

Propriedades dos materiais

Antonio Figueiredo

Renata Monte

Objetivo principal:

- **Apresentar as principais propriedades mecânicas dos materiais de construção civil.**

Propriedades mecânicas

Propriedades associadas com a capacidade que o material tem de resistir a esforços mecânicos
(fundamental para materiais estruturais)

Resistência

Tenacidade

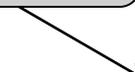
Fluência

Resiliência

Dureza

Rigidez

Módulo de elasticidade



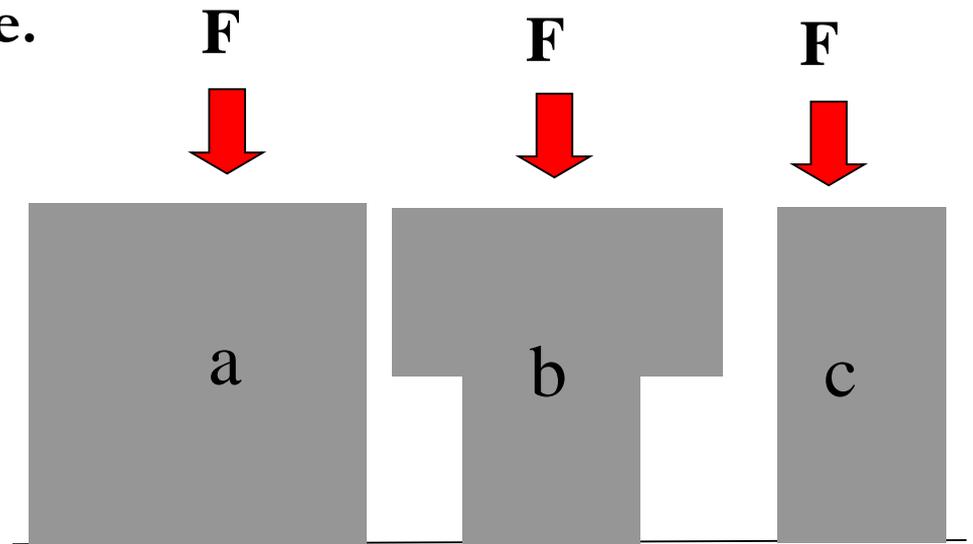
Tensão

É a relação entre a carga aplicada e a área resistente.

$$\sigma = \frac{F}{A_{resistente}}$$

É expressa em

- $\text{N/m}^2 = \text{Pa}$,
- $\text{MPa} = \text{N/mm}^2$.



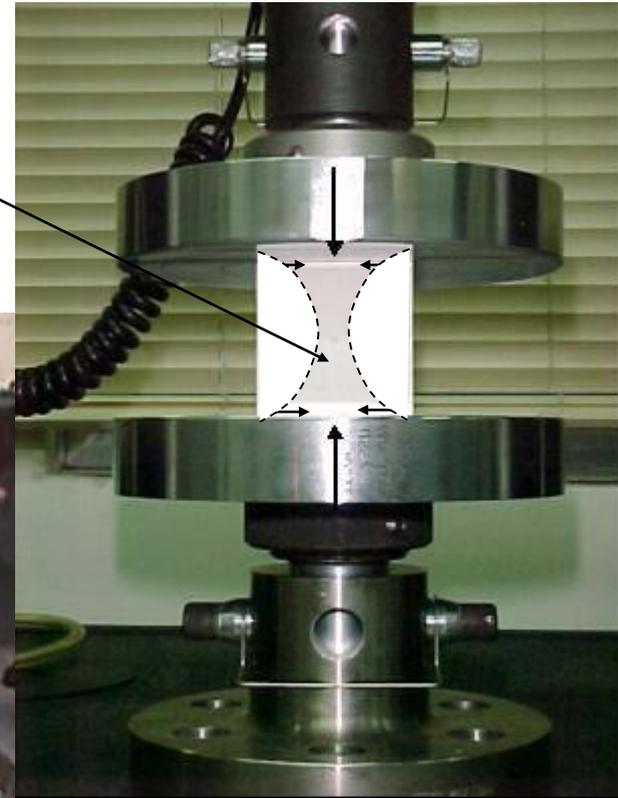
Compressão

- Resistência à compressão

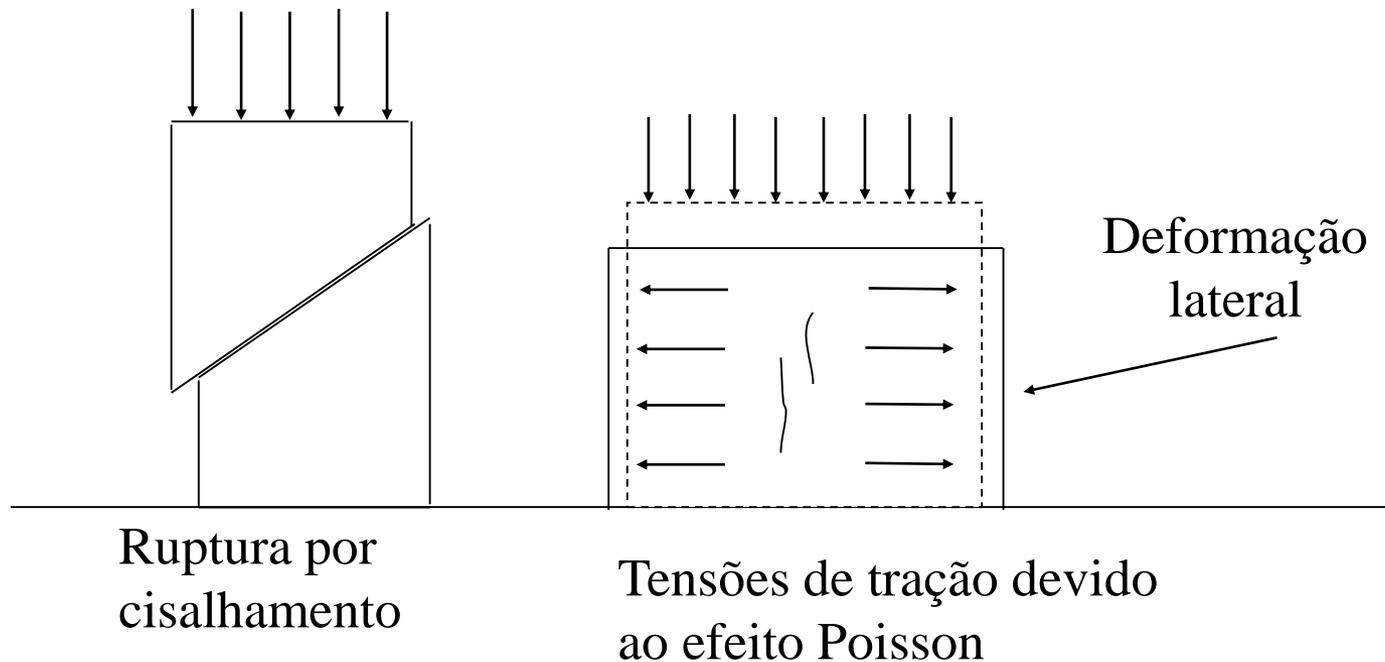
$$f_c = \frac{P_{rup}}{A}$$

- Influência
 - da forma do cp
 - velocidade de carregamento
 - temperatura
 - umidade

Região de influência da restrição dos planos de aplicação da carga



Formas de ruptura em ensaios de compressão

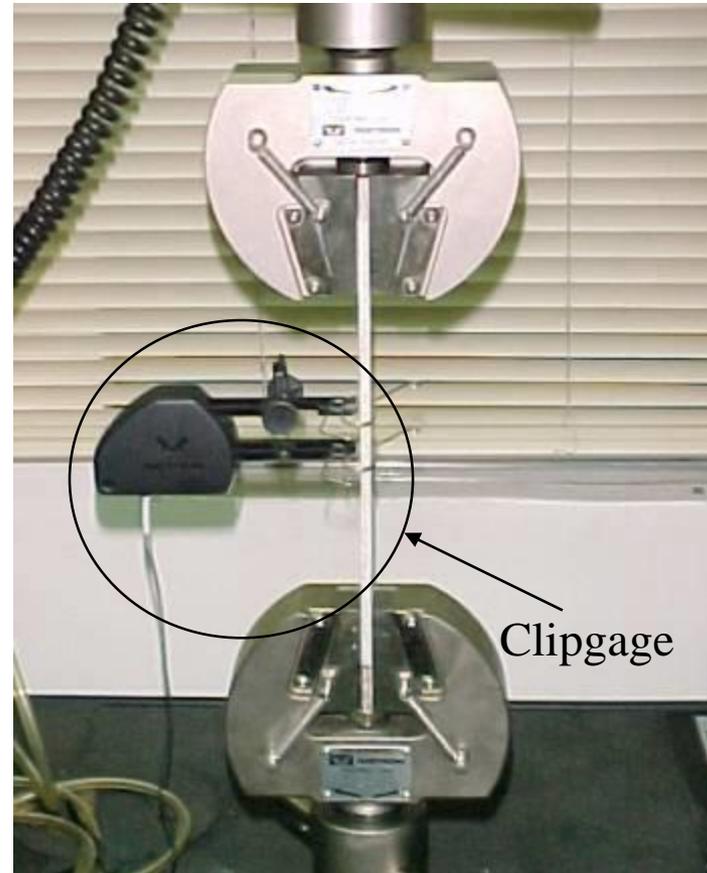


Tração direta

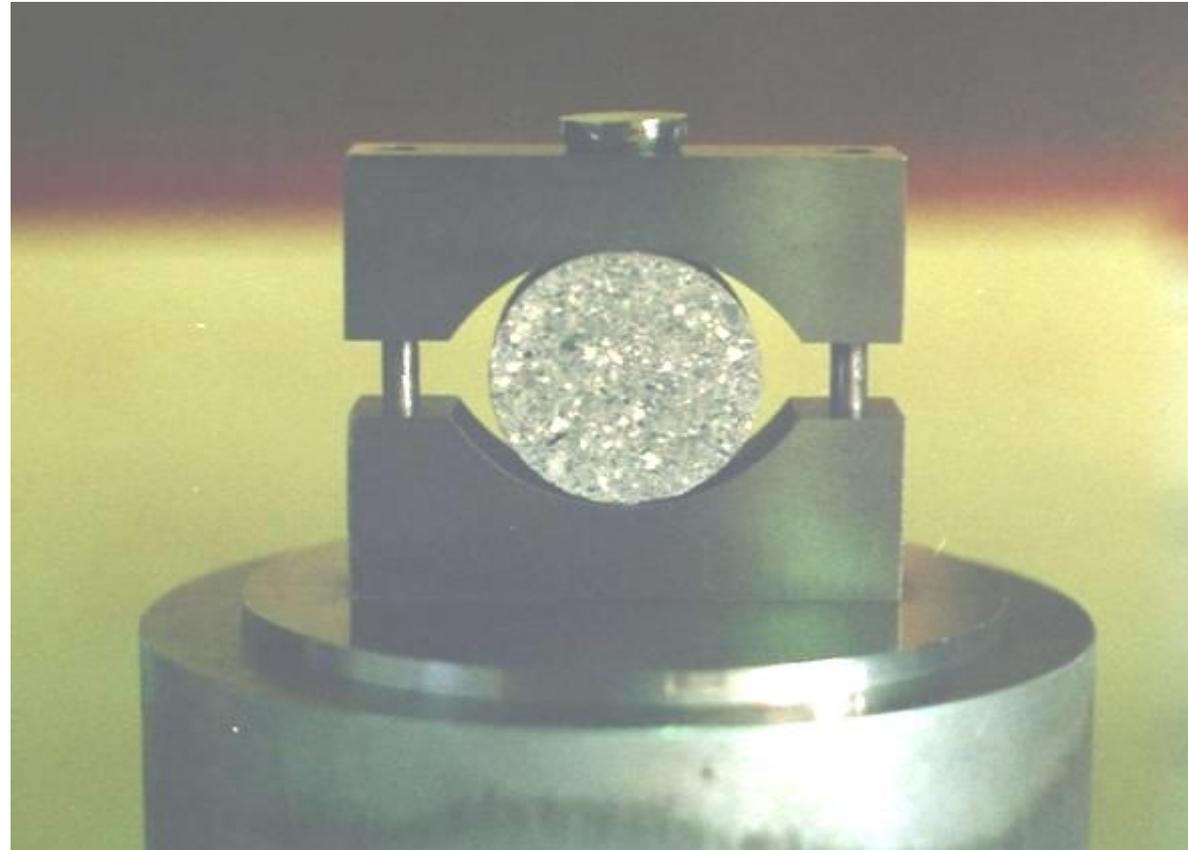
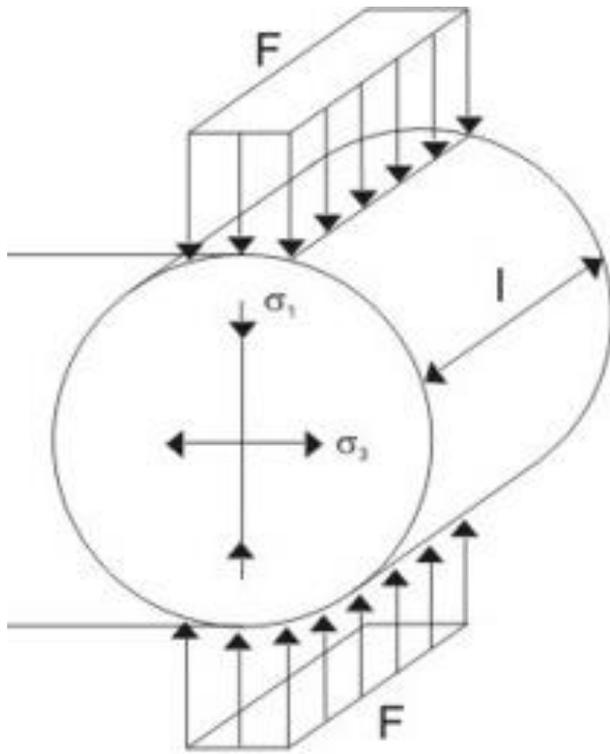
- Resistência à tração

