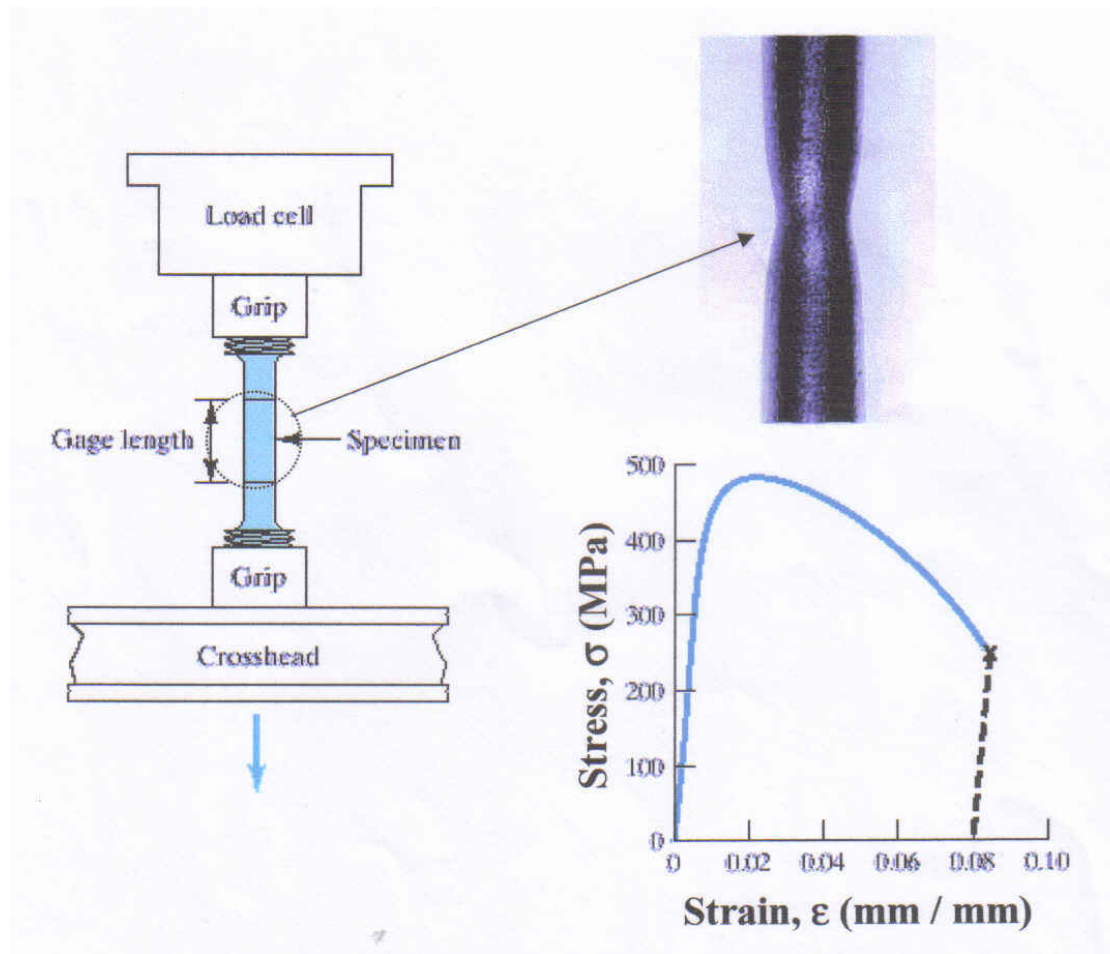


# Propriedades mecânicas

Como os metais respondem à solicitações mecânicas externas?

Que tipo de solicitações?

# Introdução



## Types of Loading - *transparência 2*

# Tensão de engenharia

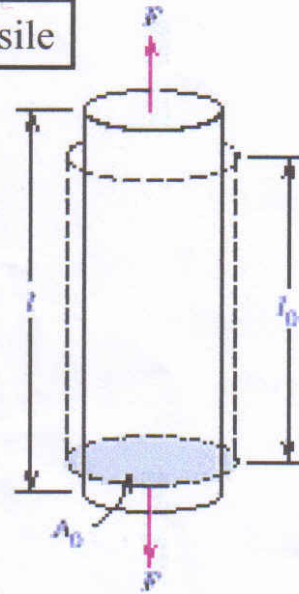
Relação entre força aplicada e área da secção transversal inicial.

