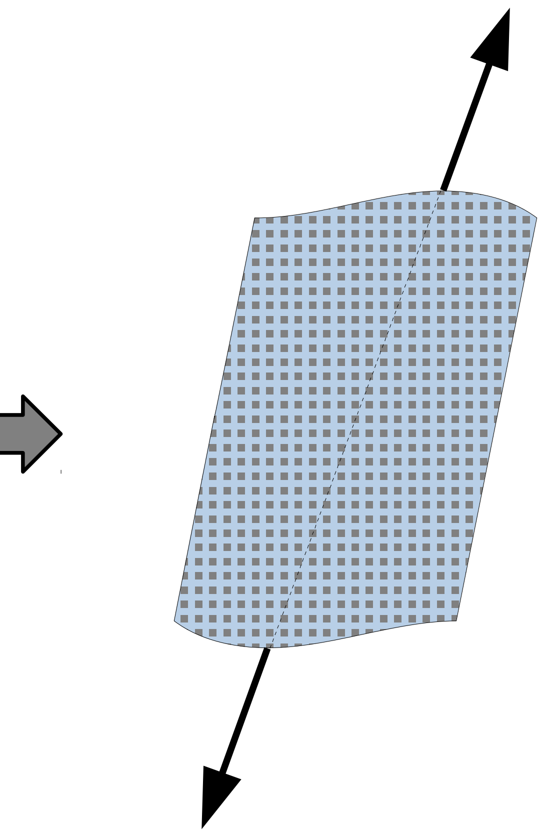


Deformação
na geometria

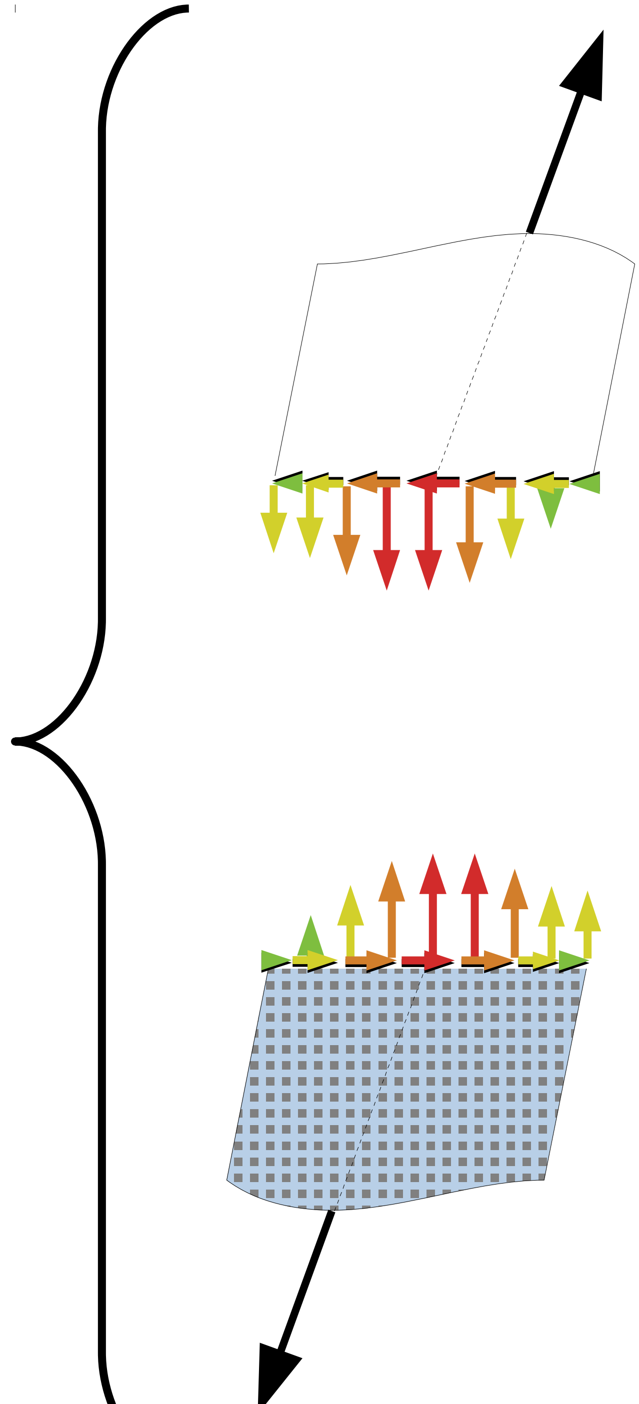


2) Qualquer pedaço da estrutura também está em equilíbrio.

3) Esforços internos estão reagindo à força para manter o equilíbrio.

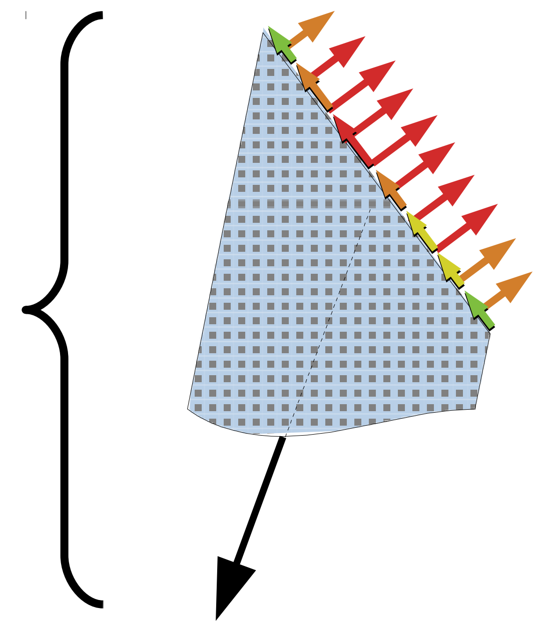


Deformação
na geometria

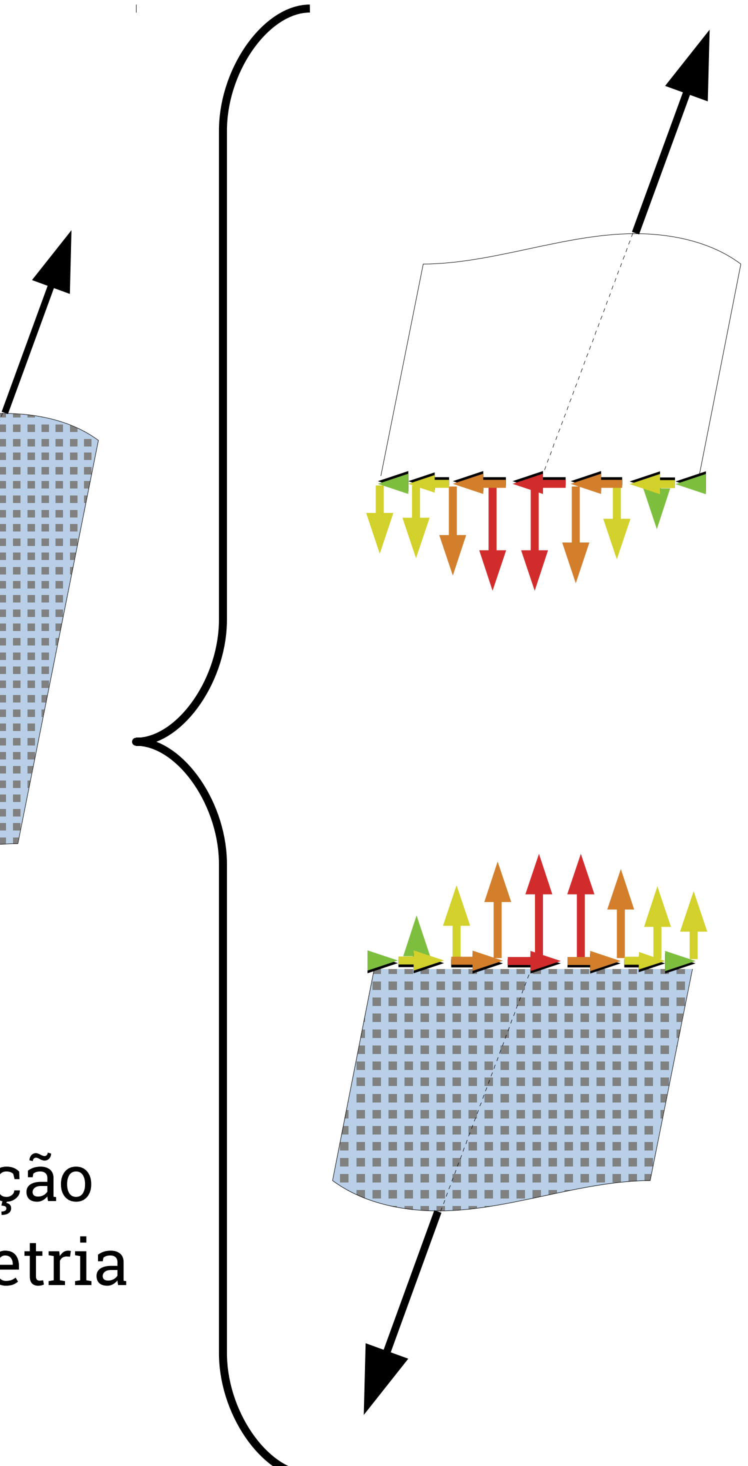


2) Qualquer pedaço da estrutura também está em equilíbrio, independente do ponto de vista.

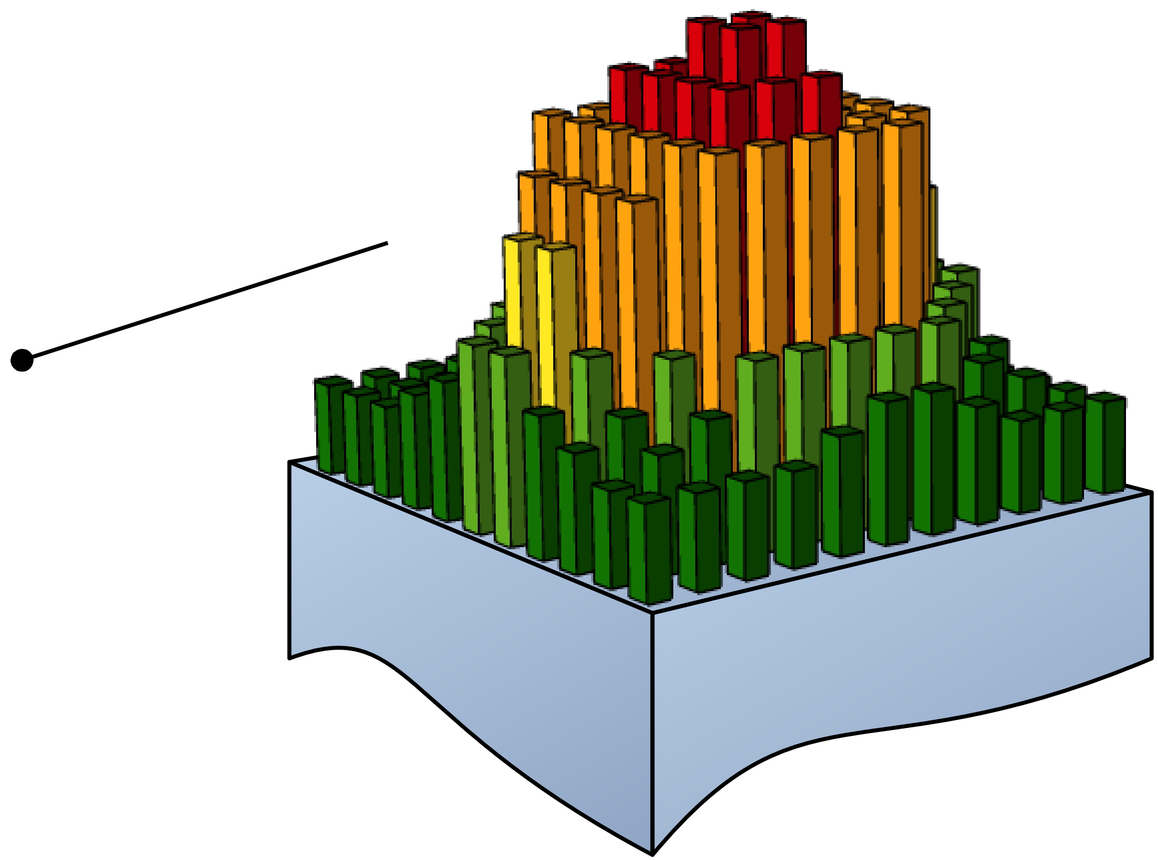
ou



3) Esforços internos estão reagindo à força para manter o equilíbrio.