$$f_t = \frac{P_{rup}}{A}$$

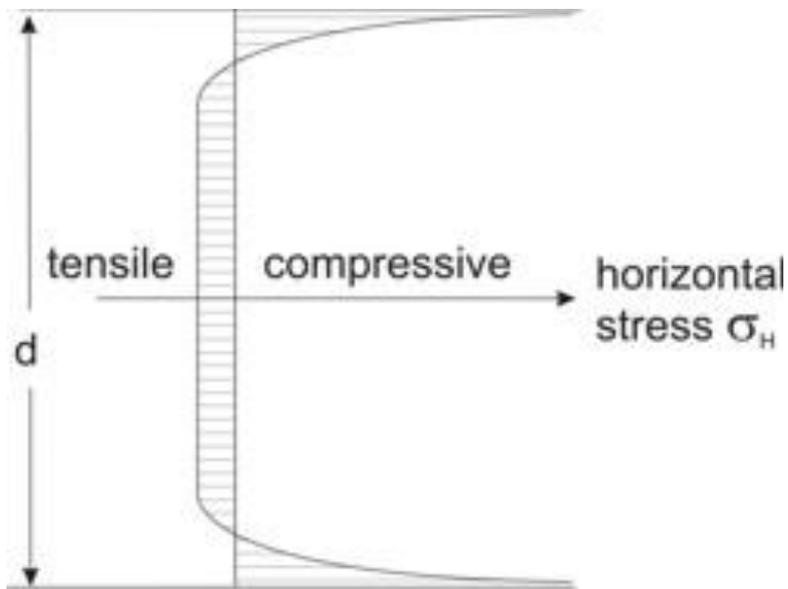
- Sistema de garras
- Forma do corpo-de-prova
- Medidor de deformação



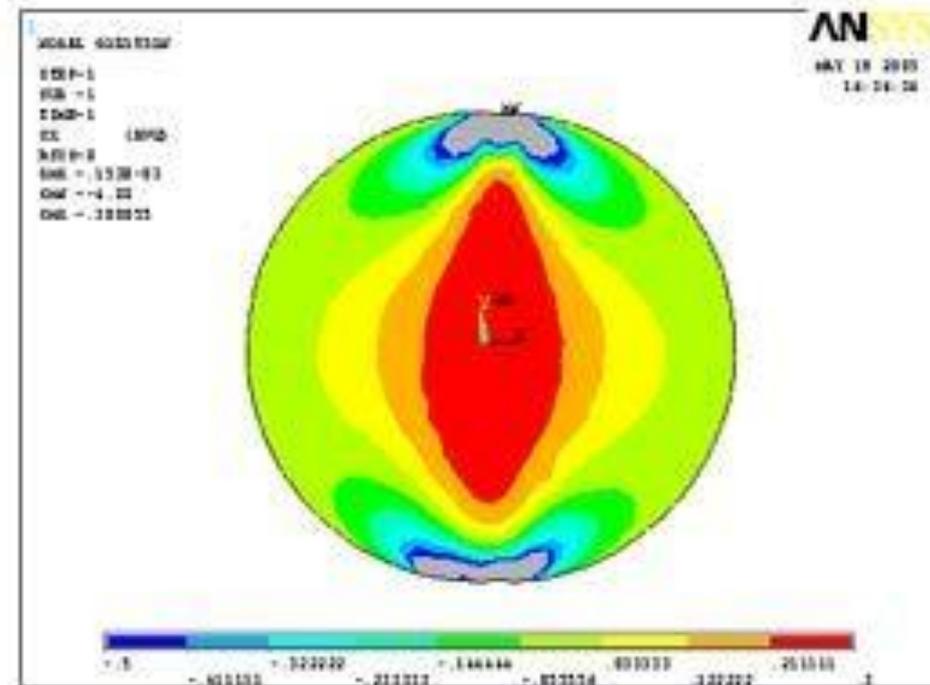
Teste brasileiro, o que mede?



Resistência à Tração – Teste brasileiro



d - diameter of the sample



FEM Simulation of a Brazilian Disk Test

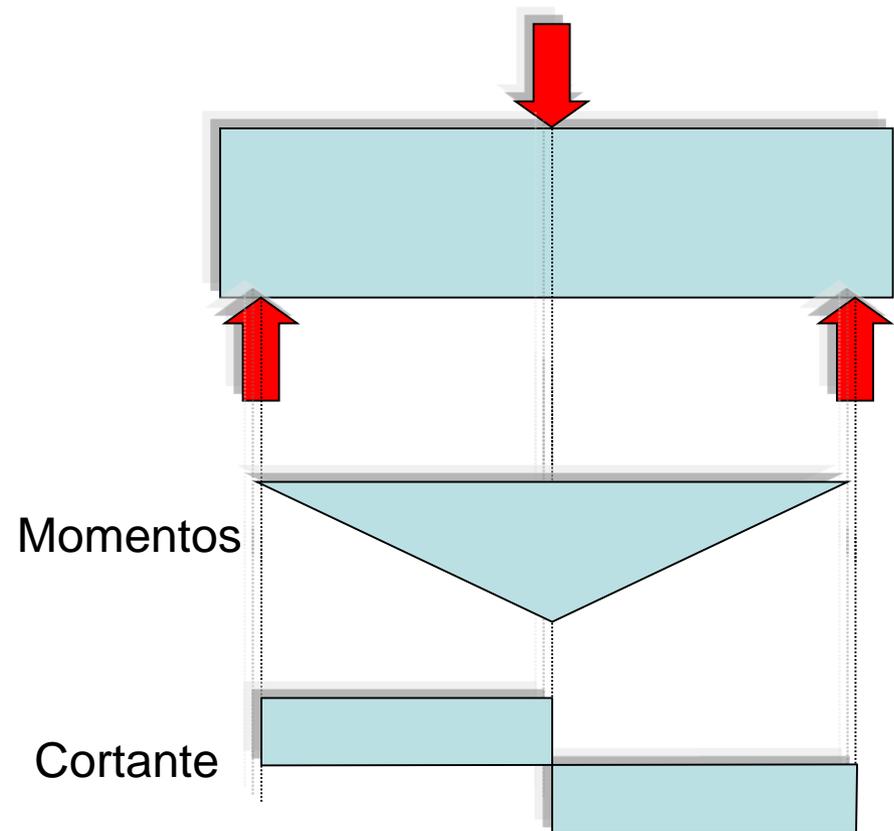
Resistência à Tração na flexão

- Assume elasticidade linear
 - Módulo de ruptura
- Três pontos

$$MOR = \frac{3}{2} x \frac{PL}{be^2}$$

- Quatro

$$MOR = \frac{PL}{be^2} \quad E = \frac{23L^3}{1296I} \frac{P}{\delta}$$



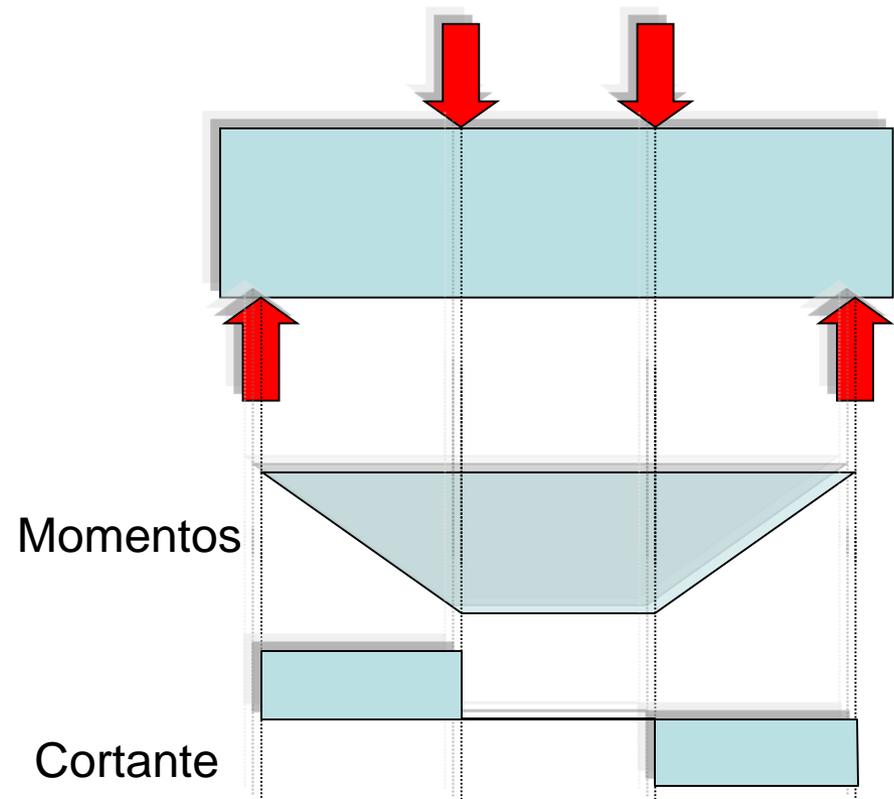
Resistência à Tração na flexão

- Assume elasticidade linear
 - Módulo de ruptura
- Três pontos

$$MOR = \frac{3}{2} x \frac{PL}{be^2}$$

- Quatro

$$MOR = \frac{PL}{be^2} \quad E = \frac{23L^3}{1296I} \frac{P}{\delta}$$



Resistência à Tração na flexão

- Assume elasticidade linear
 - A resistência à tração é definida pelo termo Módulo de ruptura
- Três pontos