$$\sigma = F / A_0$$

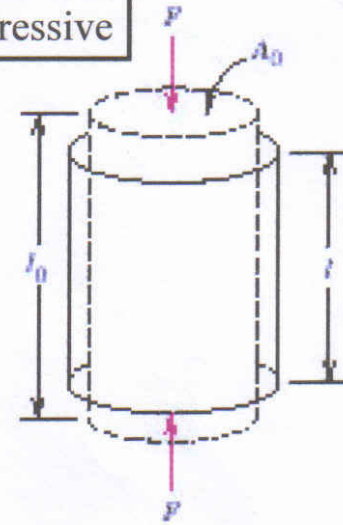
# Deformação

$$\epsilon = \Delta L / L_0$$

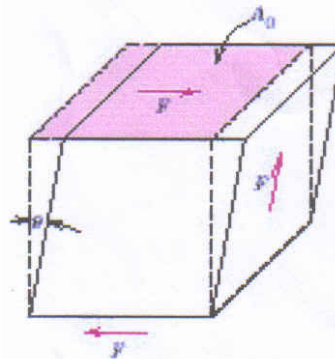
Tensile



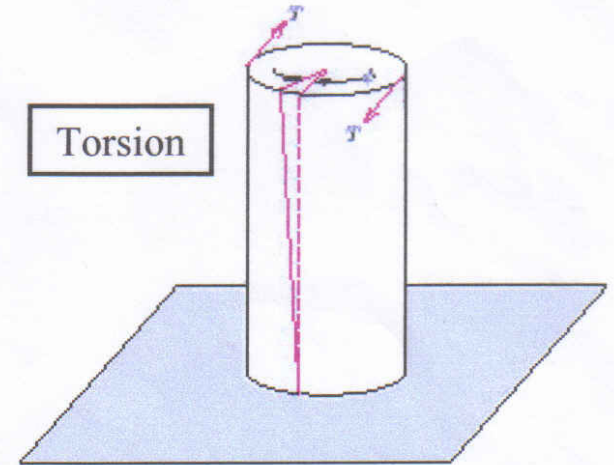
Compressive



Shear



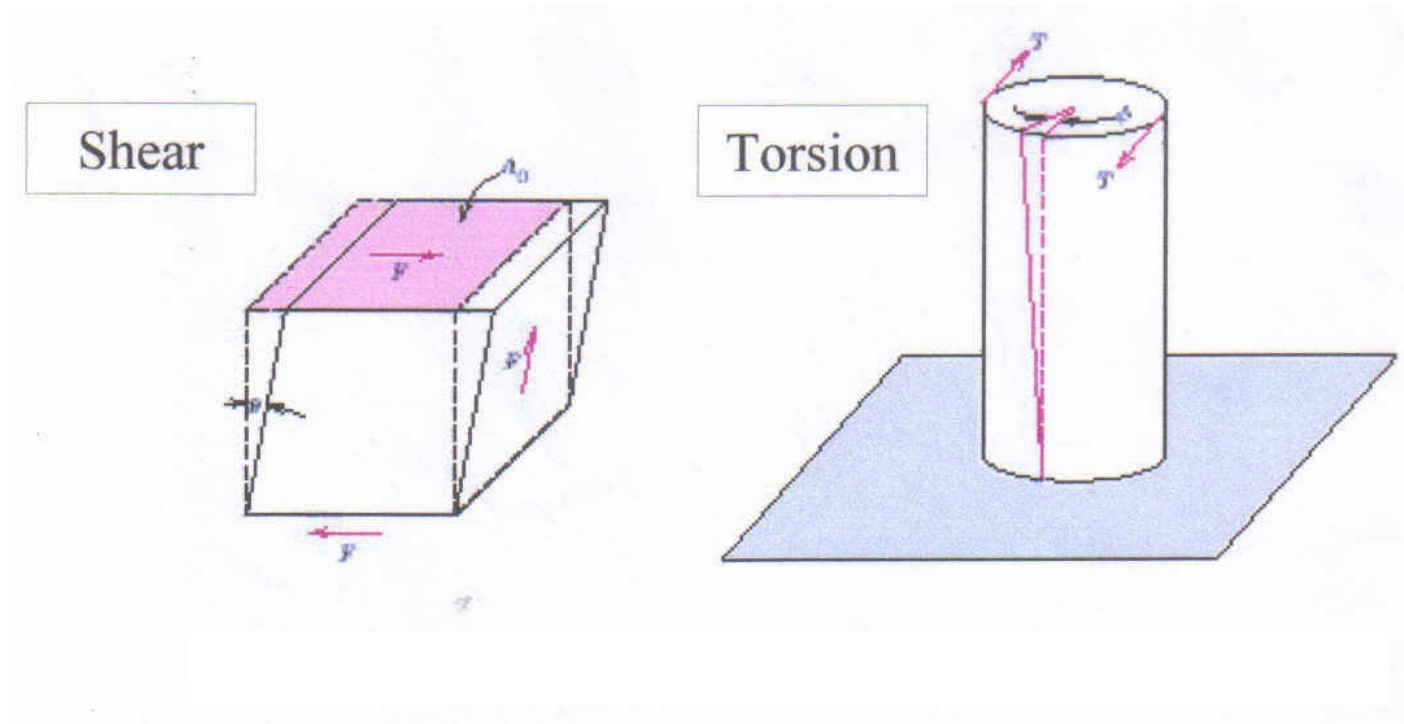
Torsion



# Cisalhamento

$$\tau = G \cdot \gamma,$$

onde  $G$  é o módulo de cisalhamento.