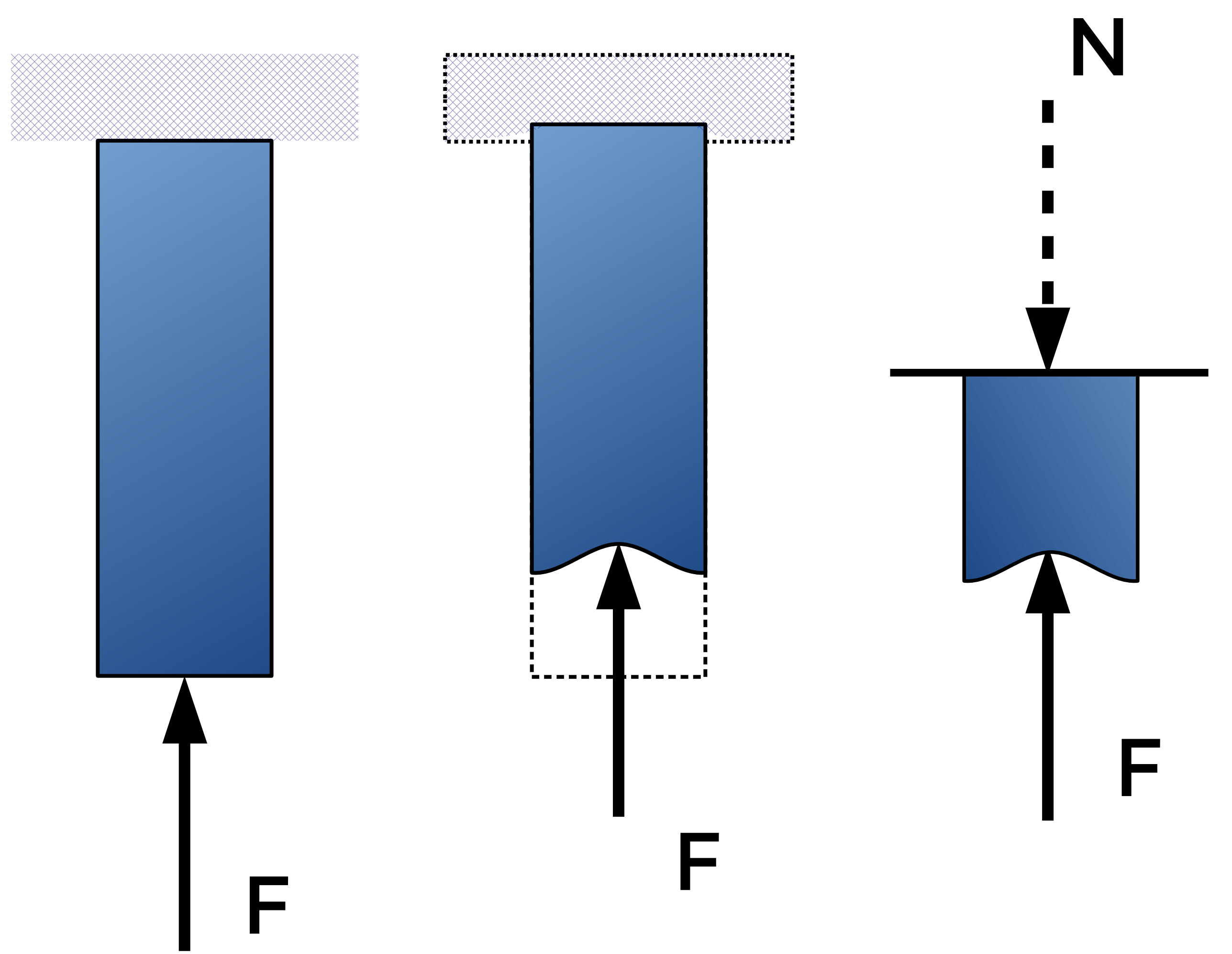


A integral em duas dimensões do esforço interno na área da seção deve ser igual à força que equilibra. Esse esforço recebe o nome de tensão!



Tipos de esforços e modelos de Euler-Bernoulli

A) Compressão ou tração

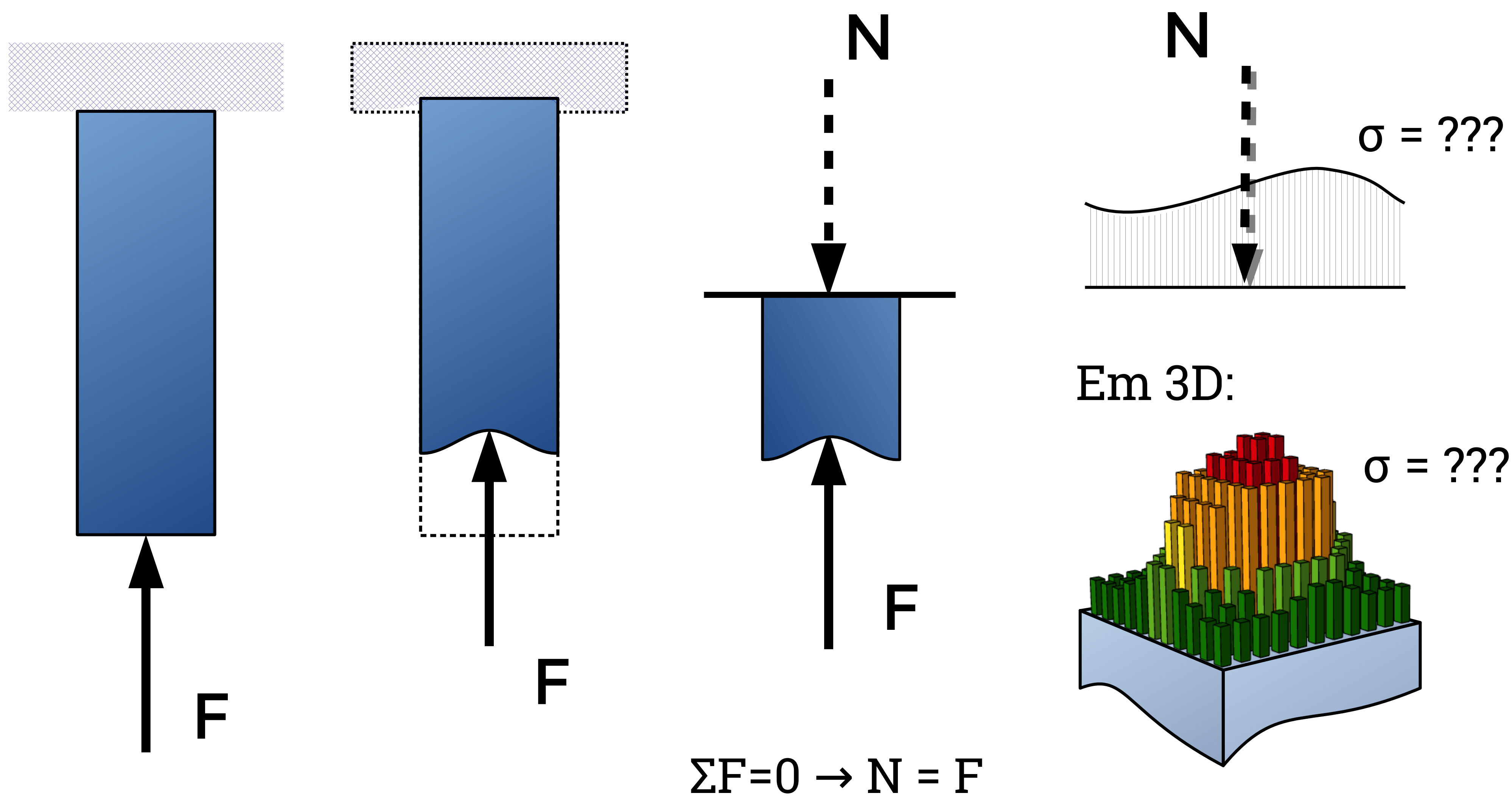


$\Sigma F = 0 \rightarrow N = F$

Antes | Depois | Secção

Tipos de esforços e modelos de Euler-Bernoulli

A) Compressão ou tração



Antes

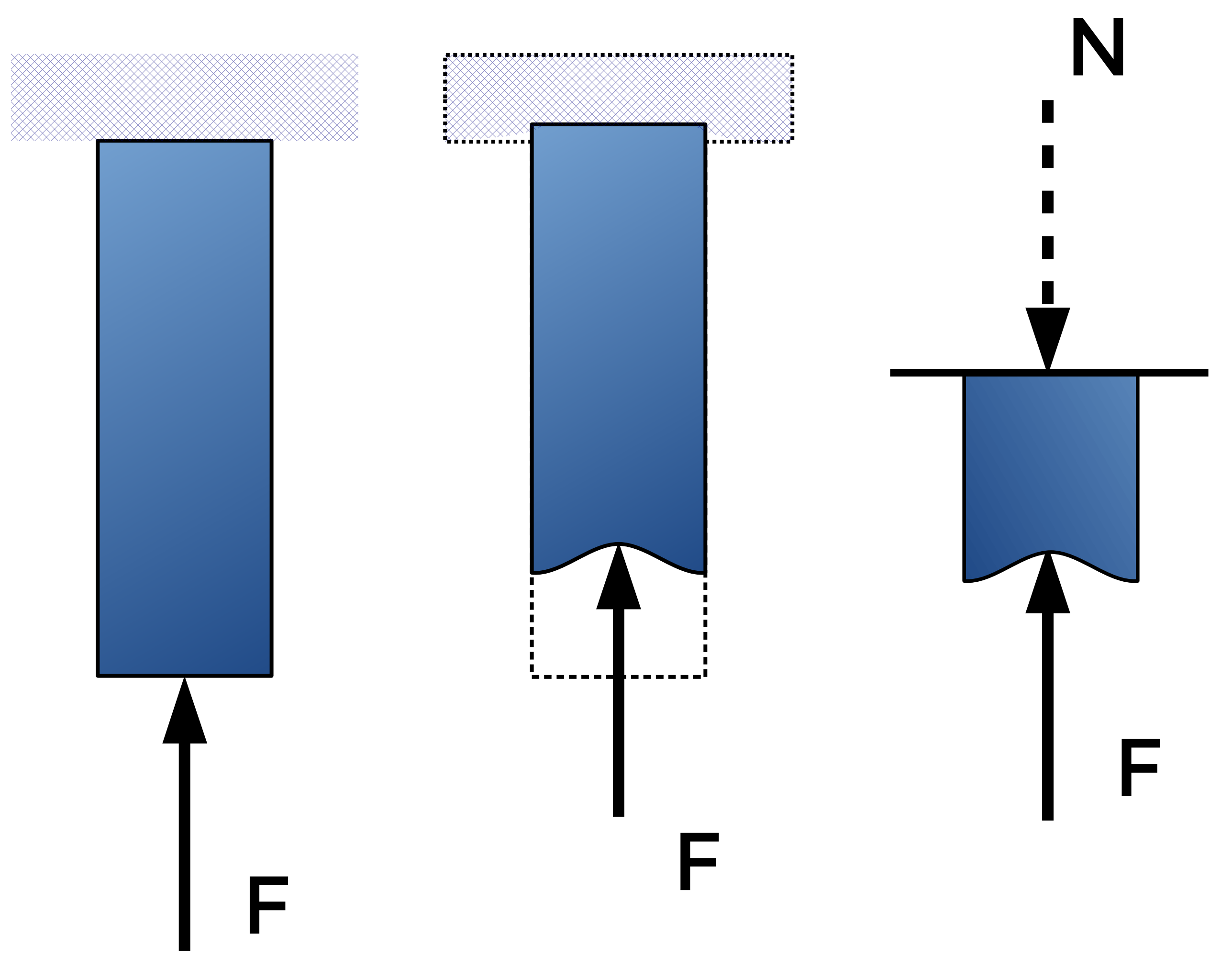
Depois

Secção

Intuitivamente, como deve ser?