$$MOR = \frac{3}{2} x \frac{PL}{be^2}$$

- Quatro pontos

$$MOR = \frac{PL}{be^2}$$

$$E = \frac{23L^3}{1296I} \frac{P}{\delta}$$

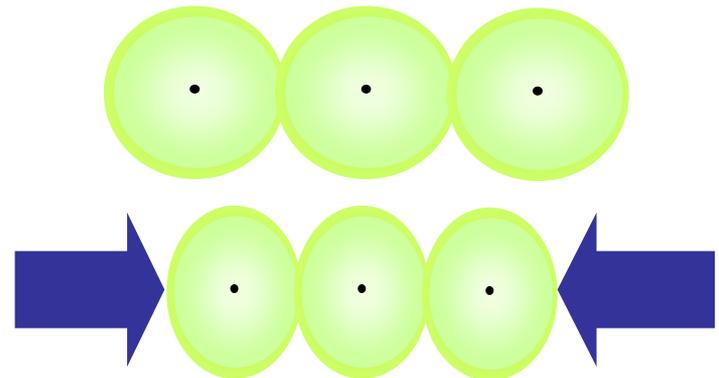
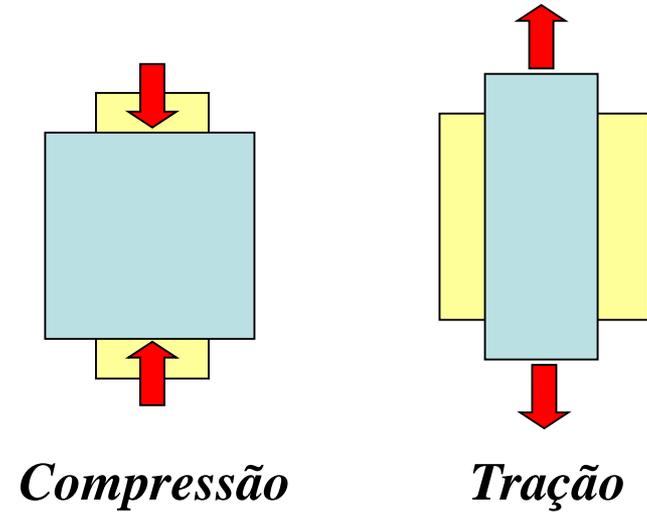


LVDT: mede a flecha no meio do vão

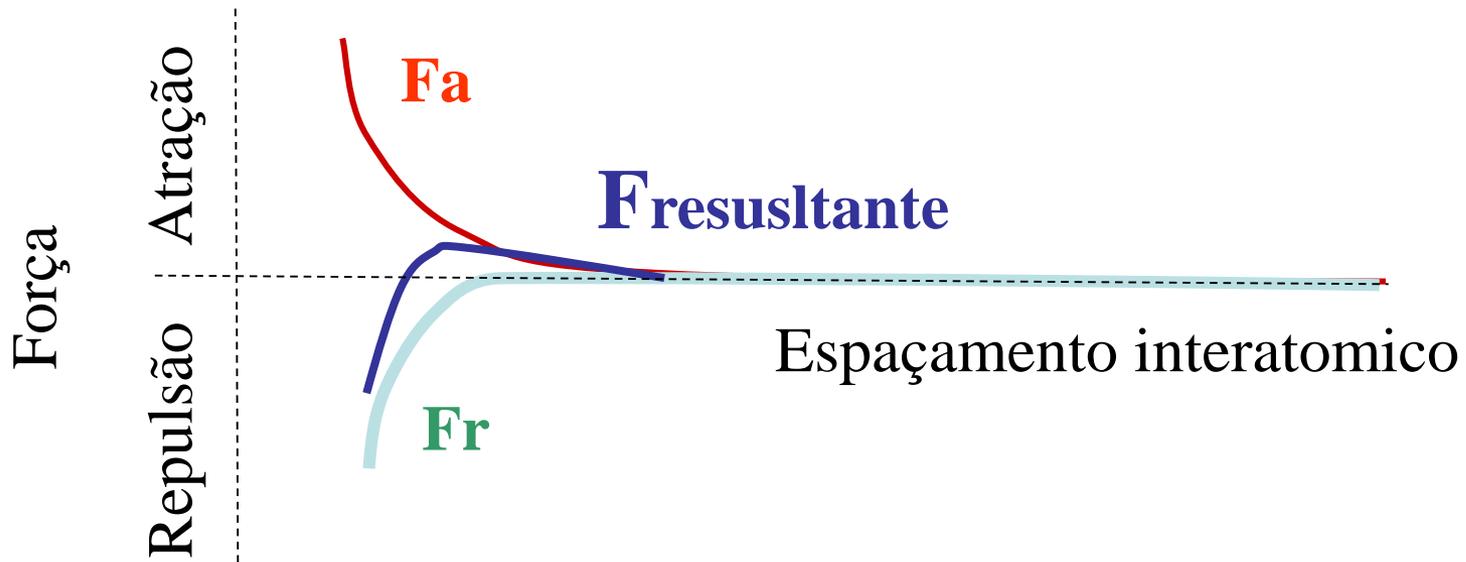
Deformação específica

Deformação elástica

- Instantânea
- Reversível
 - Volta às dimensões originais quando retira a carga
- Variação de volume
- Linear ou não linear



Forças Interatômicas

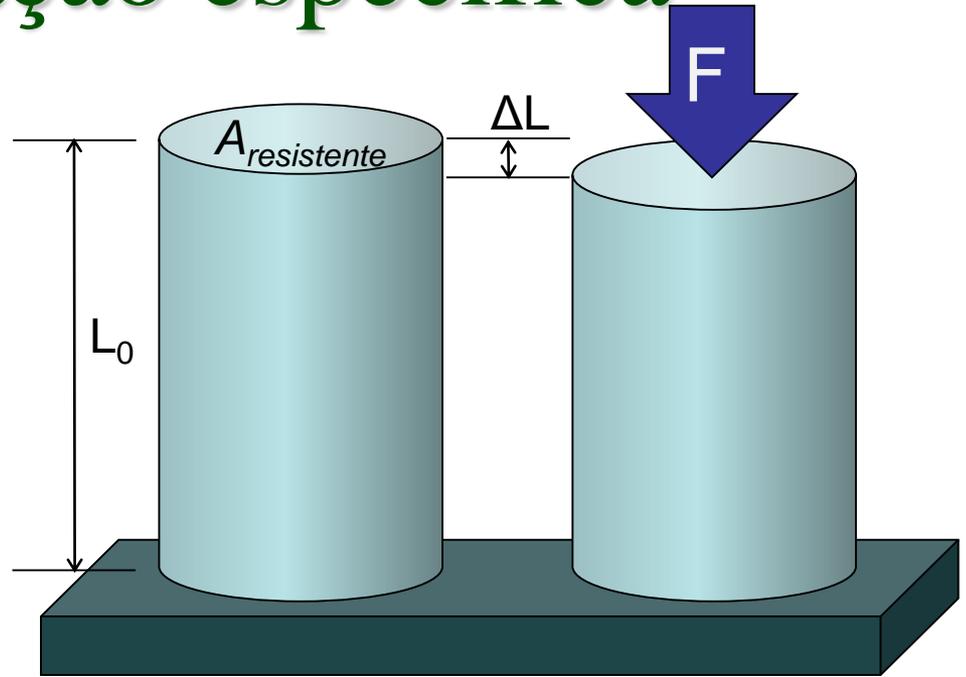


atração + **repulsão** \rightarrow **ligação**

Deformação específica

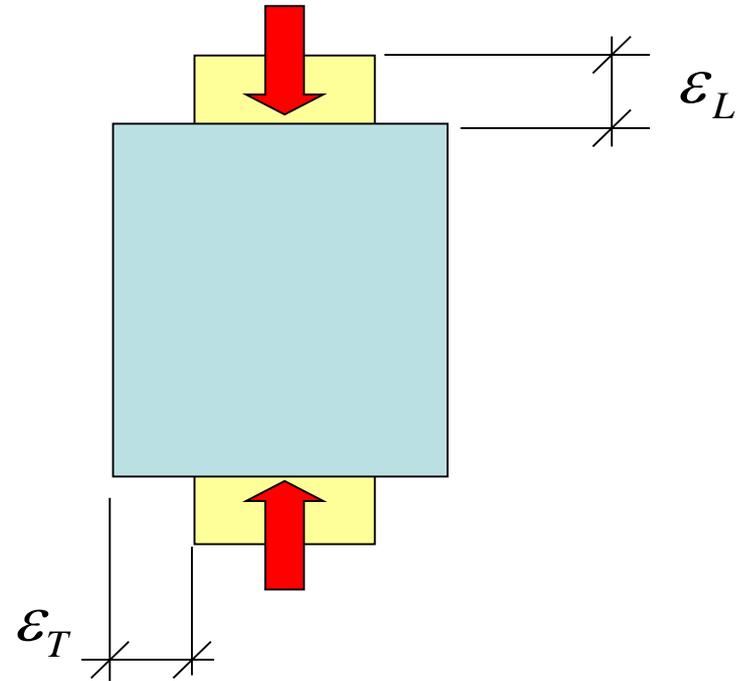
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

(L/L) m/m, mm/mm



Coeficiente de Poisson

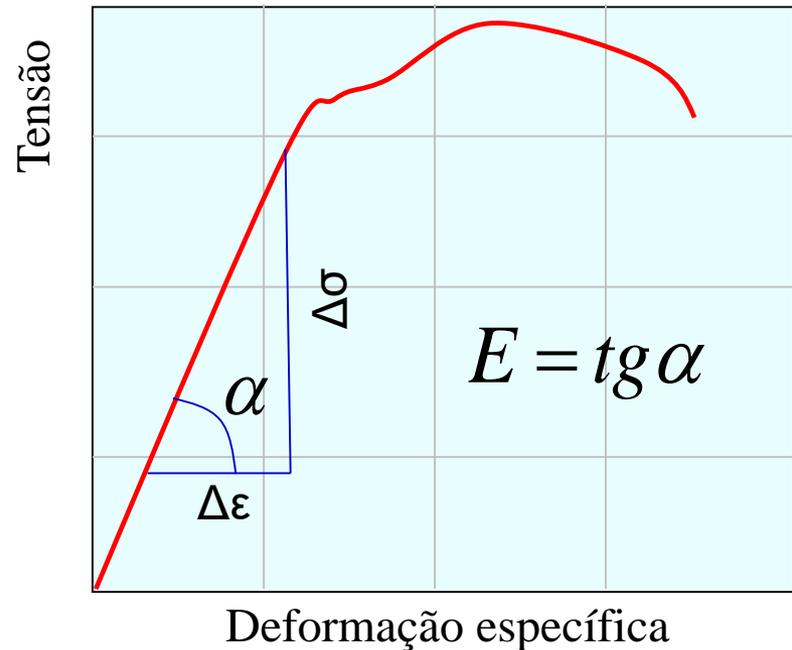
$$\nu = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_L}$$



- Exemplo:
 - Poisson do concreto é aprox. = 0,2

Módulo de elasticidade

- Lei de Hook:
Deformação é
proporcional a tensão
(elasticidade linear)
- Módulo de elasticidade
ou Young