# Tensão e deformação

- Tensão de cisalhamento

$$\sigma = F/A_0$$

onde  $F$  é a força aplicada paralelamente às faces superior e inferior, cada uma das quais com área  $A_0$ .

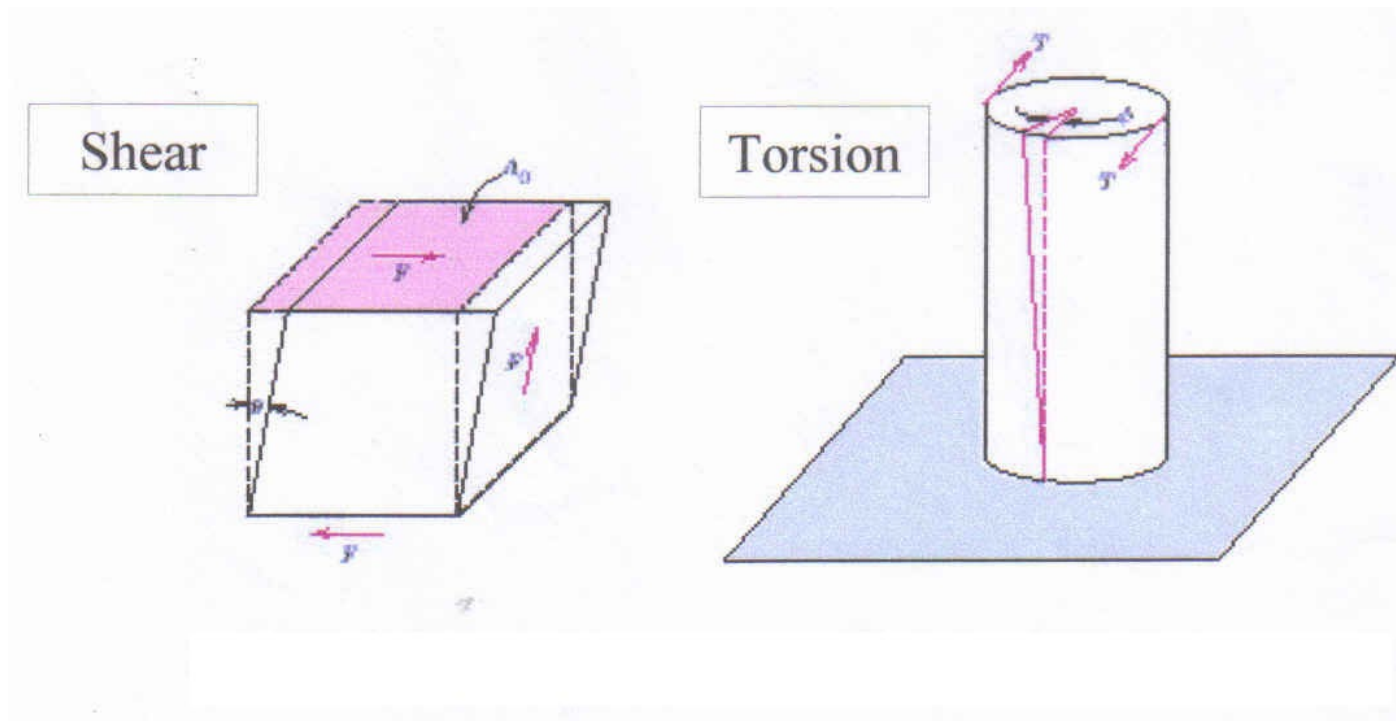
- Deformação de cisalhamento

$$\gamma = \text{tg}\theta \quad (.100\%),$$

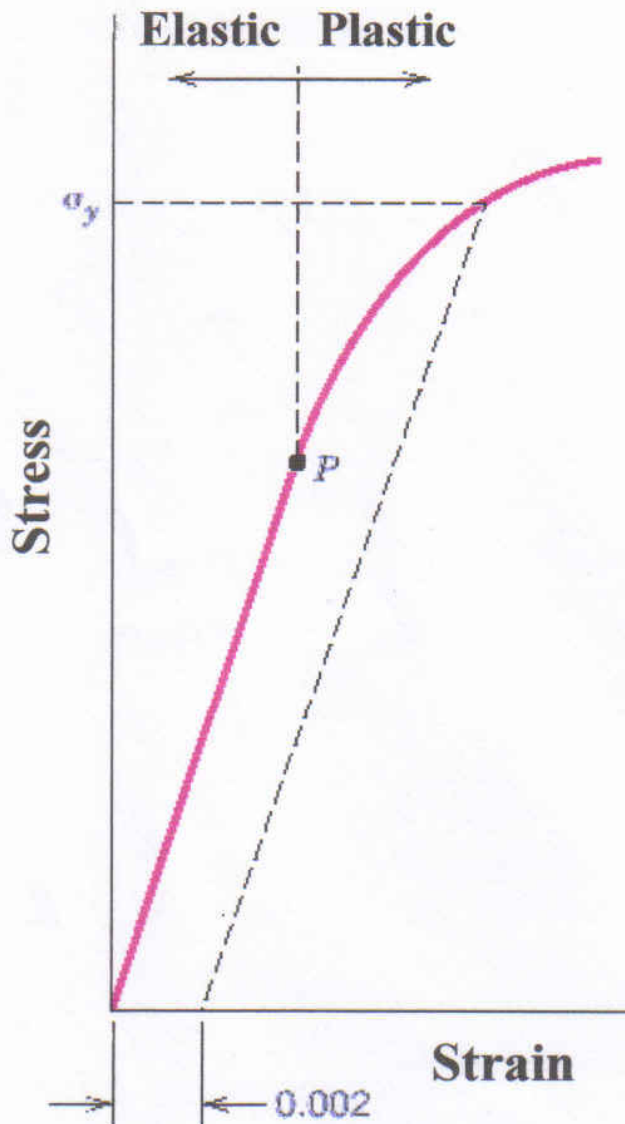
onde  $\theta$  é o ângulo de cisalhamento.

# Torção

- A torção é uma variação do cisalhamento puro. A tensão de cisalhamento, nesse caso, é função do torque aplicado e a deformação está relacionada com o ângulo rotacional.



# Tensão-Deformação



- **Deformação elástica**