Tipos de esforços e modelos de Euler-Bernoulli

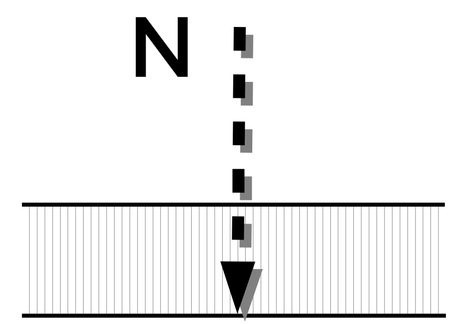
A) Compressão ou tração



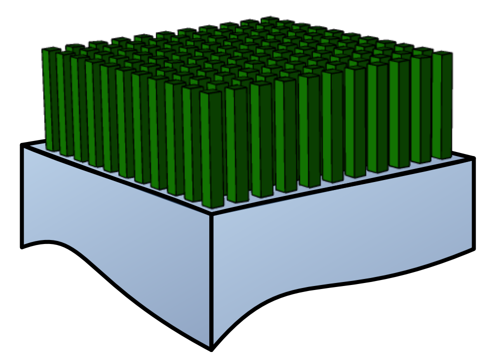
$\Sigma F = 0 \rightarrow N = F$

Antes Depois Secção

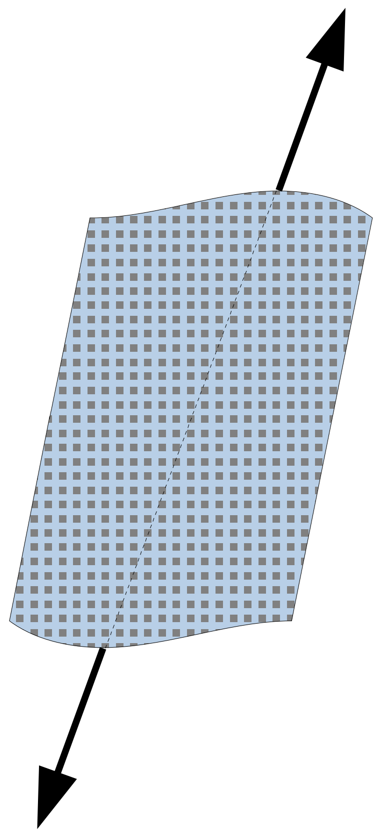
Euler-Bernoulli:



Em 3D:



Relação entre força, deformação e o material



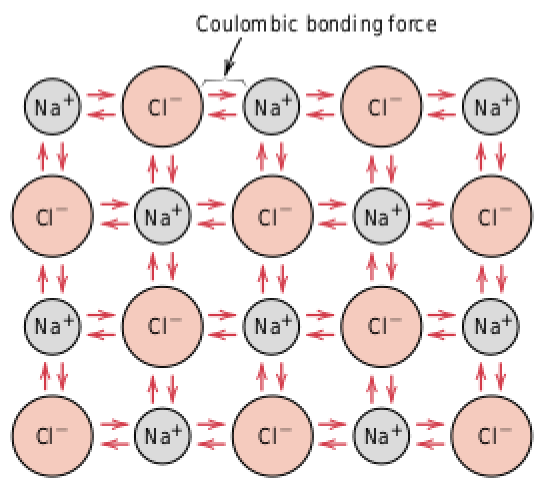
Deformação
na geometria

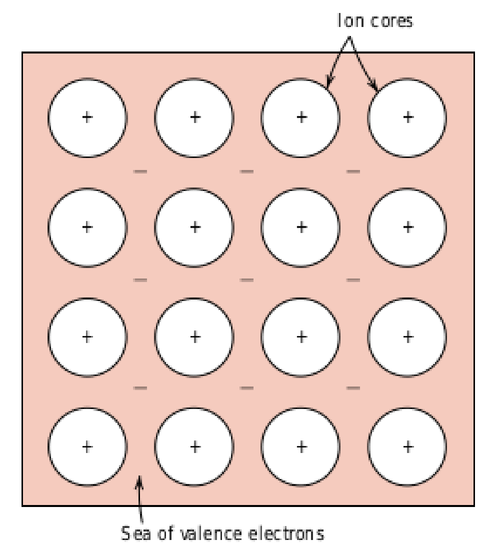
Restituível

Permanente
(ou fratura)

Caso A: Deformação restituível
(não permanente)

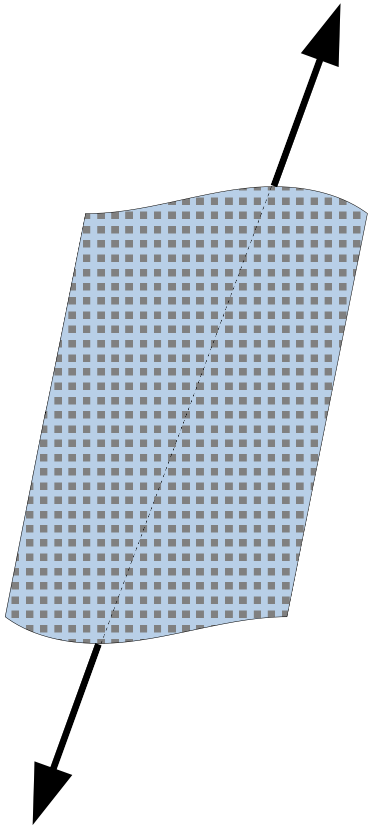
Como é organizado o material da
estrutura?





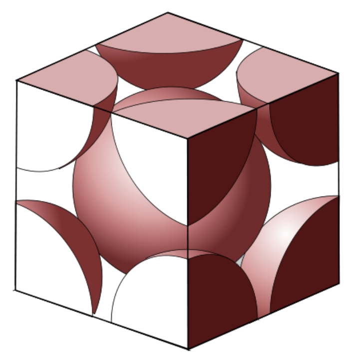
$$\boxed{\sigma = E \cdot \varepsilon}$$

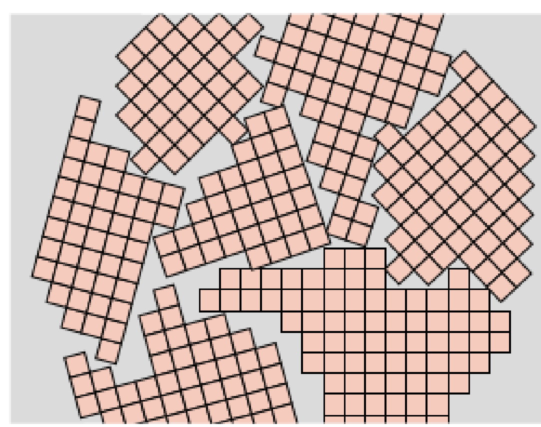
Relação entre força, deformação e o material

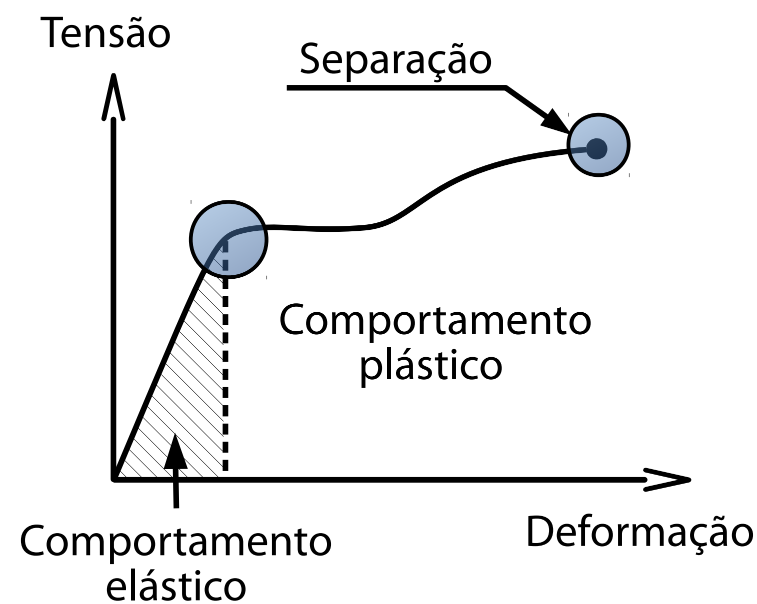


<u>Caso B</u>: Deformação restituível (não permanente)

Como é organizado o material da estrutura?





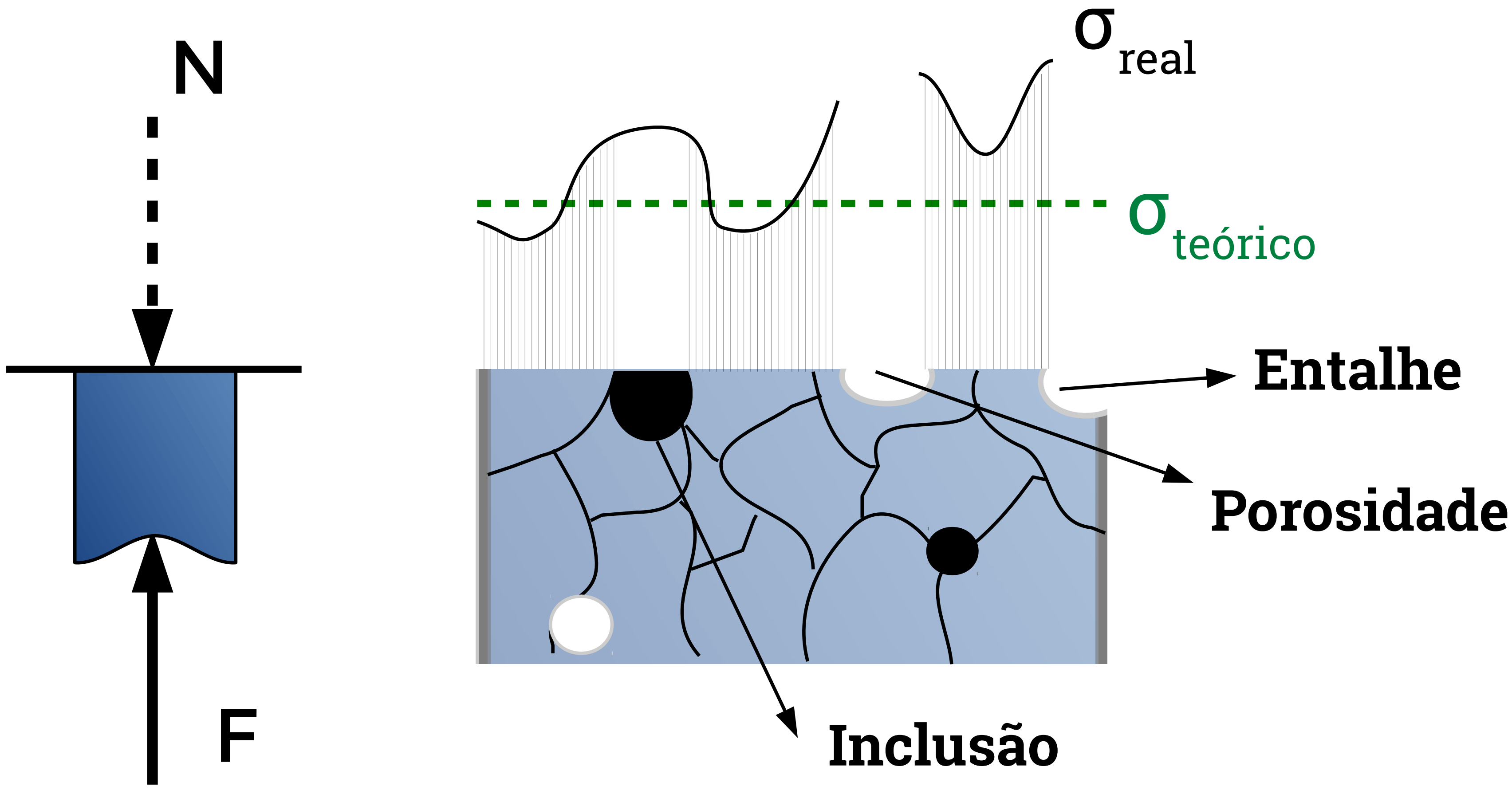


Deformação na geometria

Restituível

Permanente (ou fratura)

$$\boxed{\sigma < \sigma_{\text{limíte}}}$$

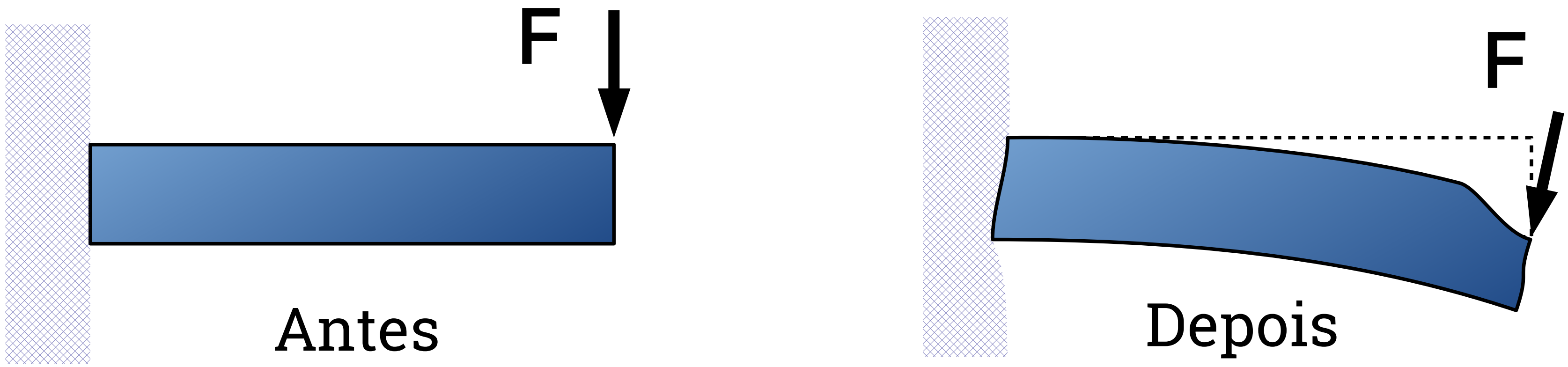


Microestrutura e geometria podem:

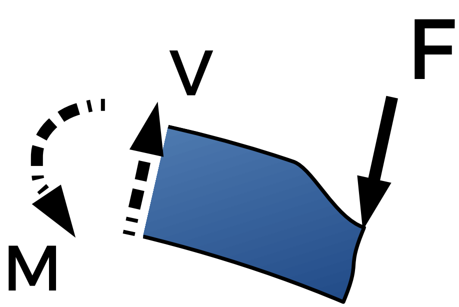
> concentrar tensão localmente

Tipos de esforços e modelos de Euler-Bernoulli

B) Flexão e cisalhamento

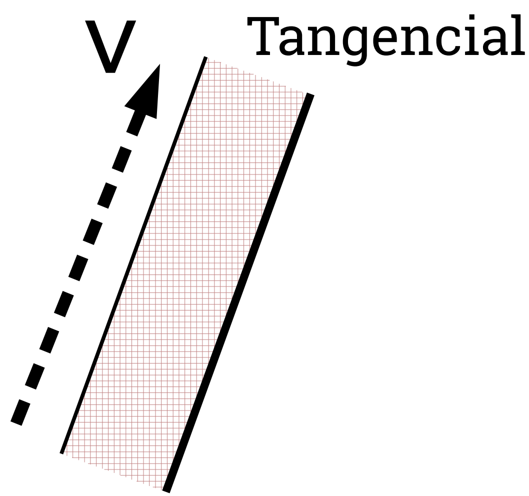


Euler-Bernoulli p/ cisalhamanento:

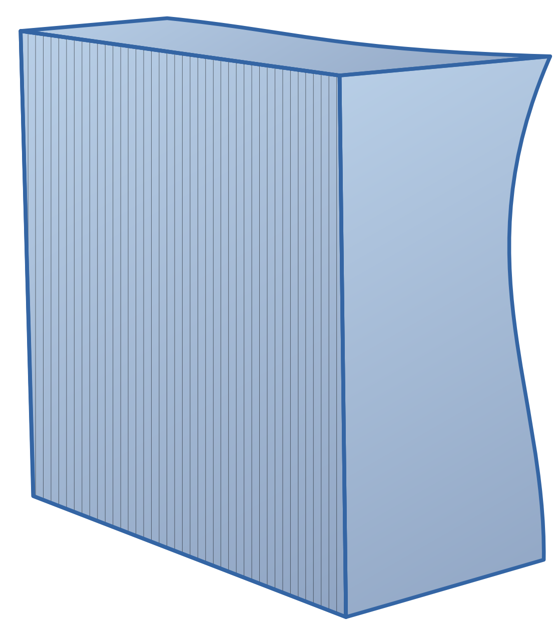


$\Sigma F=0$ e $\Sigma M=0$

Secção

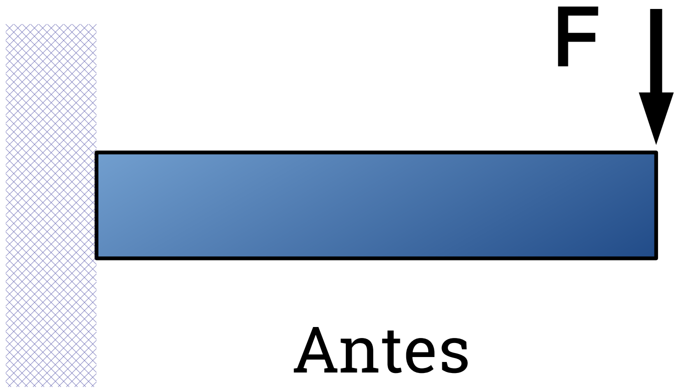


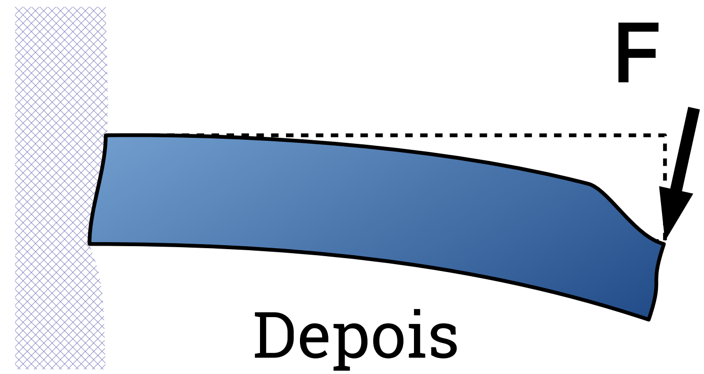
$$\tau=\frac{V}{A}$$

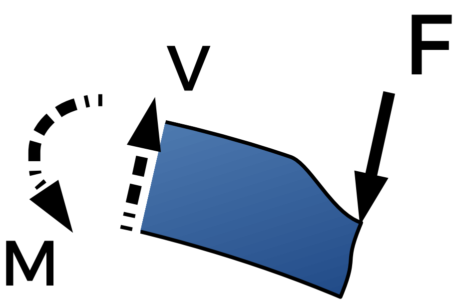


Tipos de esforços e modelos de Euler-Bernoulli

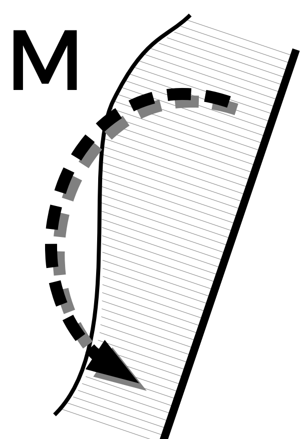
B) Flexão e cisalhamento







$\Sigma F=0$ e $\Sigma M=0$

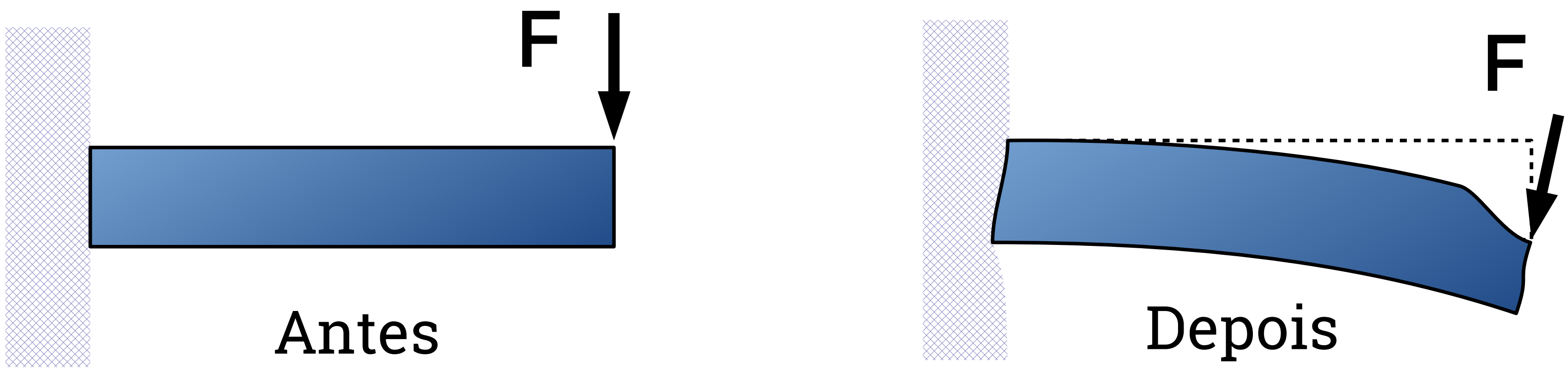


σ = ???

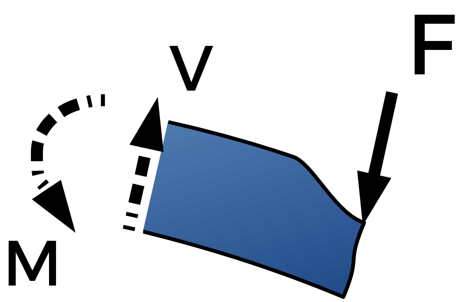
Secção

Tipos de esforços e modelos de Euler-Bernoulli

B) Flexão e cisalhamento

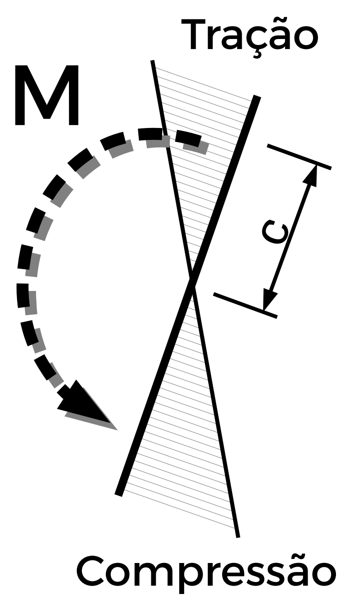


Euler-Bernoulli p/ flexão:

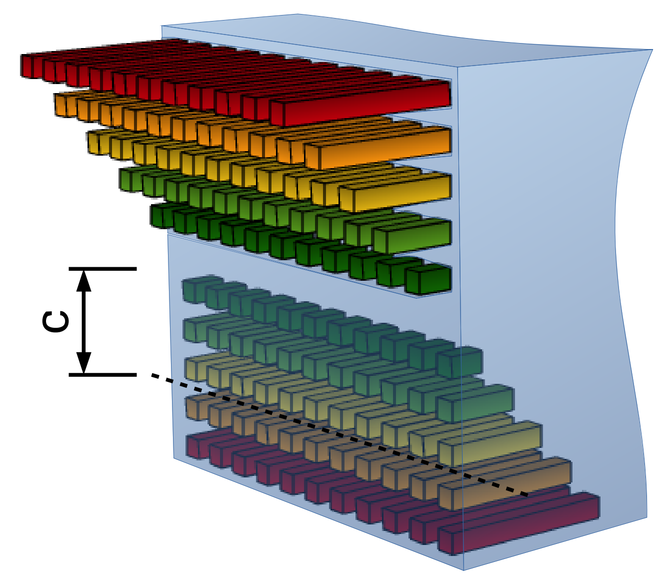


$\Sigma F=0$ e $\Sigma M=0$

Secção

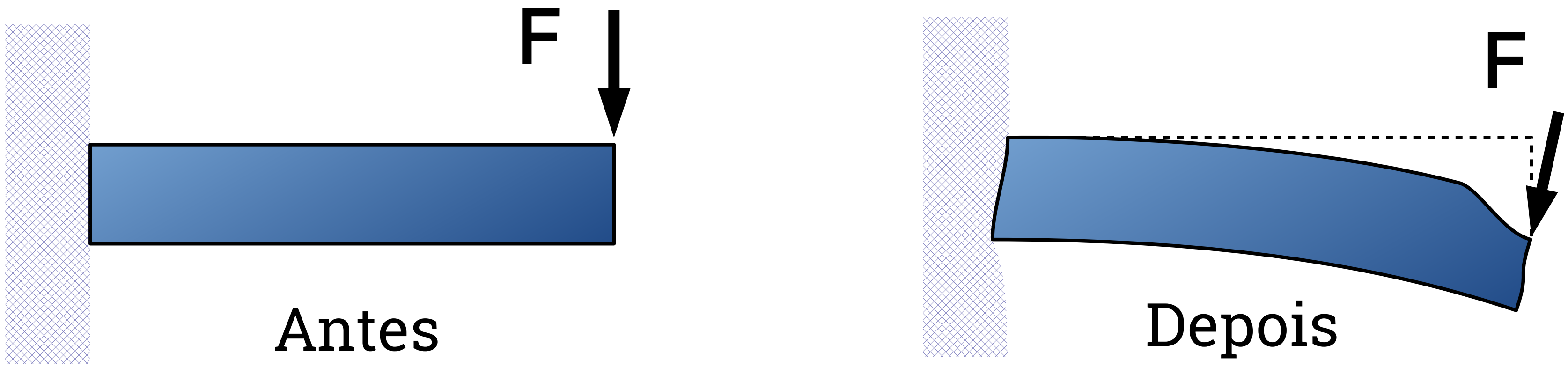


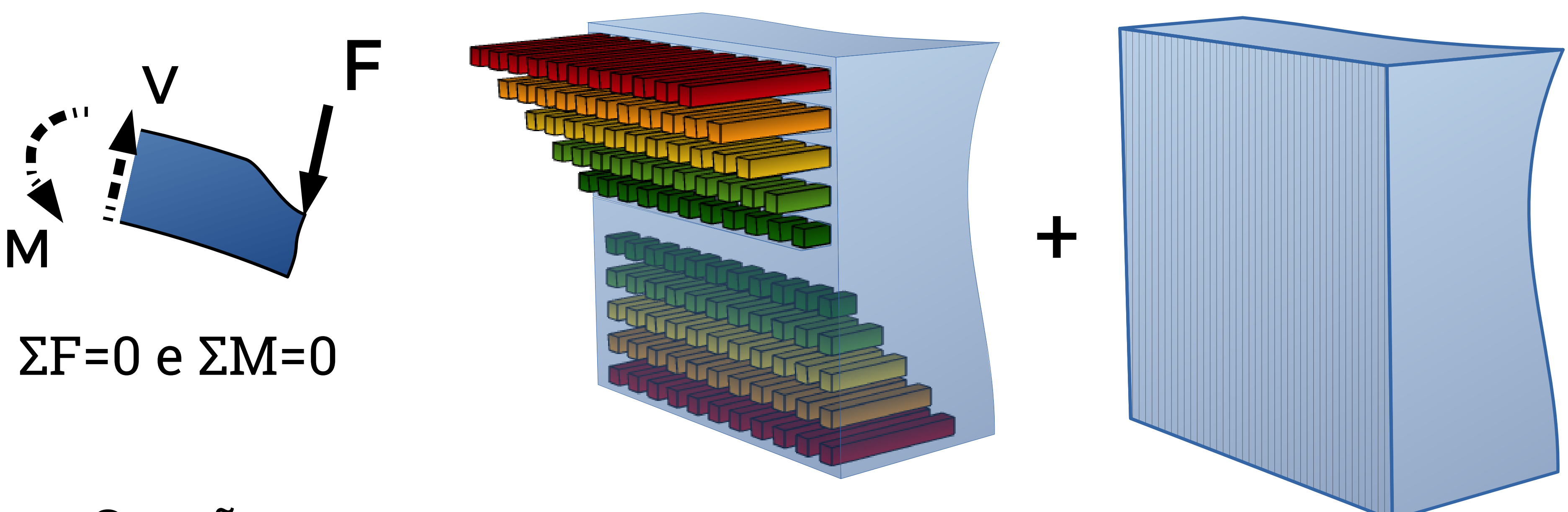
$$\sigma = \frac{M.c}{I}$$



Tipos de esforços e modelos de Euler-Bernoulli

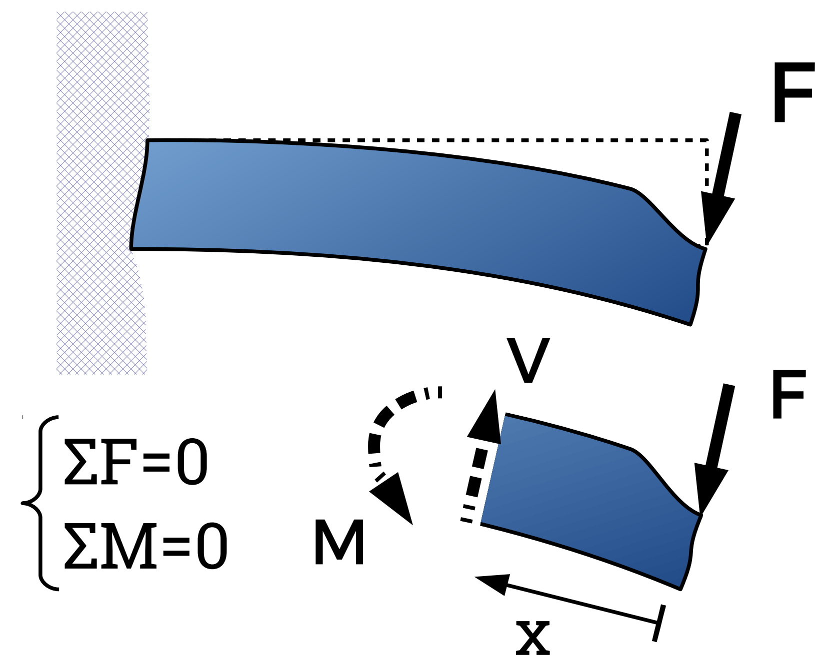
B) Flexão e cisalhamento



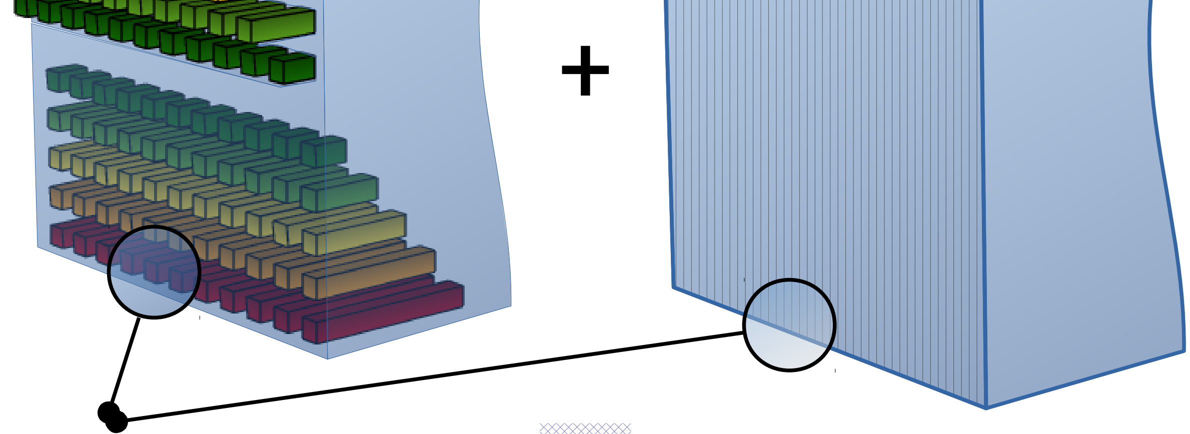


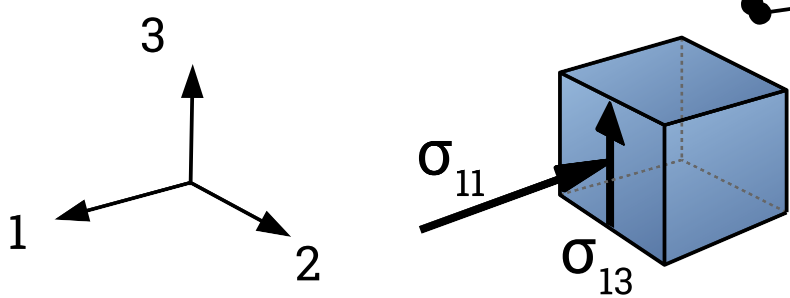
$\Sigma F=0$ e $\Sigma M=0$

Secção

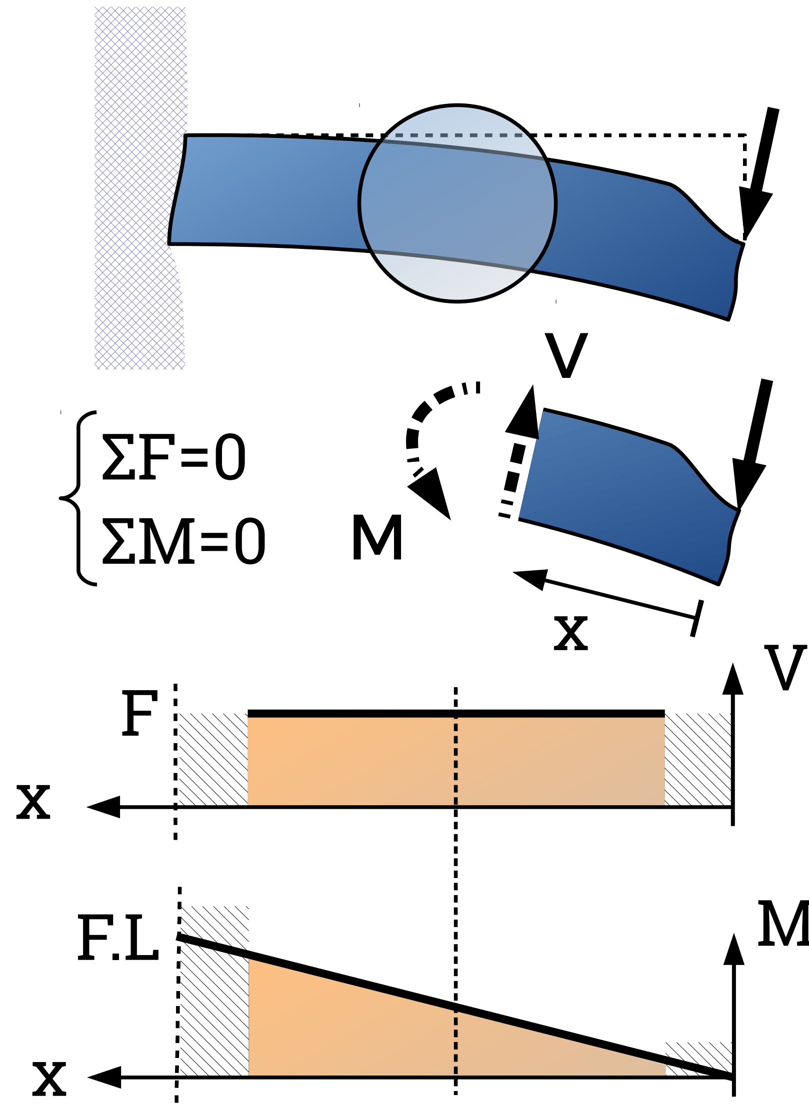

F
V
F
M
x
$\begin{cases} \Sigma F = 0 \\ \Sigma M = 0 \end{cases}$

Observando o eq. em partes cada vez menores...