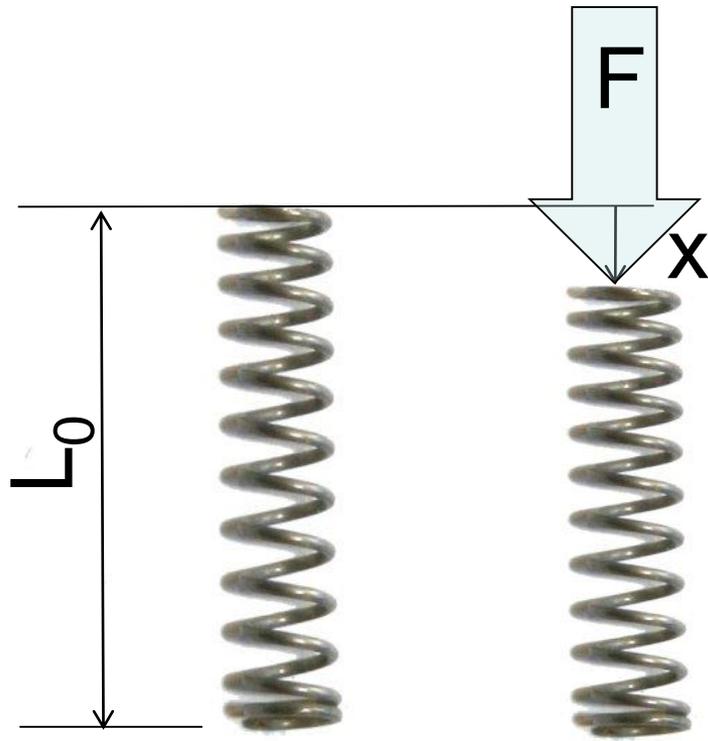


$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon}$$

Deformação específica

Independe do comprimento de medida

Módulo de elasticidade

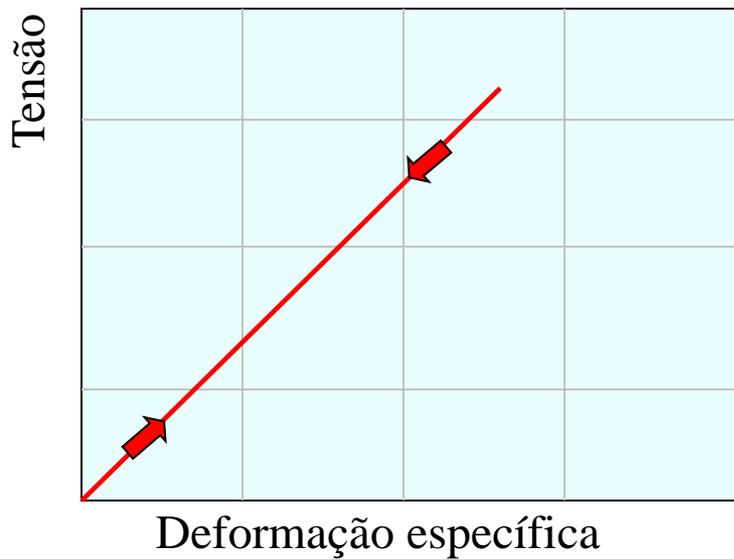


$$\frac{F}{A} = k \cdot \frac{x}{L_0}$$

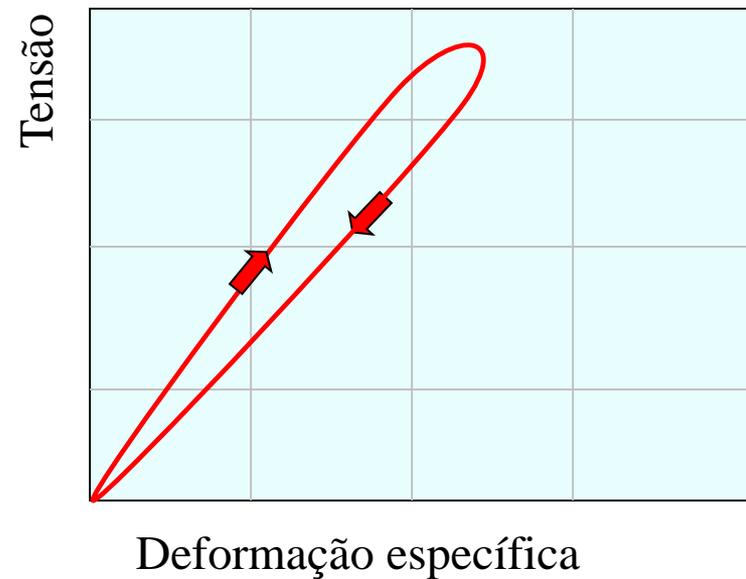
$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Módulo de elasticidade

Elástico linear

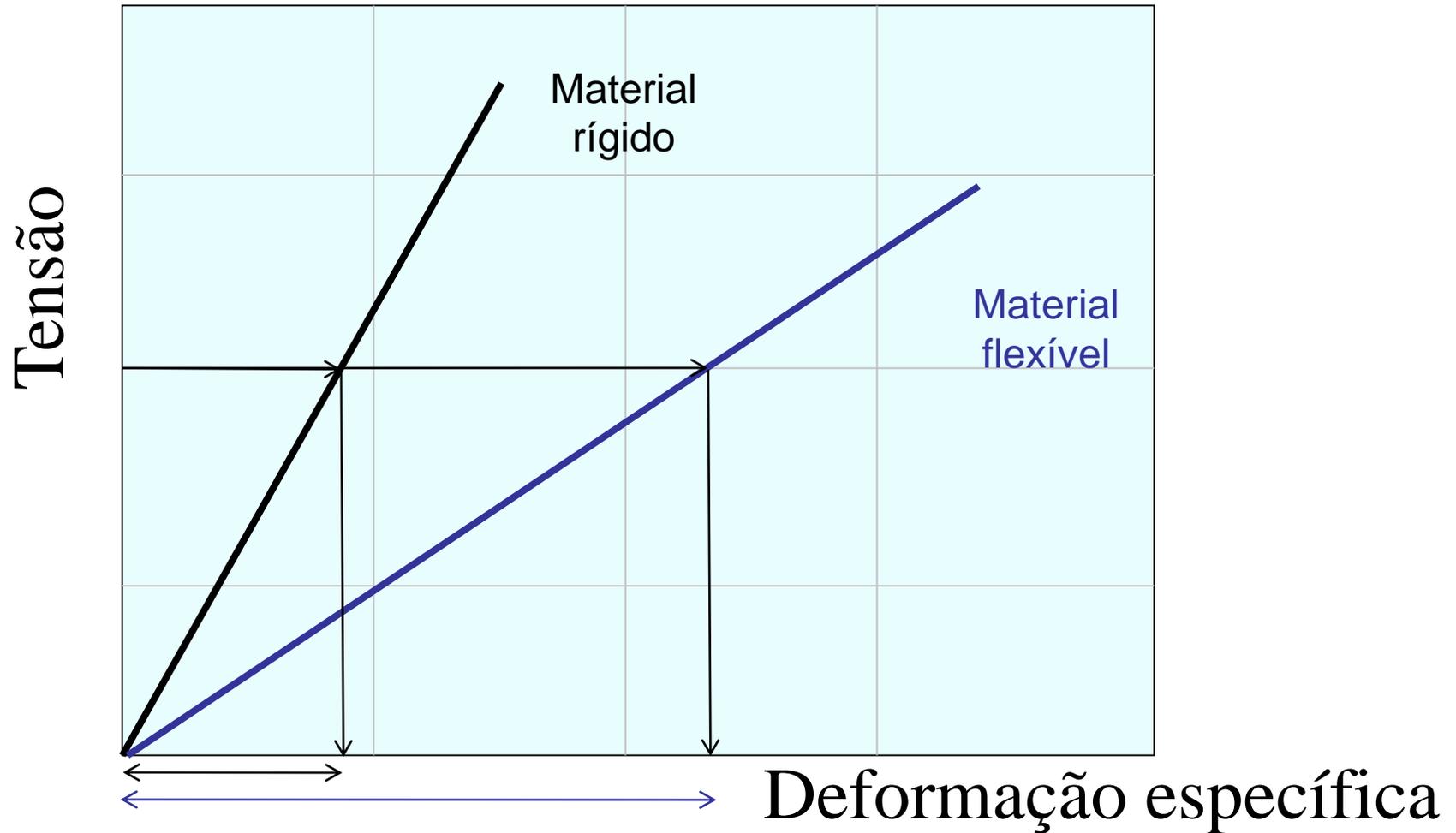


Elástico não linear



Módulo de elasticidade

(exemplos)



Módulo de elasticidade

(exemplos)

Material	Módulo de elasticidade (GPa)
Concreto	15 - 40
Aço	210
Alumínio	70
Fibras de carbono	200 – 450
Borracha	0,001 – 0,02

Fonte: TAYLOR, GD (1991).

Deformação plástica e as formas de ruptura

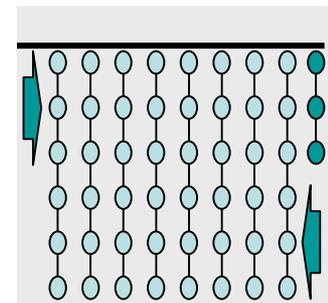
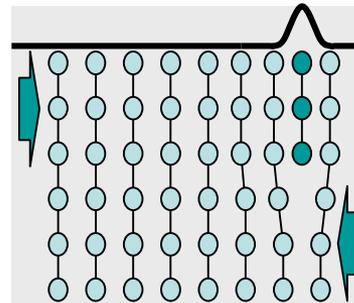
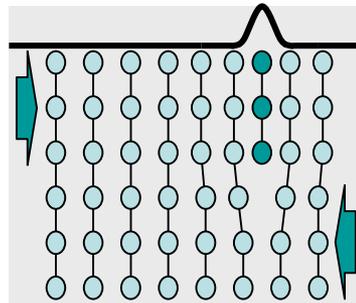
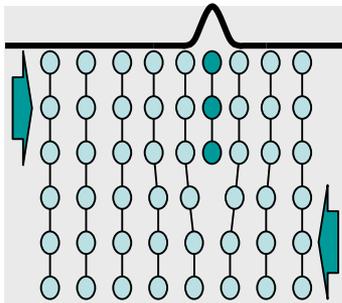
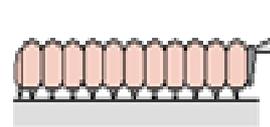
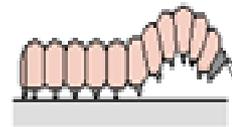
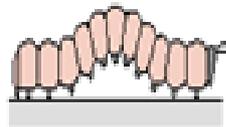
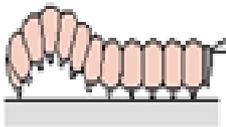
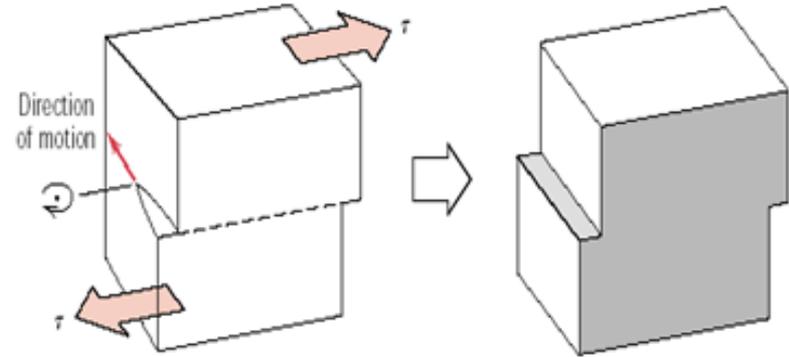
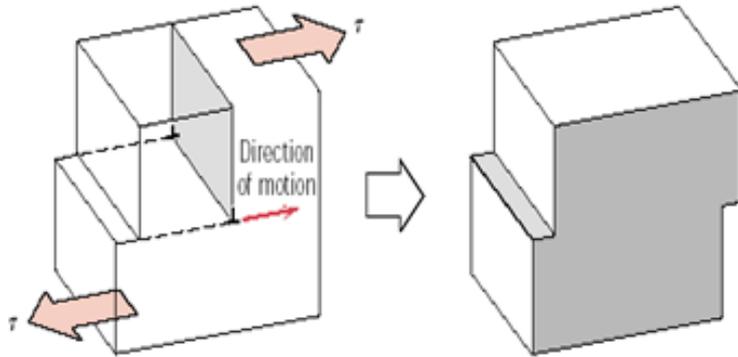