É **reversível**: quando a carga é retirada, o material retorna às suas dimensões originais. Normalmente, as deformações são pequenas.

- **Deformação plástica**

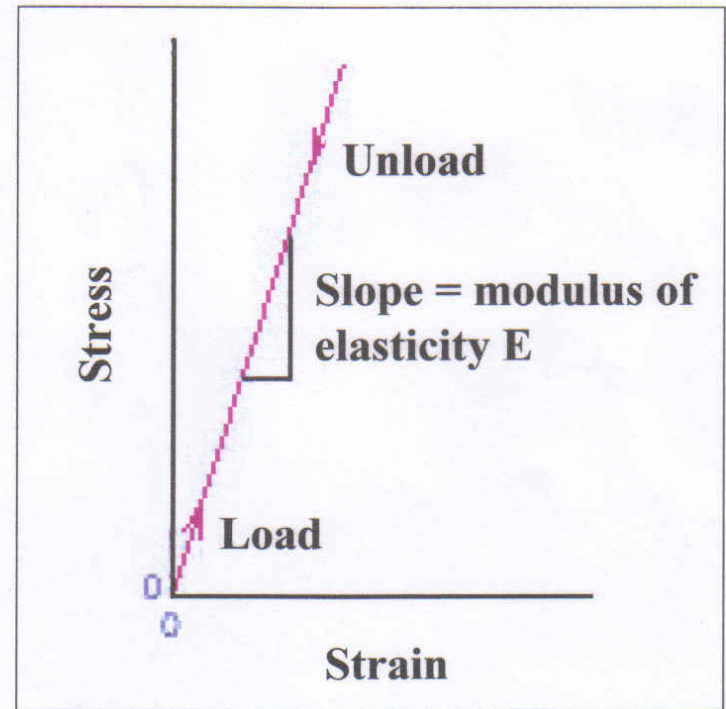
É **irreversível**, ou seja, o material mantém uma deformação residual, permanente, após a retirada da carga aplicada.

# Deformação elástica

- Em ensaios de tração, se a deformação é elástica, a relação tensão-deformação é dada pela Lei de Hooke:

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

onde  $E$  é o módulo de Young ou módulo elástico ( $\text{N/m}^2$ ) ou Pa.