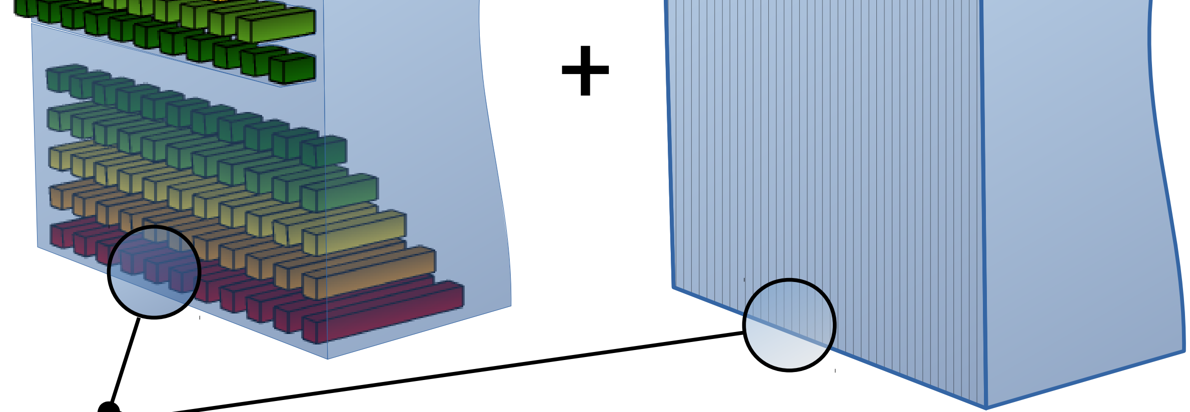


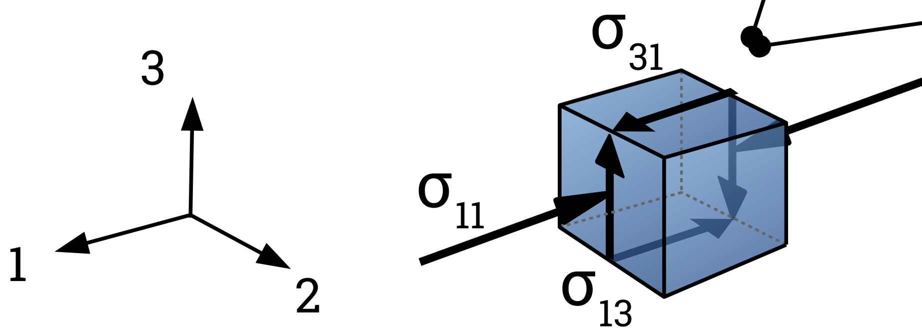


Estado de tensões em um ponto

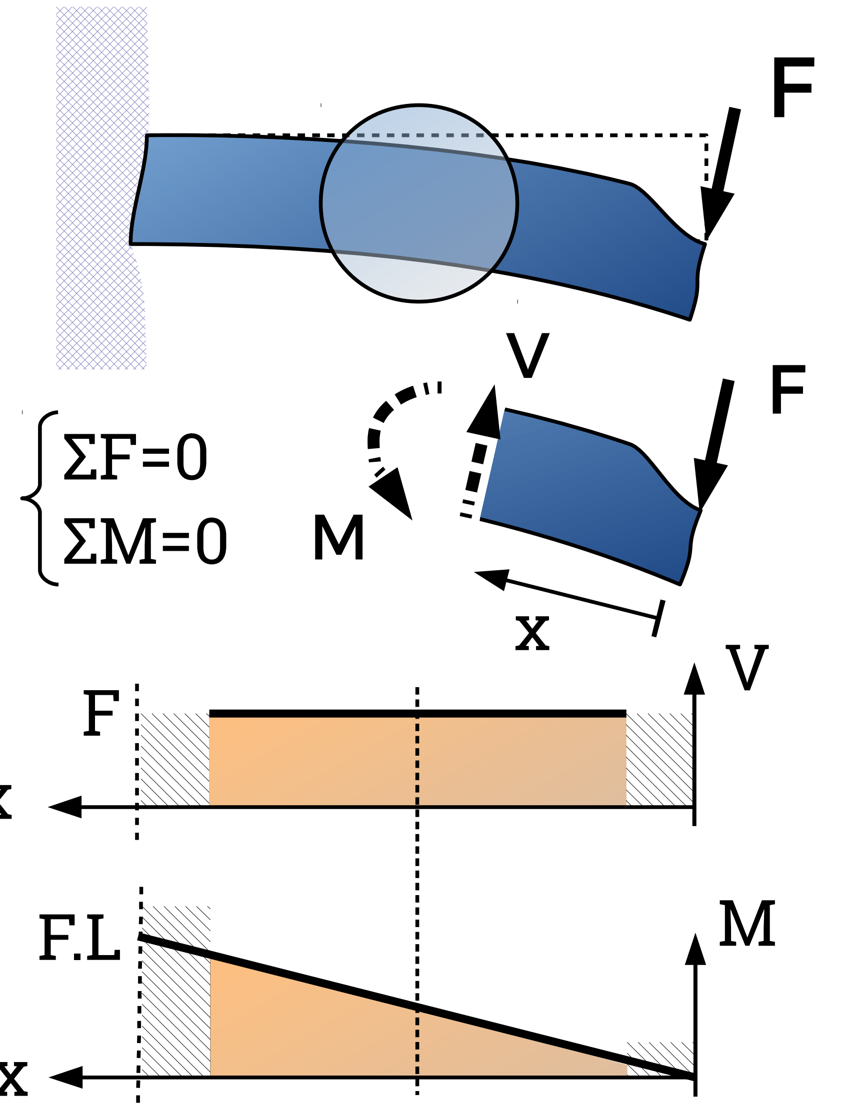


Observando o eq. em partes cada vez menores...

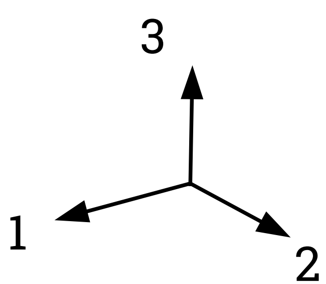


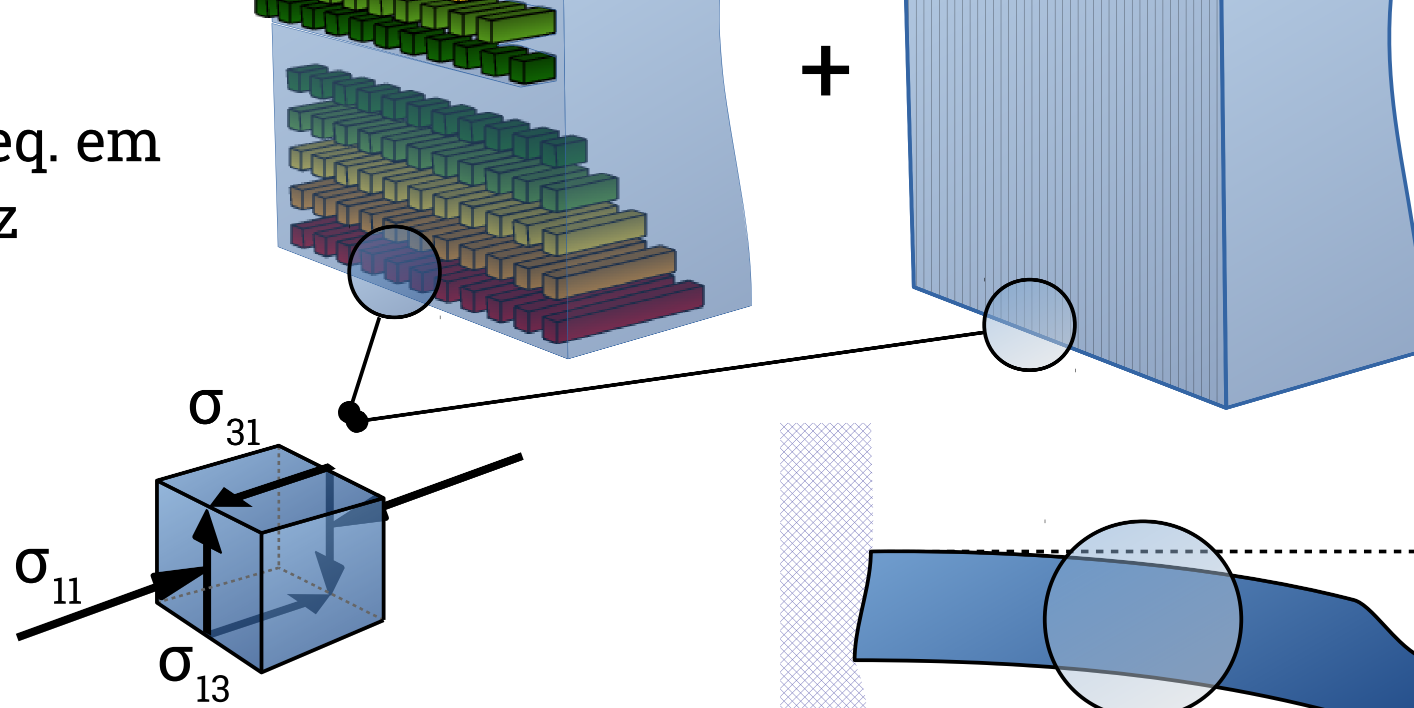


Estado de tensões em um ponto

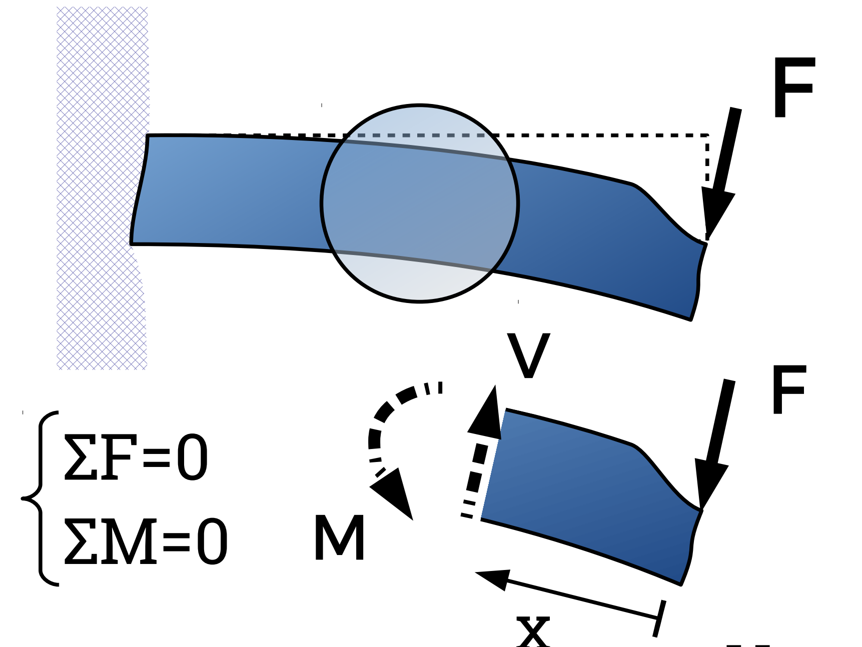


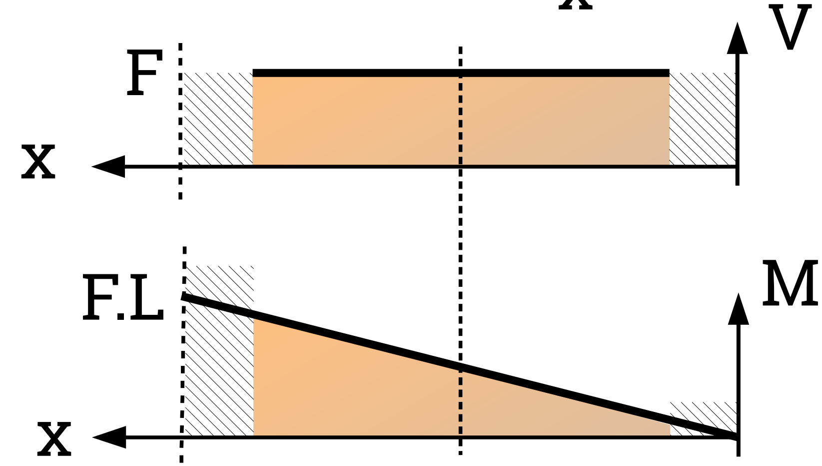
Observando o eq. em partes cada vez menores...





Estado de tensões em um ponto





Cálculo de uma "tensão resultante" e Aplicação de critério de falha

Por exemplo, Von Misses:

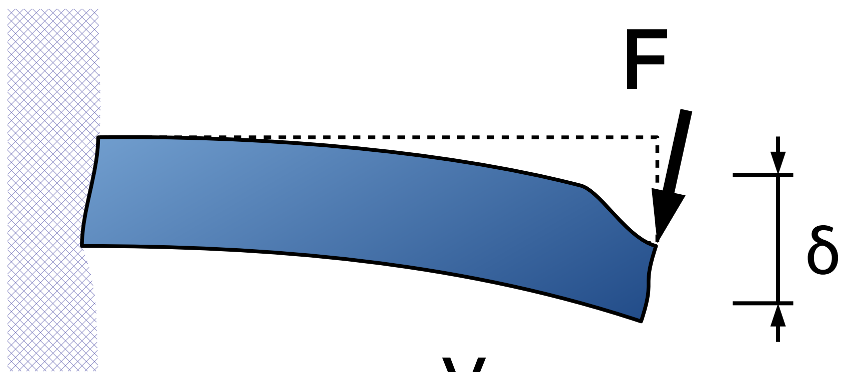
$$\sigma_{vm} = \sqrt{0{,}5\left[(\sigma_{11}-\sigma_{22})^2+(\sigma_{22}-\sigma_{33})^2 \ldots\right.}$$

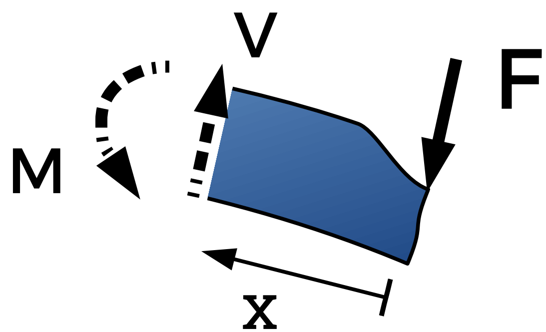
$$\ldots \quad \overline{\left.+(\sigma_{33}-\sigma_{11})^2\right]+3\left[\sigma_{12}^2+\sigma_{23}^2+\sigma_{31}^2\right]}$$

Parte 1 do exercício (tensões)

Tipos de esforços e modelos de Euler-Bernoulli

B) Flexão e cisalhamento





$$\boxed{\Sigma M_{cs}=0 \rightarrow M = F.x}$$

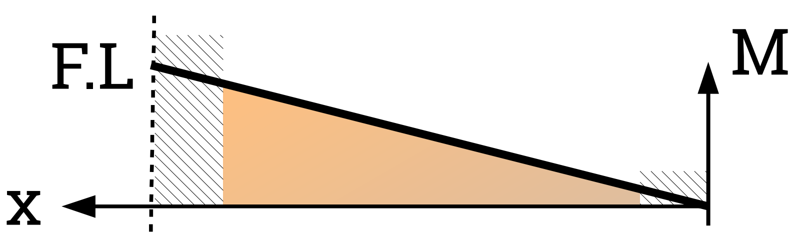


Diagrama de momento fletor

Para pequenas deflexões:

$$\frac{d^2\delta}{dx^2} = \frac{M}{E.I}$$

Eq. da linha elástica

$$\frac{d\delta}{dx} = \frac{M.x}{E.I} + C_1$$

Eq. do ângulo

$$\Rightarrow \delta = \frac{F.x^3}{6.E.I} + C_1 x + C_2$$

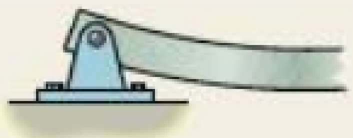
Aplicação das Condições de Contorno e de Cotinuidade.

$$C.C.: \delta_{x=L} = 0 \text{ e } \theta_{x=L} = 0$$

1

$\Delta = 0$
$M = 0$
Roller

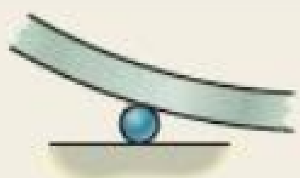
2



?