<http://arteinfantil-elartes.blogspot.com/2010/09/argila.html>

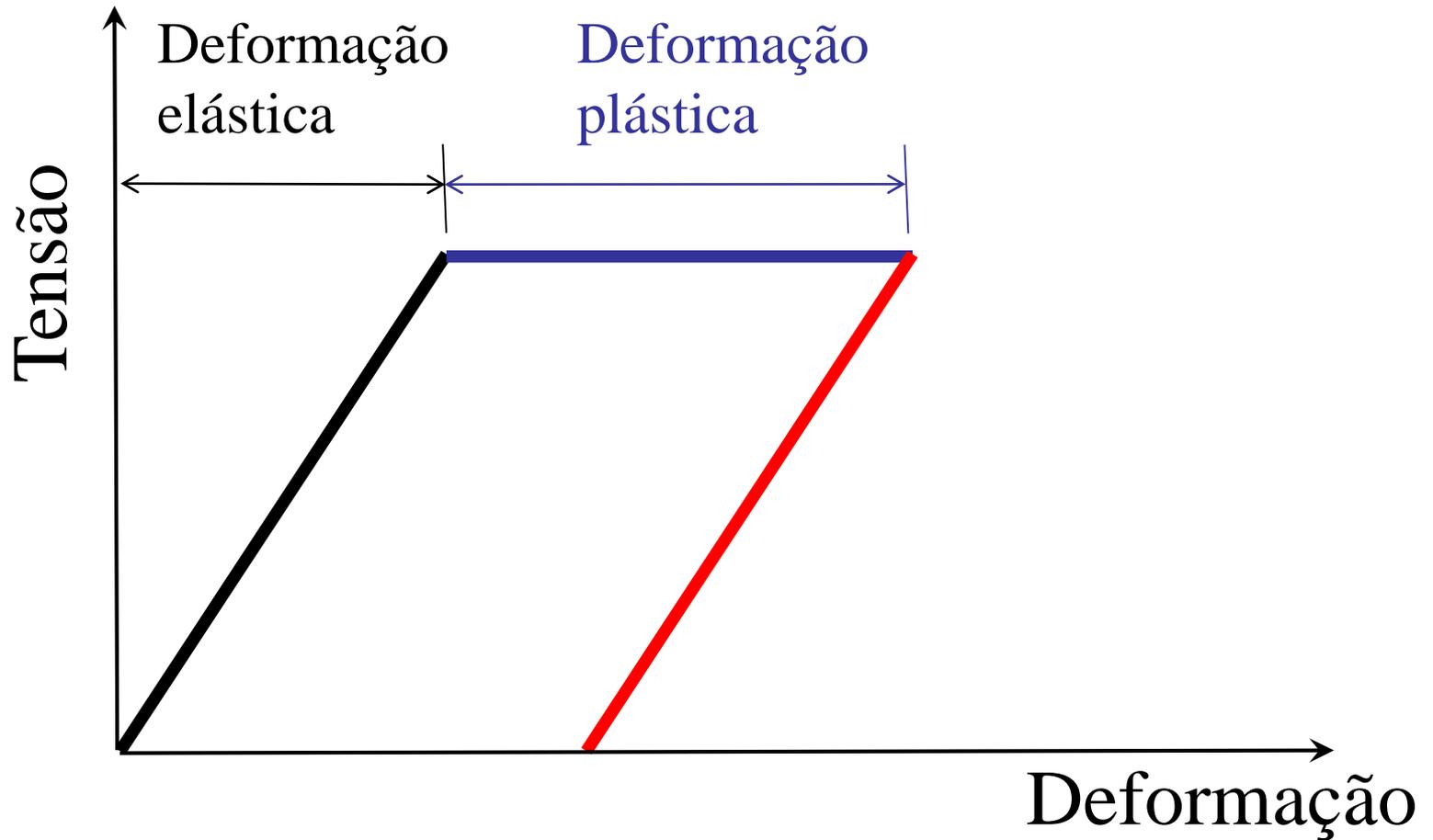
Deformação plástica

- Pode ocorrer acima de determinado nível de tensão
- Instantânea e
- Irreversível
- Sem mudança de volume