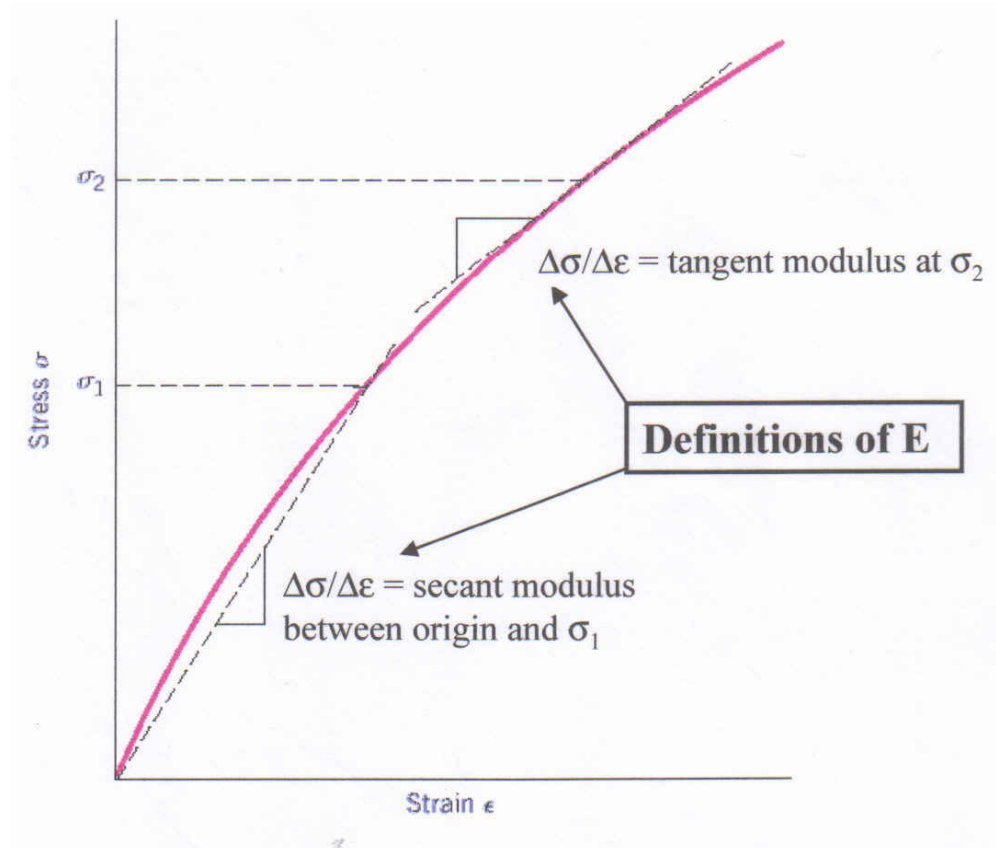


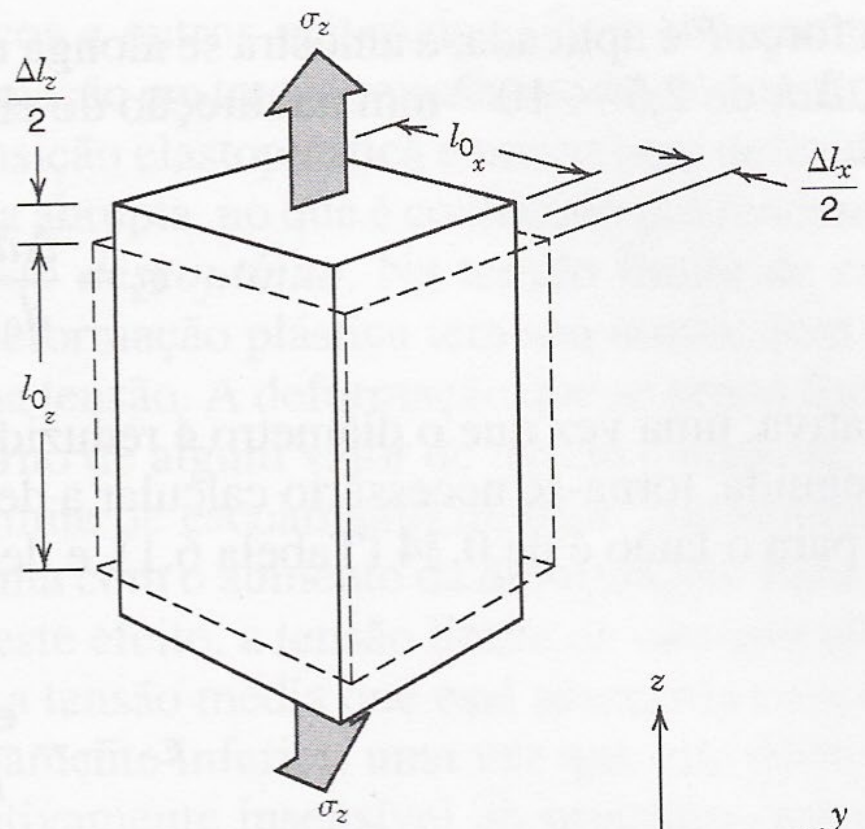
Higher  $E \rightarrow$  higher "stiffness"