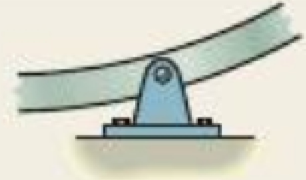
Pin

3



$\Delta = 0$
Roller

4



?

Pin

5

$\theta = 0$
$\Delta = 0$
Fixed end

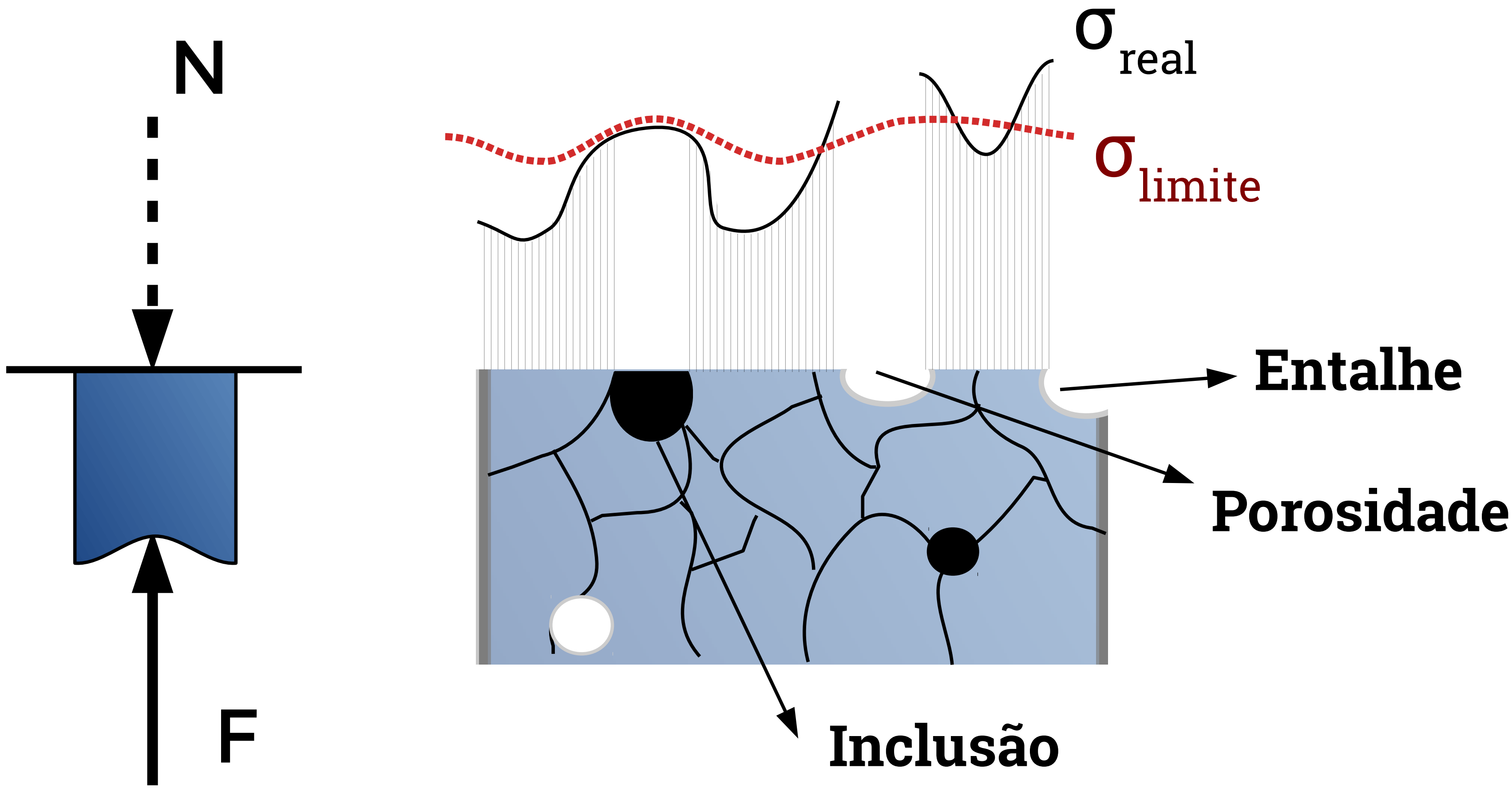
6

$V = 0$
$M = 0$
Free end

7

$M = 0$
Internal pin or hinge

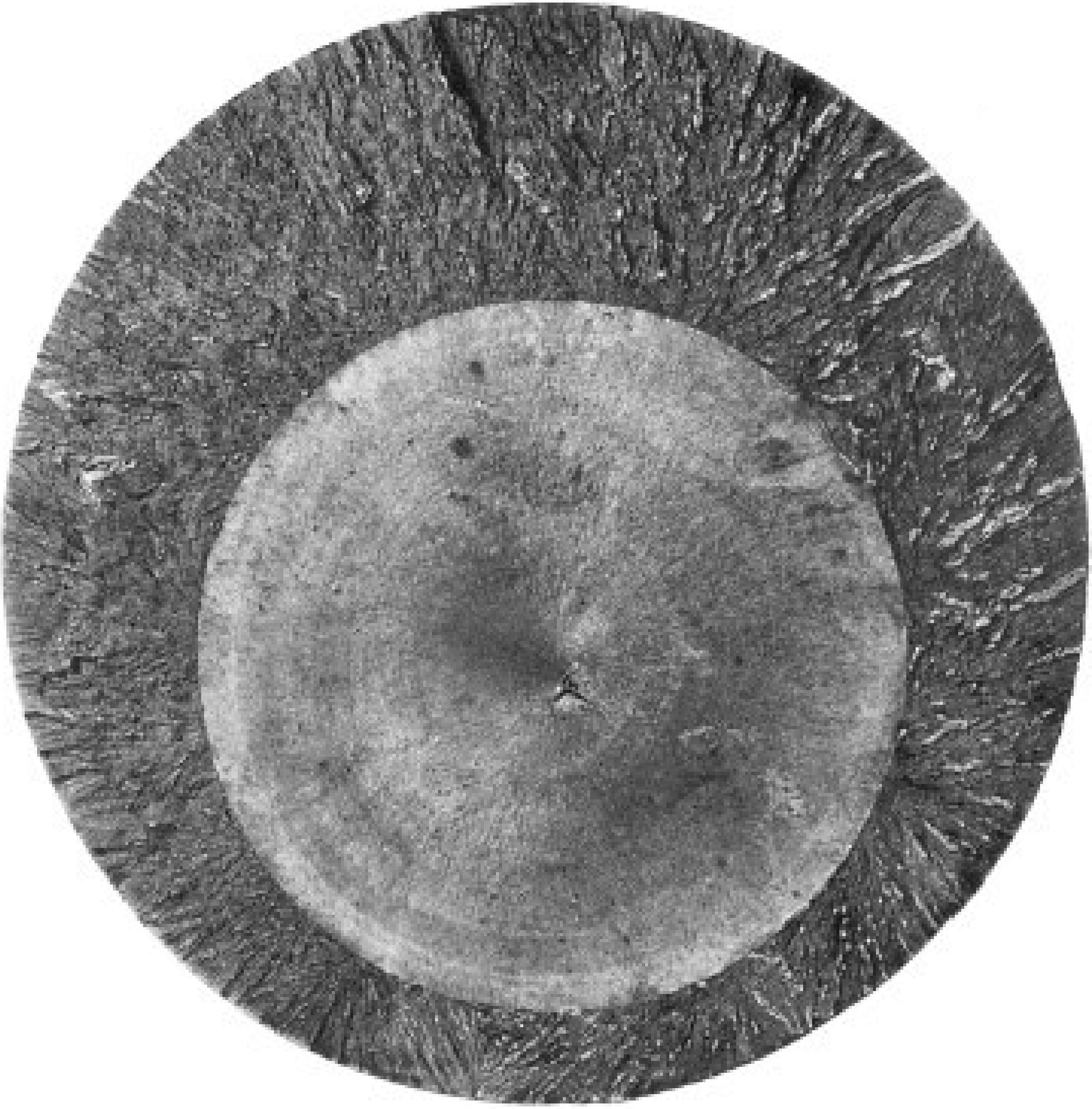
Parte 2 do exercício (deflexão)



Microestrutura e geometria podem:

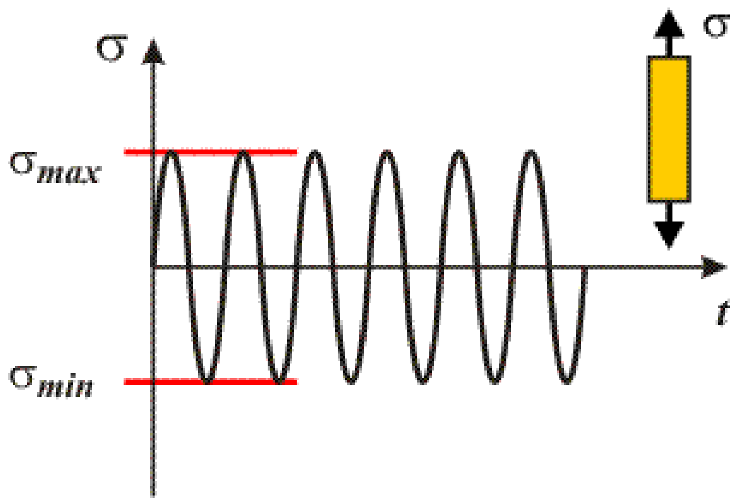
> concentrar tensão localmente

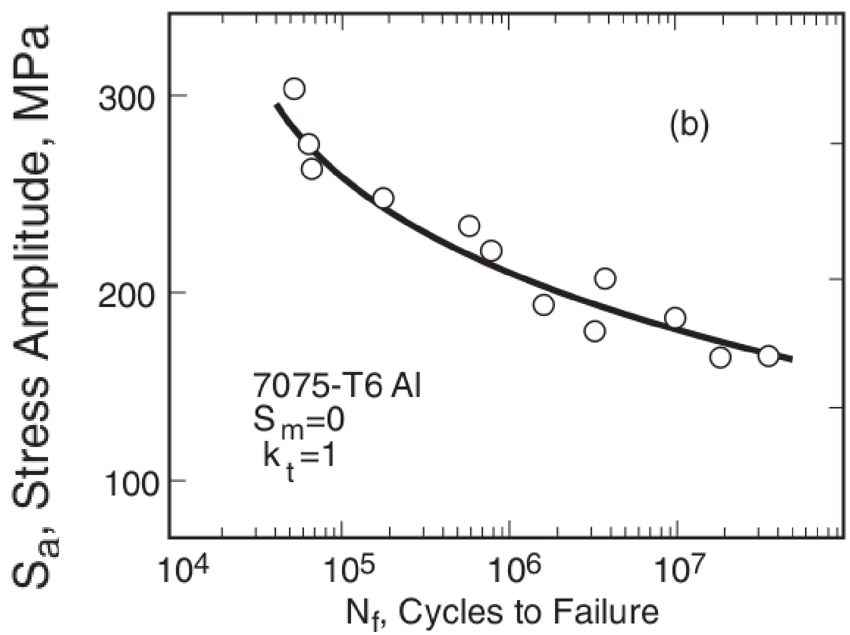
> alterar localmente σ_{limite}



Fadiga na prática de projeto

Para S completamente reverso:





Curva S-N: $\sigma_{ar} = \sigma'_f (2N_f)^b$

> Se S não é completamente reverso
→ aplicar critério de “conversão”:
-Goodman, SWT, Morrow, etc

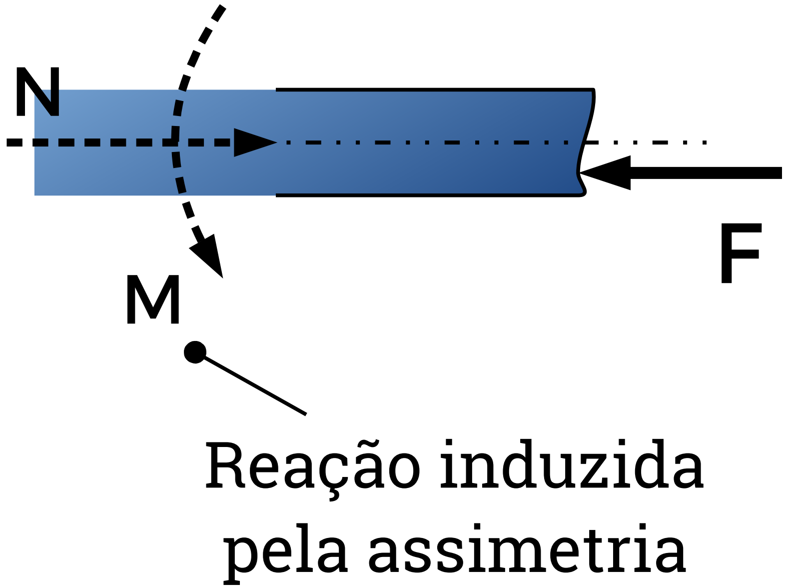
Morrow: $\frac{\sigma_a}{\sigma_{ar}} + \frac{\sigma_m}{\sigma'_f} = 1$

$$\Rightarrow \sigma_{ar} = \frac{\sigma_a}{\left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma'_f}\right)}$$