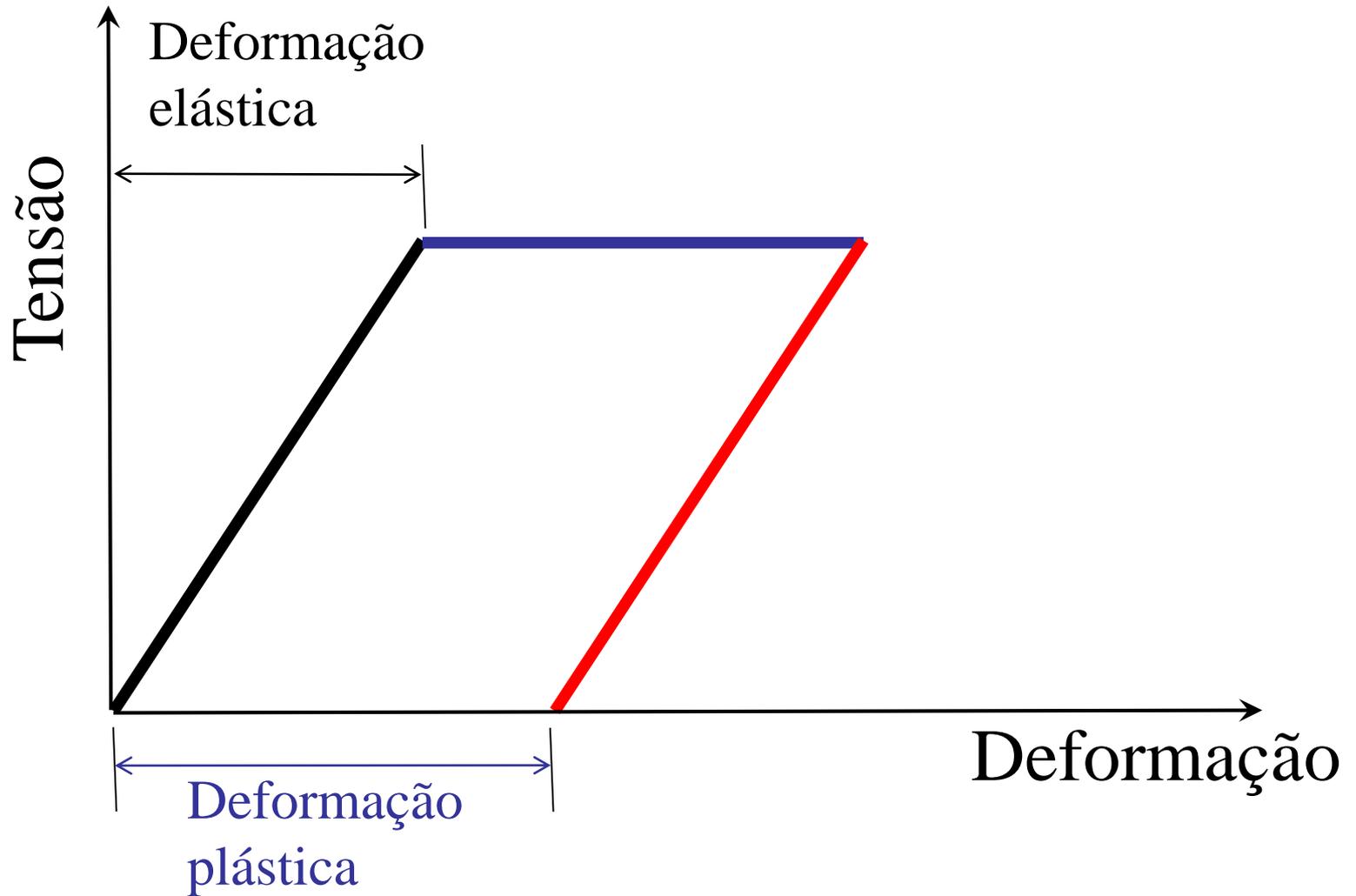
Movimento de discordâncias



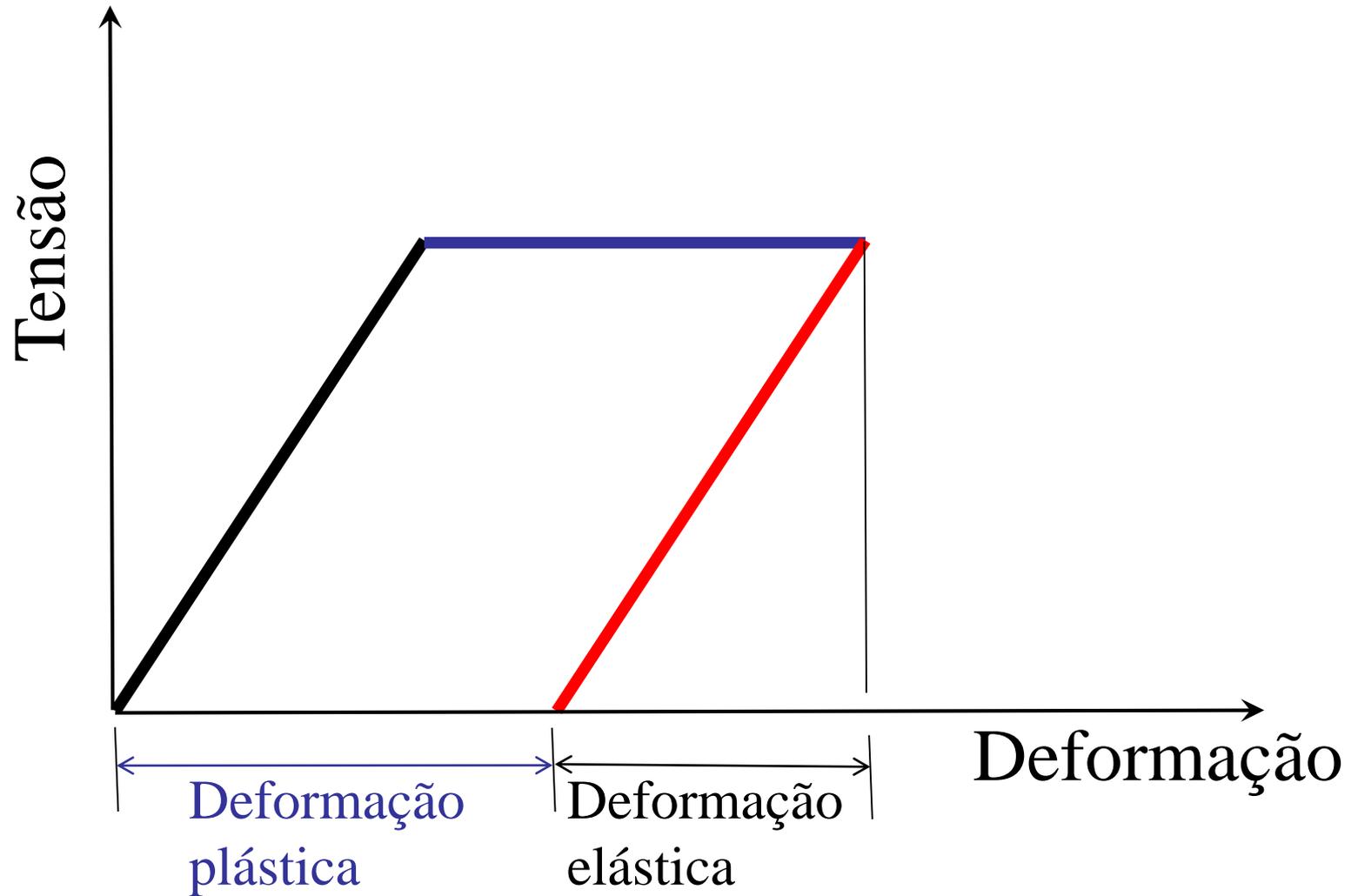
Deformação plástica



Deformação plástica

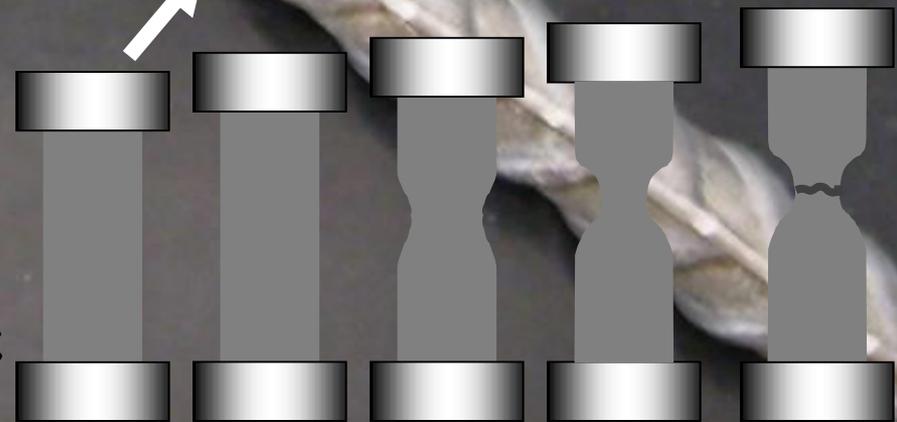
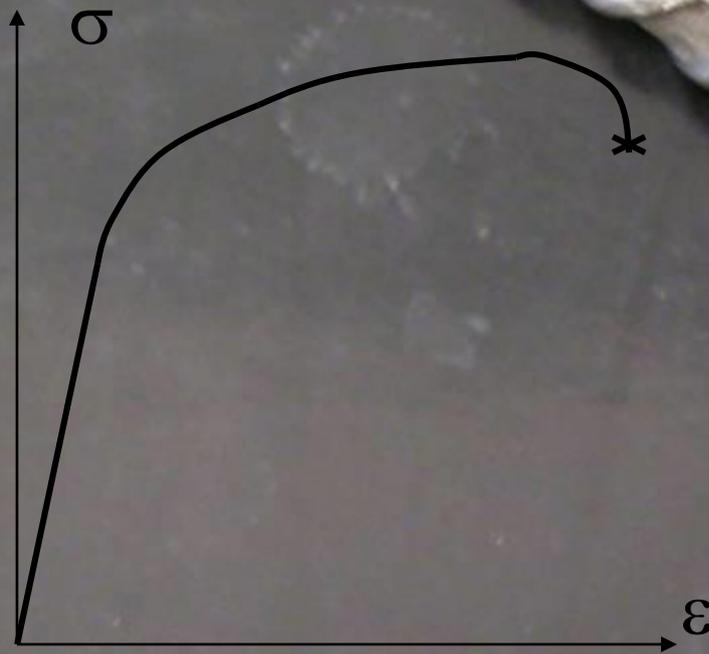


Deformação plástica



Comportamento mecânico dos materiais dúcteis (metais)

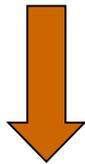
Material elasto-plástico



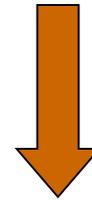
Ensaio de tração direta

Formas de ruptura

- Ruptura frágil
 - Ocorre sem que o material apresente deformações plásticas significativas
- Ruptura dúctil
 - Ocorre com o material apresentando deformações plásticas

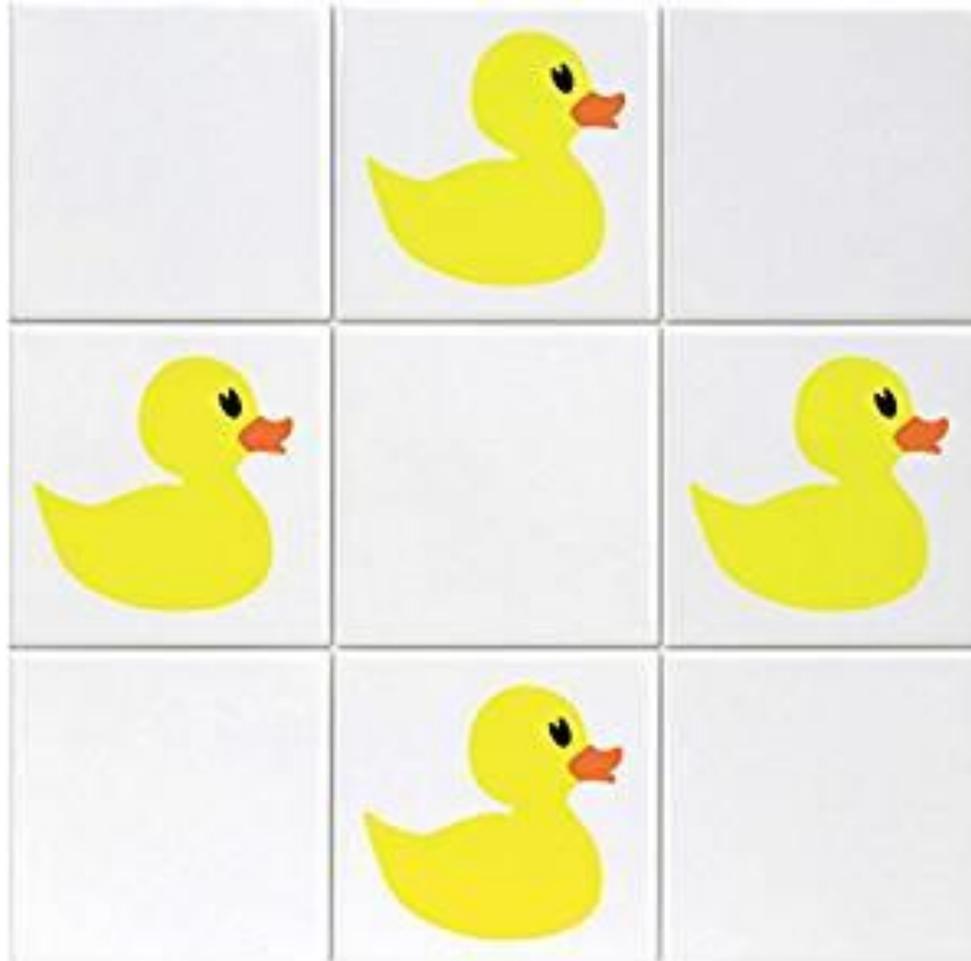


Ruptura catastrófica
(sem aviso)



Ruptura precedida
de grandes
deformações visíveis

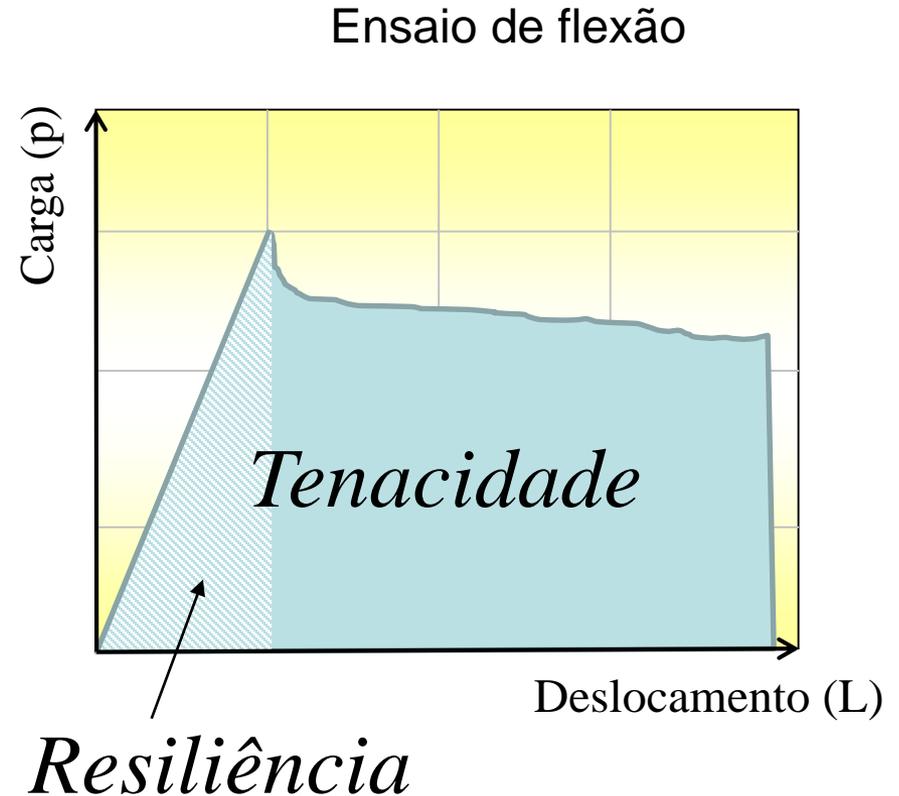
Is this duck tile ductile?



Energias de ruptura

- Tenacidade
 - Energia despendida até sua ruptura
- Resiliência
 - Energia absorvida até seu limite elástico
- Conceito de trabalho

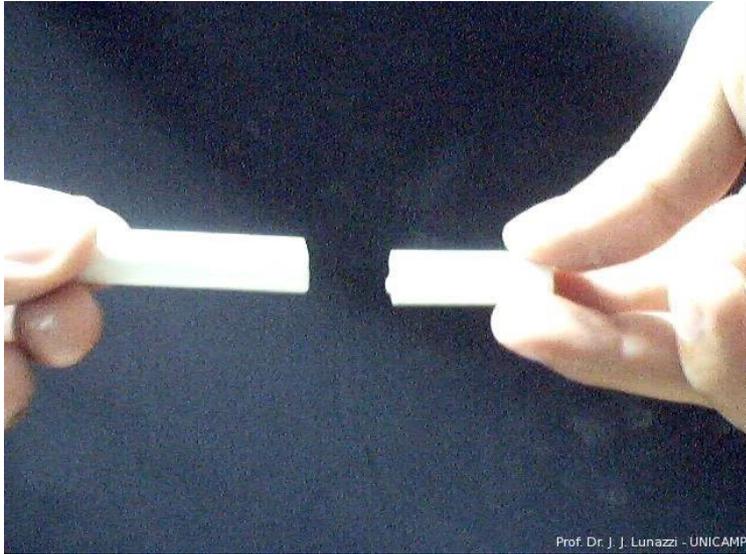
$$\tau = F.d$$



Formas de ruptura

- Material frágil
 - Material absolutamente frágil: apenas deformações elásticas antes da ruptura.
 - Frequentemente: pouca ou nenhuma deformação plástica antes da ruptura
 - Pouca dissipação de energia
 - Baixa resistência à impactos
- Material dúctil
 - Grande deformação plástica antes da ruptura
 - Grande dissipação de energia
 - Alta resistência à impactos

Forma de ruptura

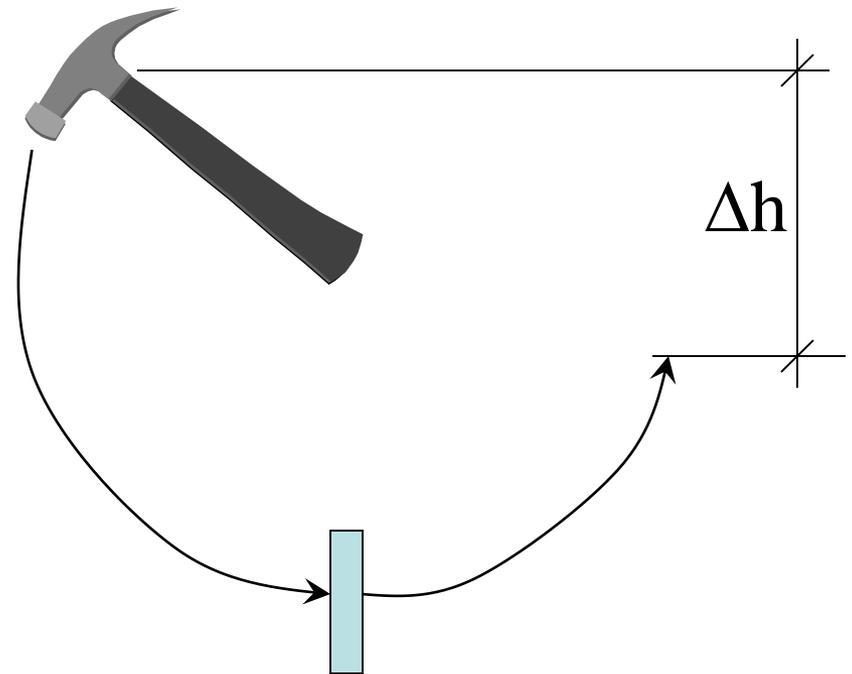


Impacto



Impacto

- Impacto = carga de curta duração
- Associado a capacidade de absorção de energia
 - **Trabalho de deformação**
 - **Formação de superfície**