# Deformação elástica: comportamento não-linear

Em alguns materiais, a deformação elástica é não linear, porém reversível.





$$\frac{\epsilon_z}{2} = \frac{\Delta l_z/2}{l_{0z}}$$

$$-\frac{\epsilon_x}{2} = \frac{\Delta l_x/2}{l_{0x}}$$

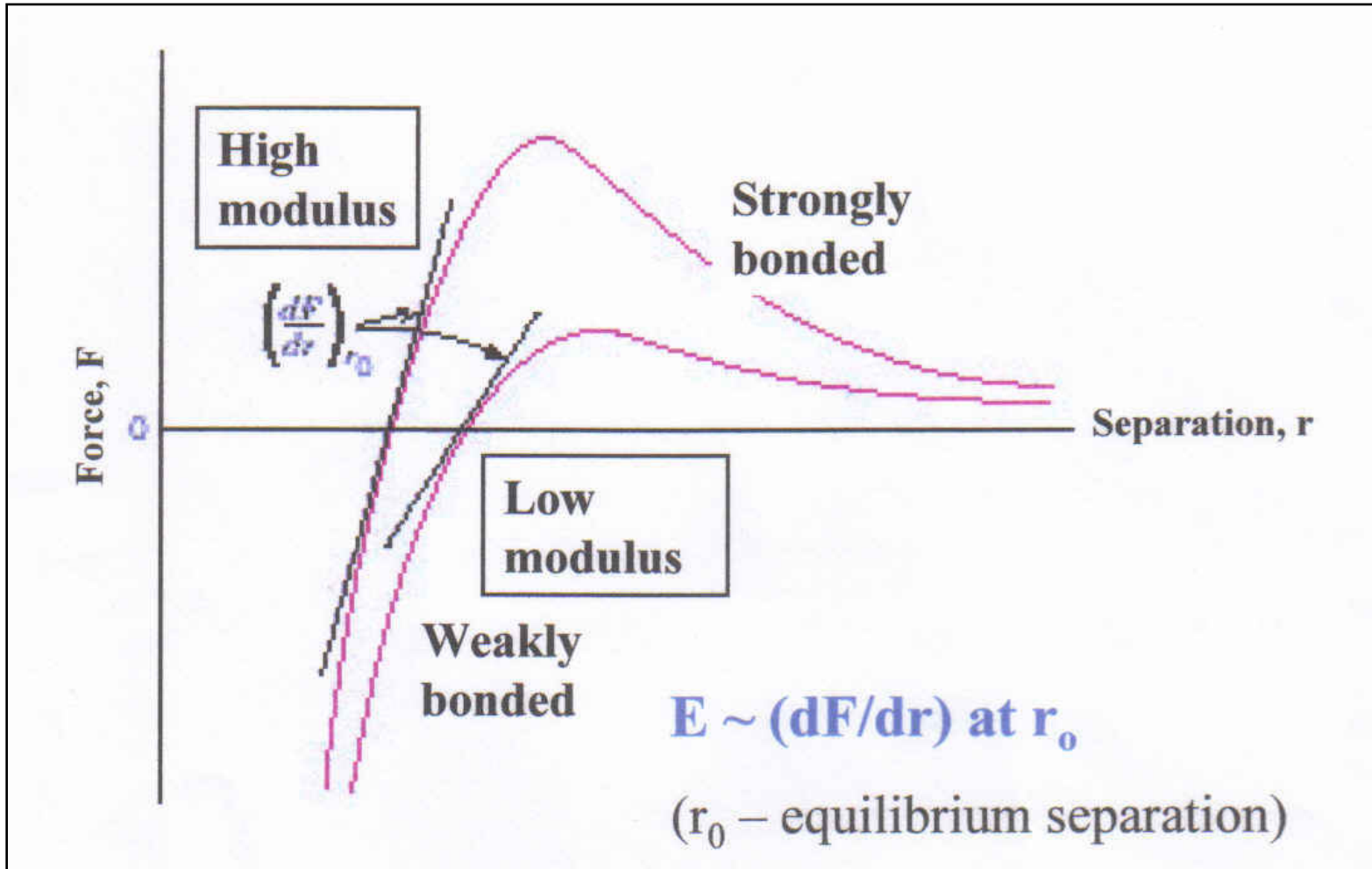
# Coeficiente de Poisson

$$\nu = - \epsilon_x / \epsilon_z$$

$$E = 2G(1 + \nu)$$

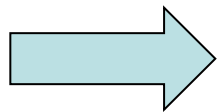
.Conceito de anelasticidade  
Conceito de isotropia e materiais  
policristalinos