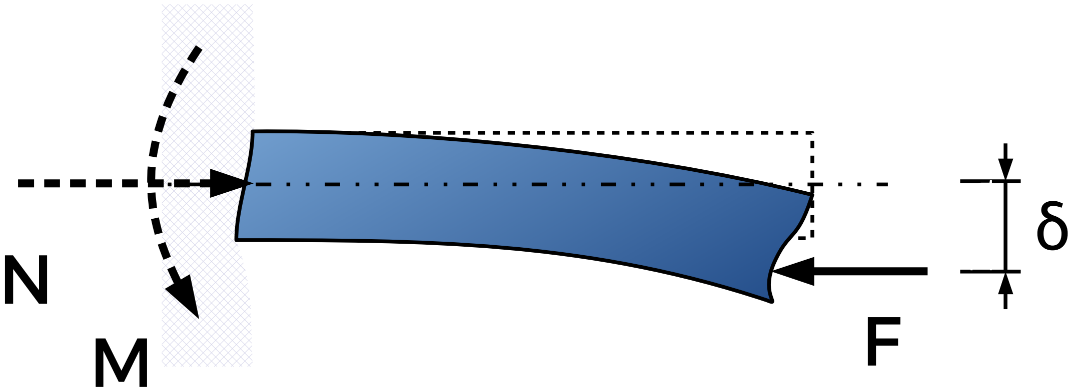
> Se amplitude é variável, aplicar
modelo de acumulação de dano:
-Palmgren-Miner, etc

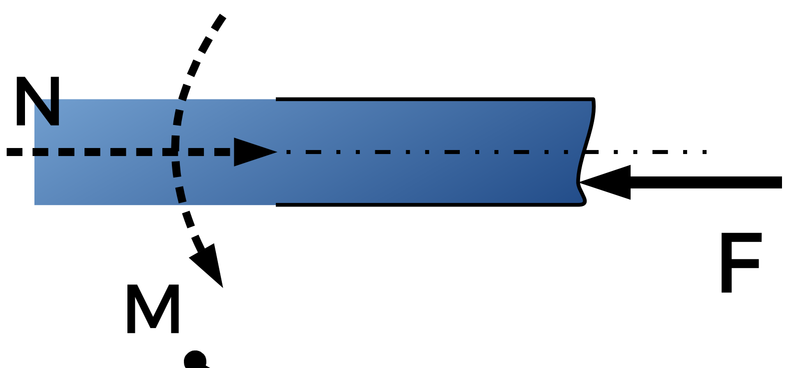
Parte 3 do exercício (fadiga)

Flambagem: princípio físico



Flambagem: princípio físico





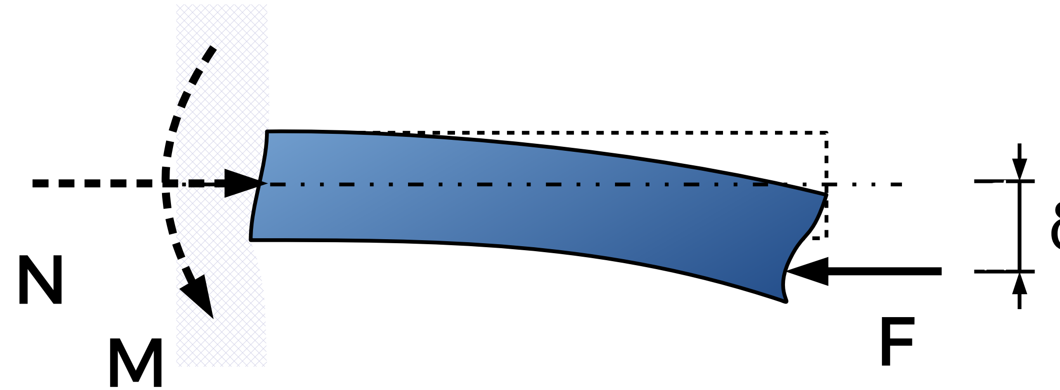
Reação induzida pela assimetria

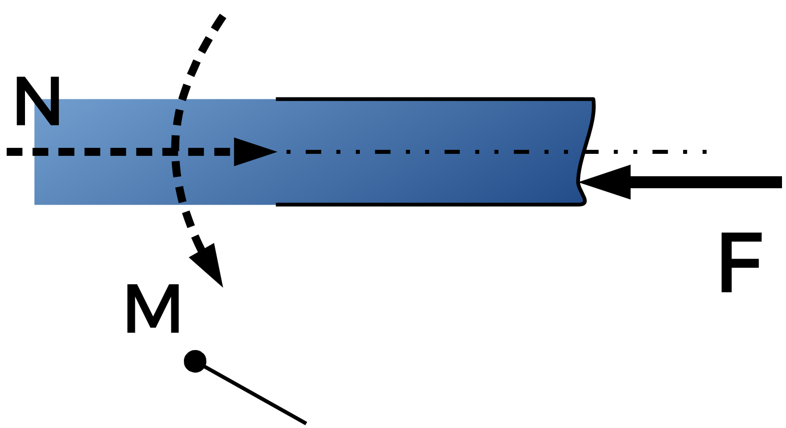
$$\begin{cases} \Sigma M_{base} = M - F_{cr}.\delta_{max} = 0 \\ \delta_{max} = \dfrac{4.M.L^2}{\pi^2.E.I} \end{cases}$$

Tirando M da equação:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2.E.I}{(2.L)^2}$$

Flambagem: princípio físico





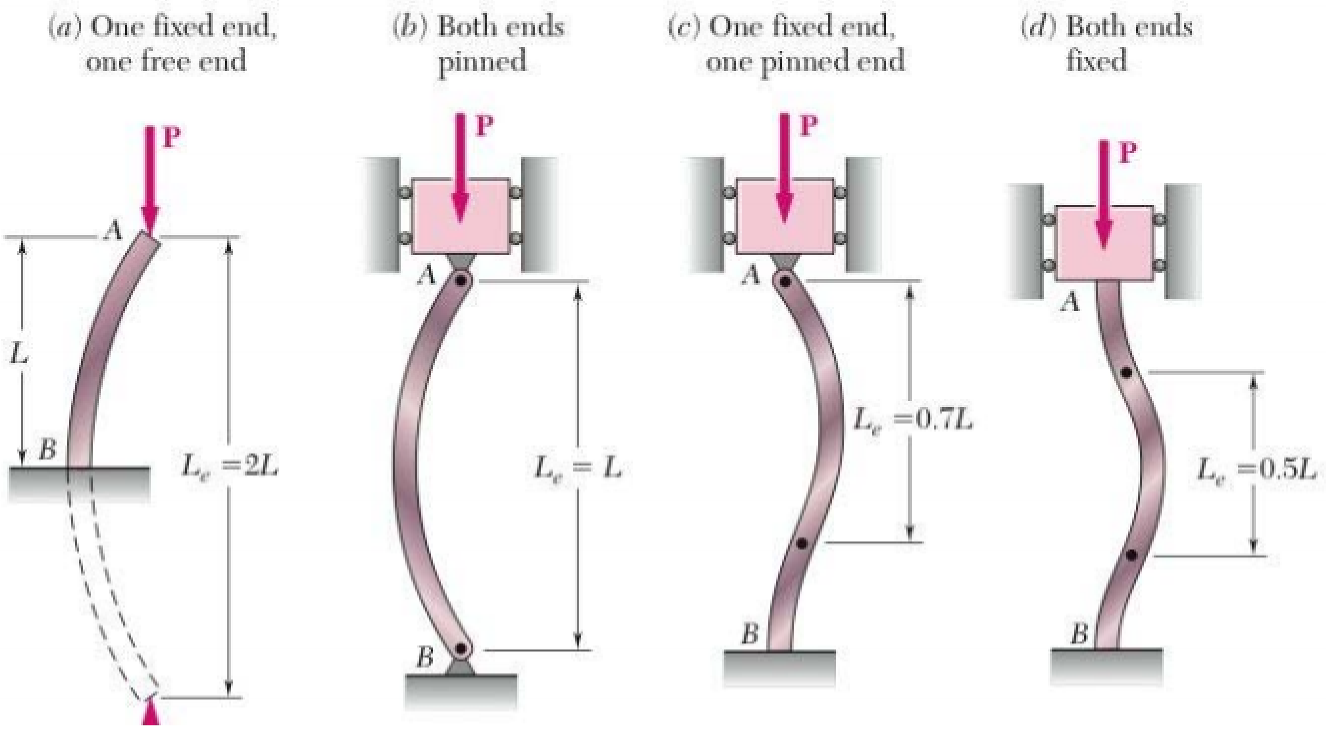
Reação induzida
pela assimetria

$$\left\{ \begin{array}{l} \Sigma M_{base} = M - F_{cr}.\delta_{max} = 0 \\ \cancel{\delta_{max} = \dfrac{4.M.L^2}{\pi^2.E.I}} \end{array} \right. \qquad \frac{d^2\delta}{dx^2} = \frac{M}{E.I}$$

Tirando M da equação:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2.E.I}{(2.L)^2}$$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 . E . I}{(\mathbf{k} . L)^2}$$



k = 2 k = 1 k = 0,7 k = 0,5

Exercício de flambagem

Refazer questões

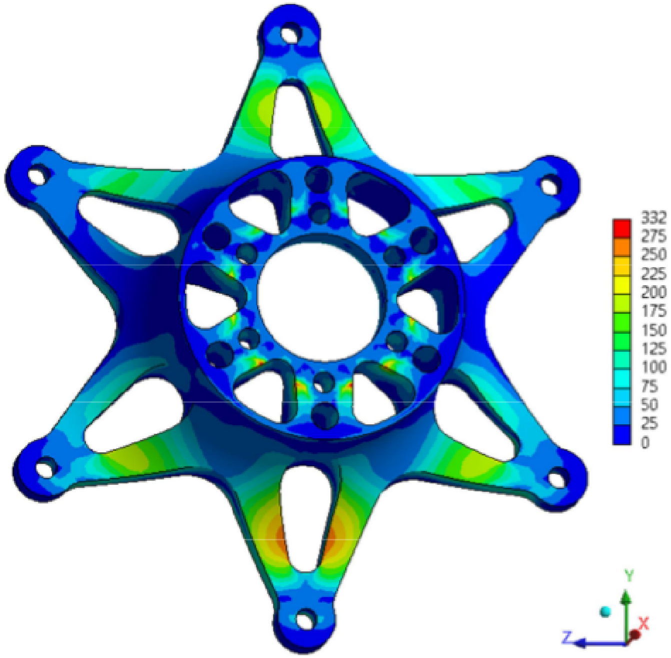
Abordagens mais avançadas

Teórica

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = \frac{1+\nu}{2}\left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y}\right)$$

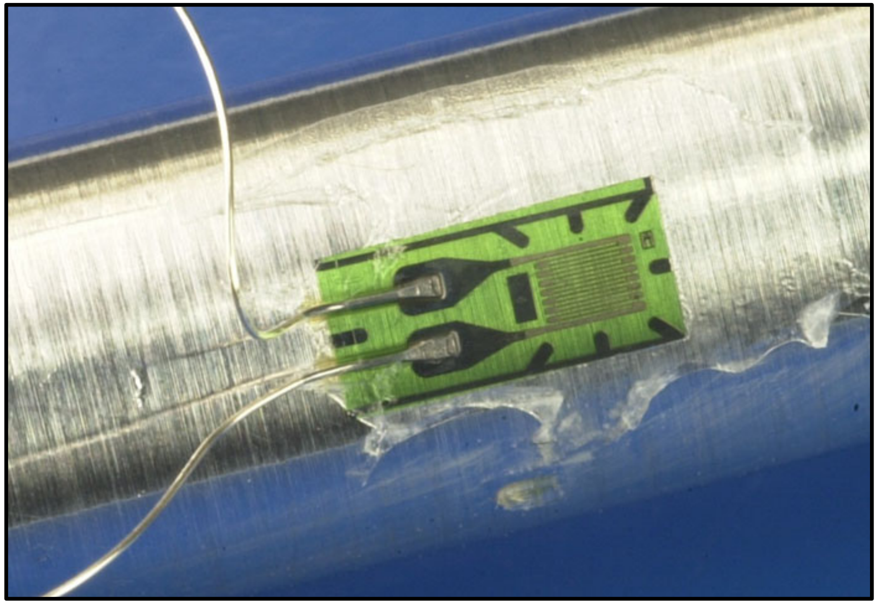
Teoria da elasticidade

Numérica



Método dos elementos finitos

Experimental



Strain gauge