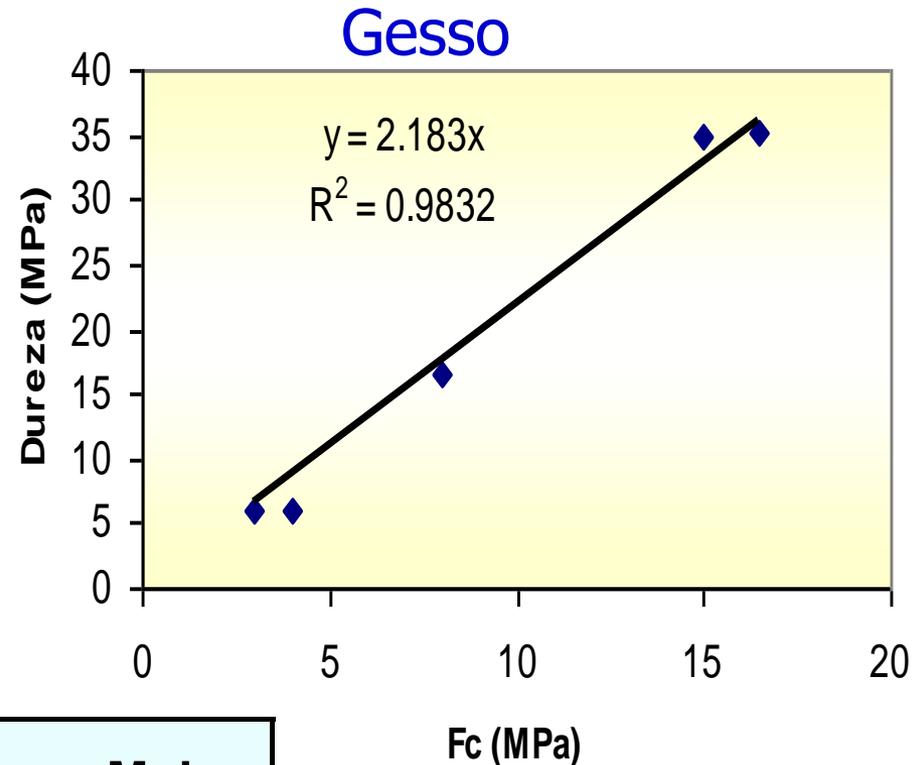
Ensaio de pêndulo de Charpy

Dureza

- Resistência à penetração oferecida pela superfície do material
- Associada à resistência à abrasão
- Medida por escalas
 - Mohs=f(escala comparativa com materiais de referência)
 - Brinell=f(área de penetração de bilha esférica)
 - Rockwell=f(profundidade de penetração de bilha padrão)

Dureza x resistência mecânica

- Pode-se relacionar a resistência mecânica de um material com a sua dureza (ensaio não destrutivo)



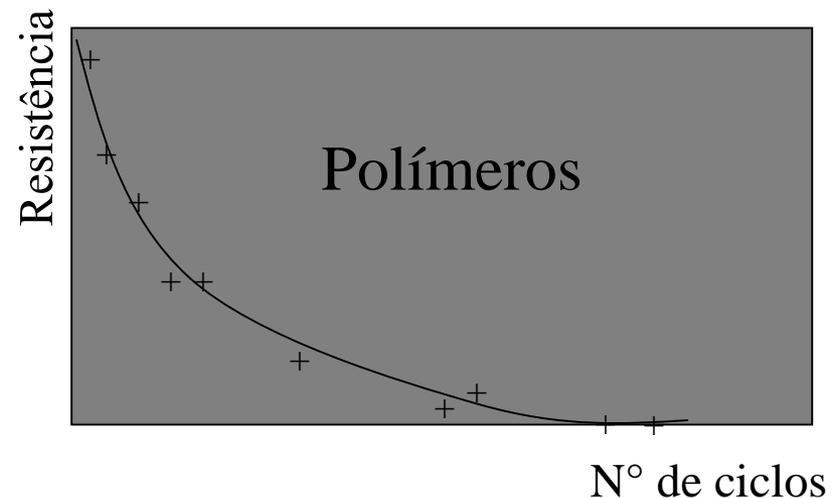
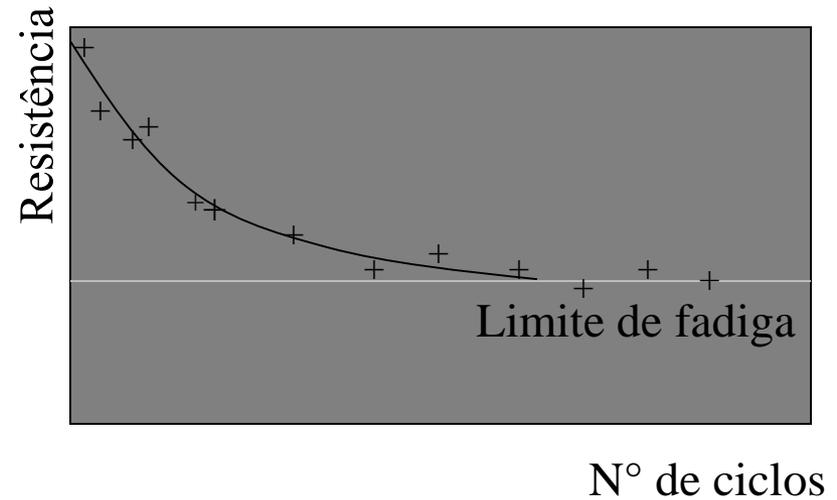
Exemplos:

Material	Dureza Brinell	Dureza Mohs
Aço carbono	200	Entre 4 e 5
Latão	100	Entre 2 e 3
Plásticos	12	Entre 1 e 2

Propriedades de longo prazo

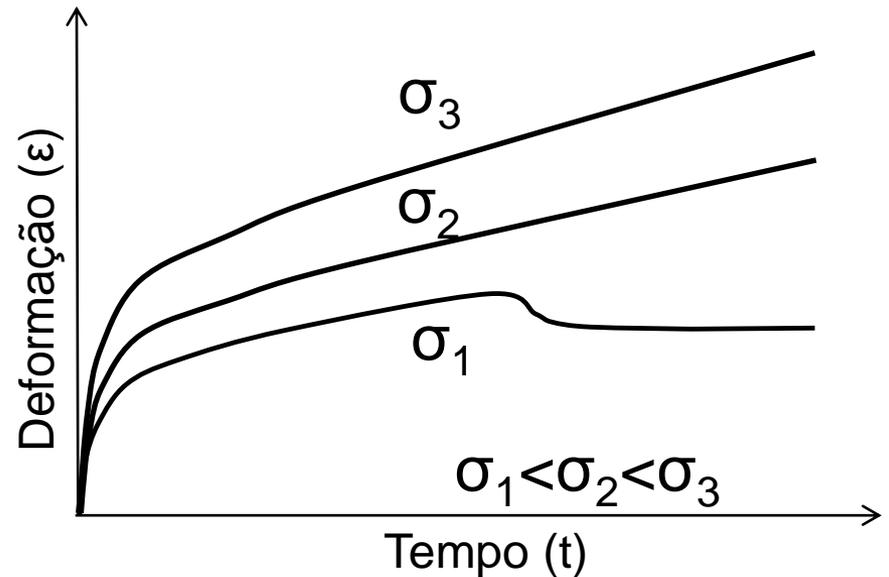
Fadiga

- Esforço cíclico → rompe em tensão $< R_{mec}$
- Função do nível de tensão



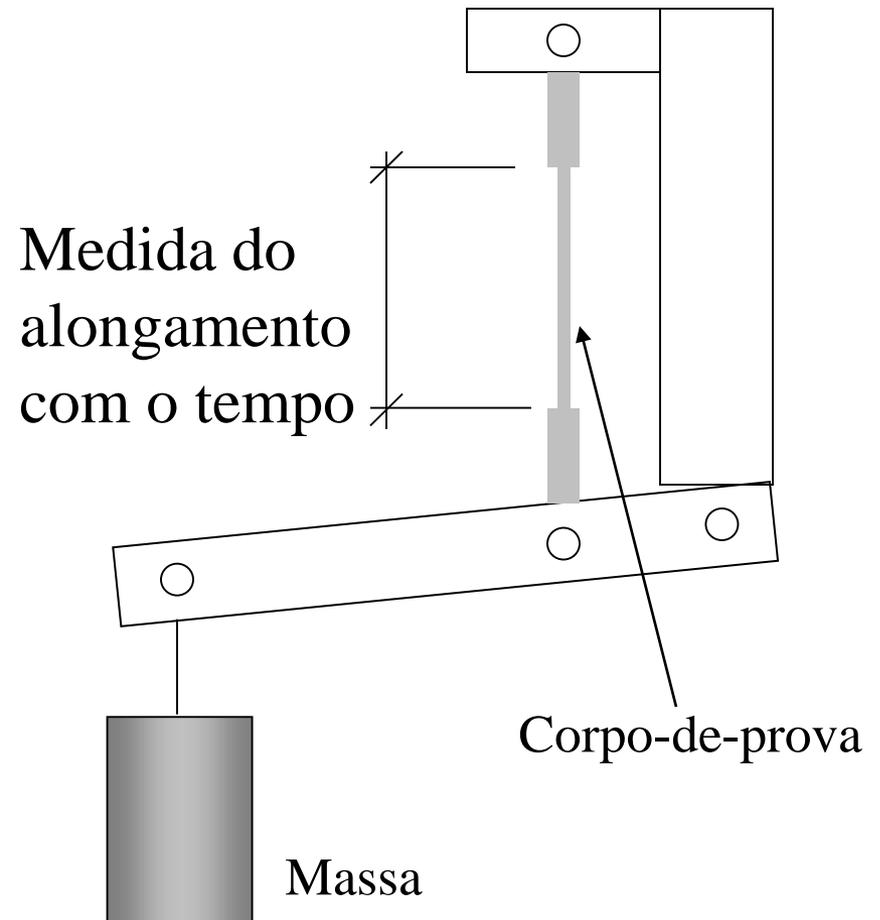
Deformação lenta

- Elástica ou viscosa (fluência)
- Depende do tempo, exemplos:
 - **Concreto, vidro, asfalto, rochas, metais, polímeros...**



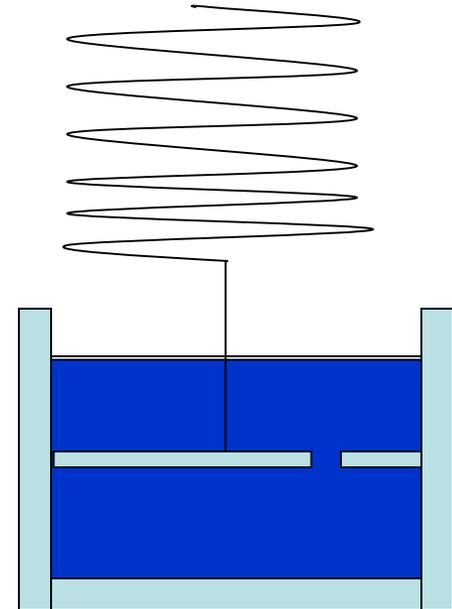
Fluência

- Tensão constante
- Deformação crescente
- Parcialmente irreversível
- Sólidos amorfos e fluidos
- Deslocamento relativo entre moléculas
- Deformação típica de concreto submetido a cargas de longa duração