# Deformação elástica X curva de separação interatômica



# Deformação Plástica

- Limite de proporcionalidade
- Tensão Limite de escoamento
- Limite de resistência a tração

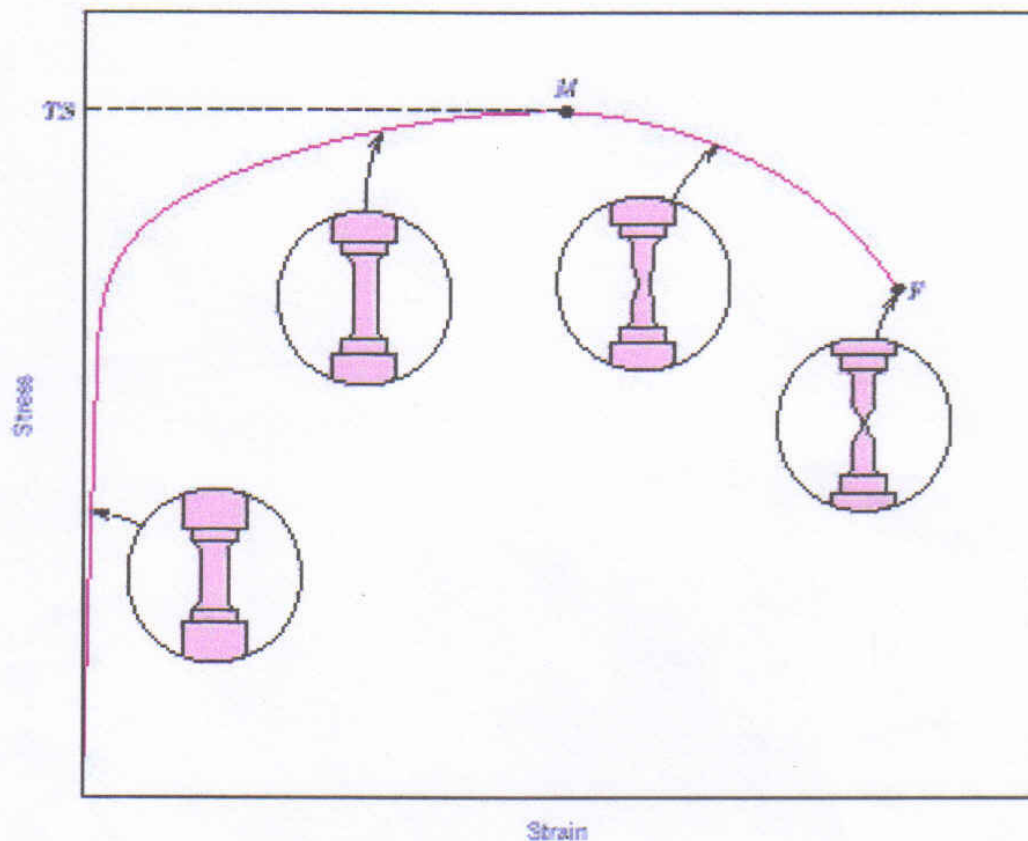


Dutilidade, resiliência e tenacidade

# Deformação plástica

- A deformação ocorre pela quebra e re-arranjo de ligações atômicas (em materiais metálicos, pelo movimento de discordâncias)

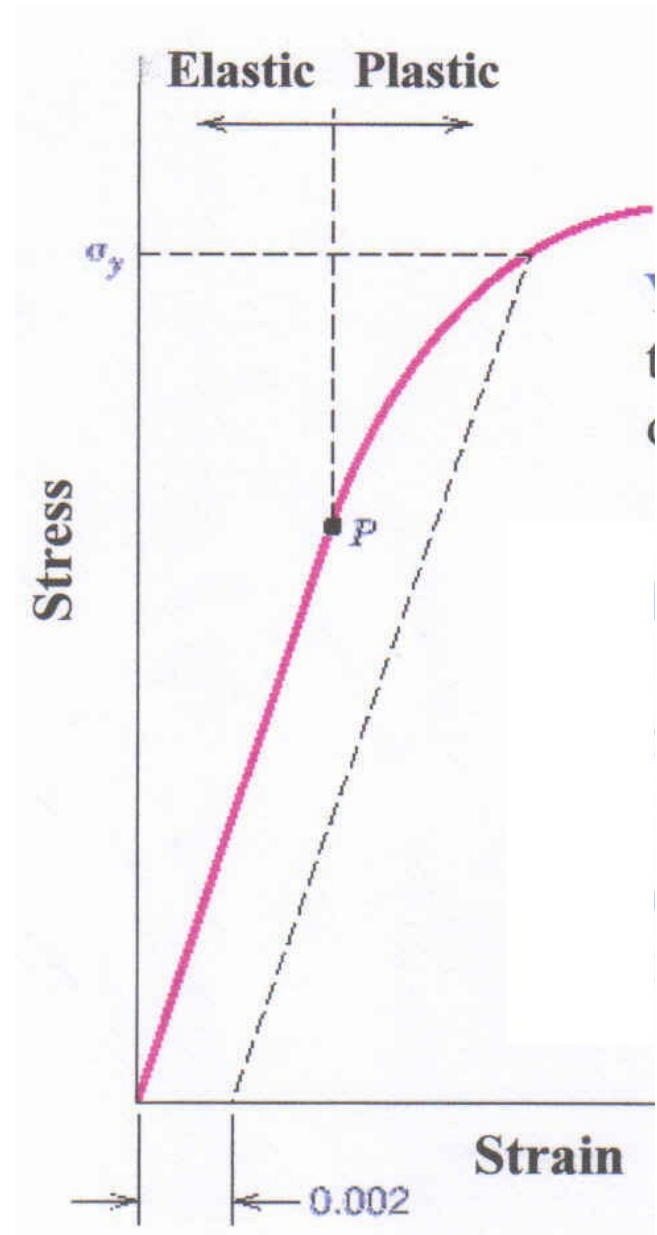
Stress-Strain Behavior: Plastic deformation