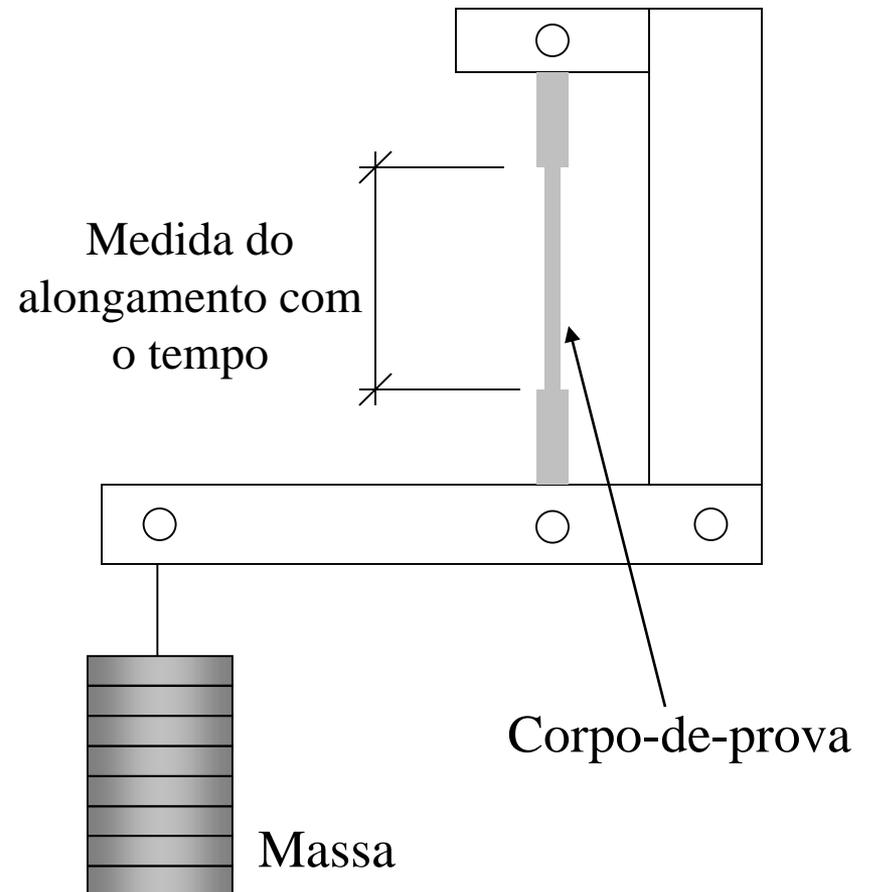
Relaxação

- Deformação constante imposta ao material
- Tensão decrescente com o tempo
 - Elástico
 - Aço de protensão
 - Argamassas de revestimento
- Mesmo “mecanismo” da fluência



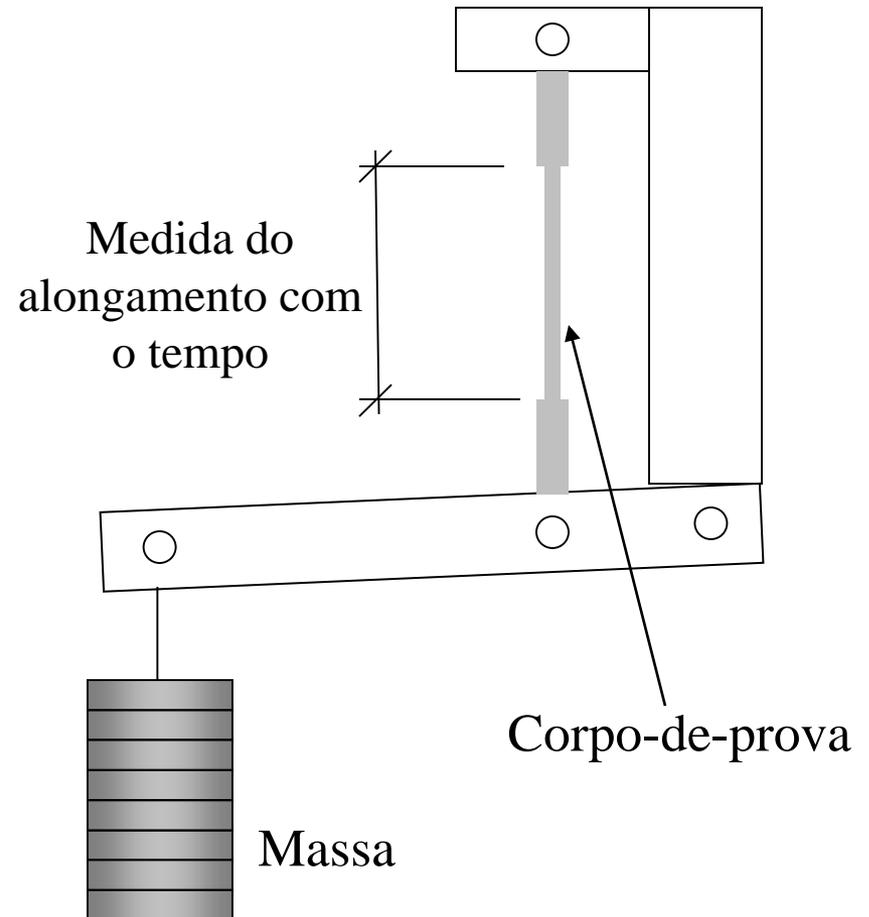
Ensaio de relaxação

- Deformação constante
- Tensão decrescente
- Remoção progressiva dos pesos.



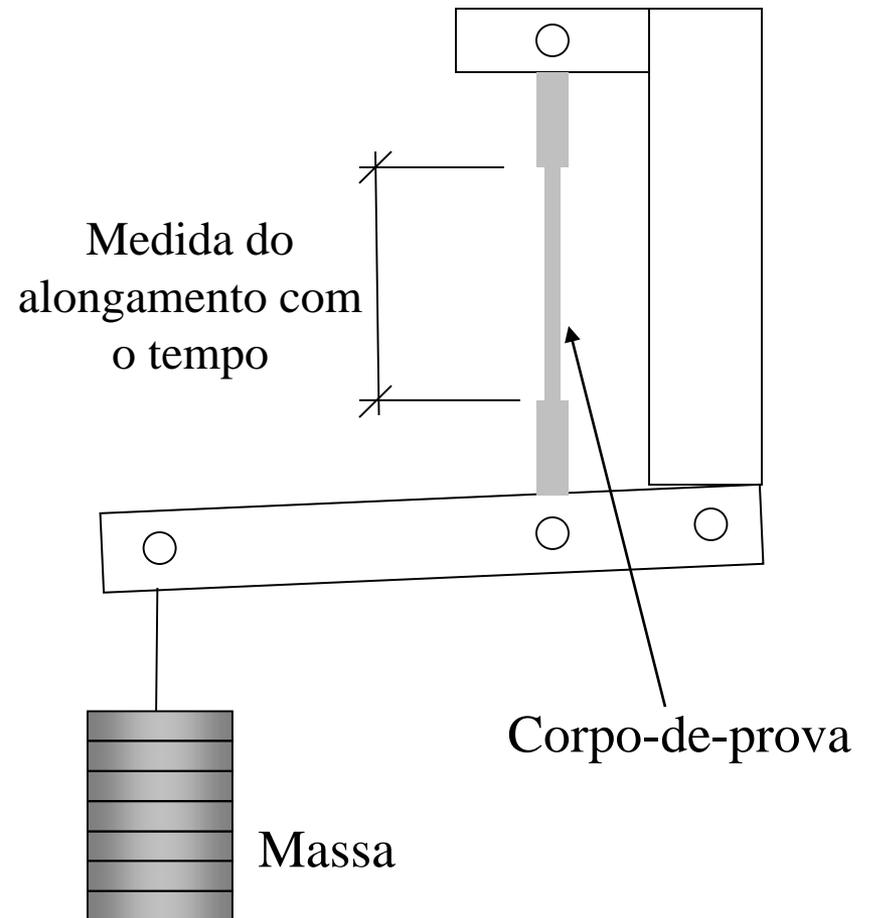
Ensaio de relaxação

- Deformação constante
- Tensão decrescente
- Remoção progressiva dos pesos.



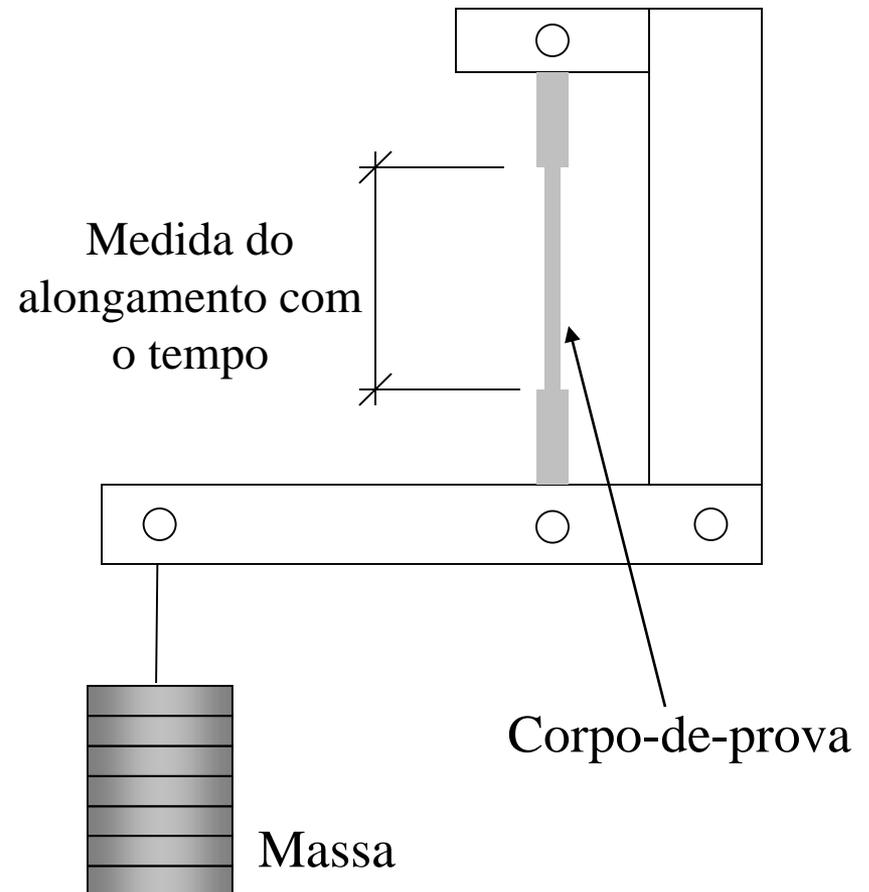
Ensaio de relaxação

- Deformação constante
- Tensão decrescente
- Remoção progressiva dos pesos.



Ensaio de relaxação

- Deformação constante
- Tensão decrescente
- Remoção progressiva dos pesos.



O problema de medir propriedades

- **Problema metrológico**
 - Precisão de medida
 - Calibração
 - Prensa
 - Capeamento
 - Erros do operador
 - Capeamento/polimento
- **Representatividade**
 - Amostragem
 - Variabilidade



Custo

- **Viabiliza ou não a aplicação de um material**
- **Custo unitário não é suficiente (verificação da influência no processo)**
- **Custo ambiental**
- **Custo social**
- **SUSTENTABILIDADE**