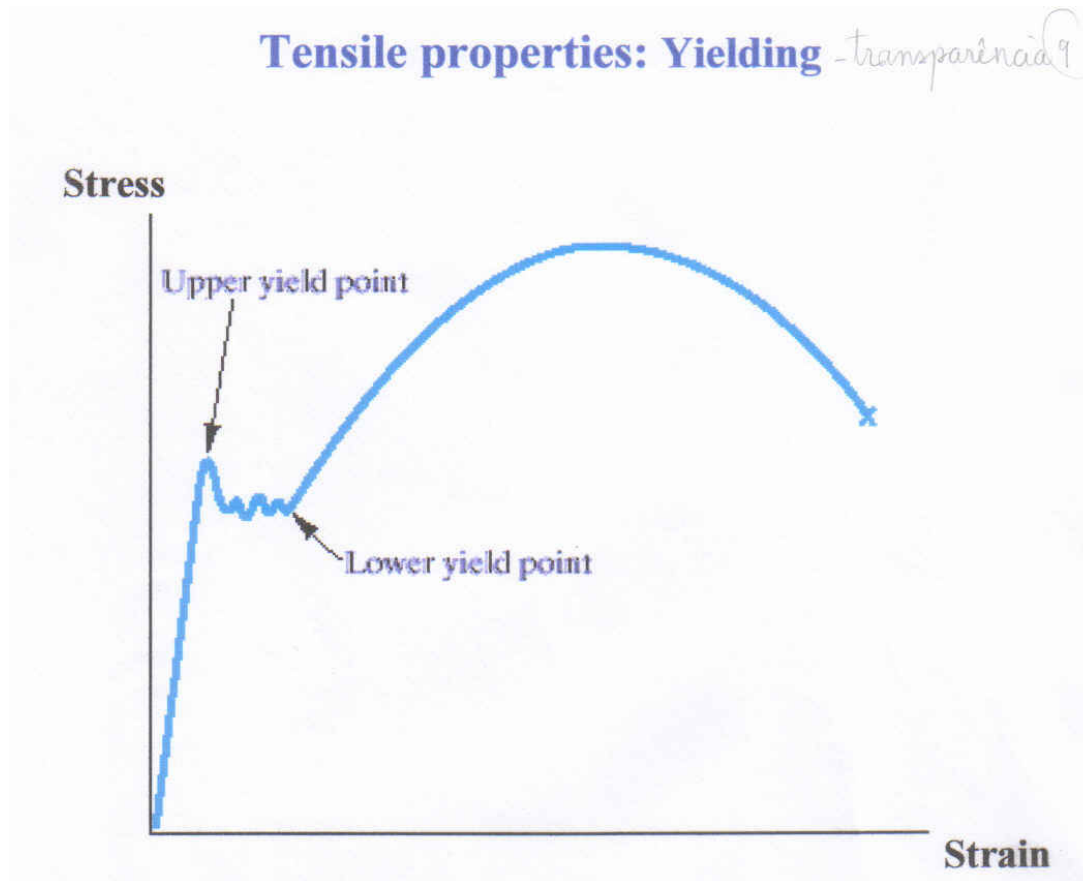
# Escoamento

- **Tensão de escoamento  $\sigma$ :** tensão que causa uma deformação permanente equivalente a 0,002.
- **Ponto de escoamento:** a deformação ponto onde a relação tensão-deformação deixa de ser linear.

A tensão de escoamento é uma medida da resistência à deformação plástica.



# Ponto de escoamento



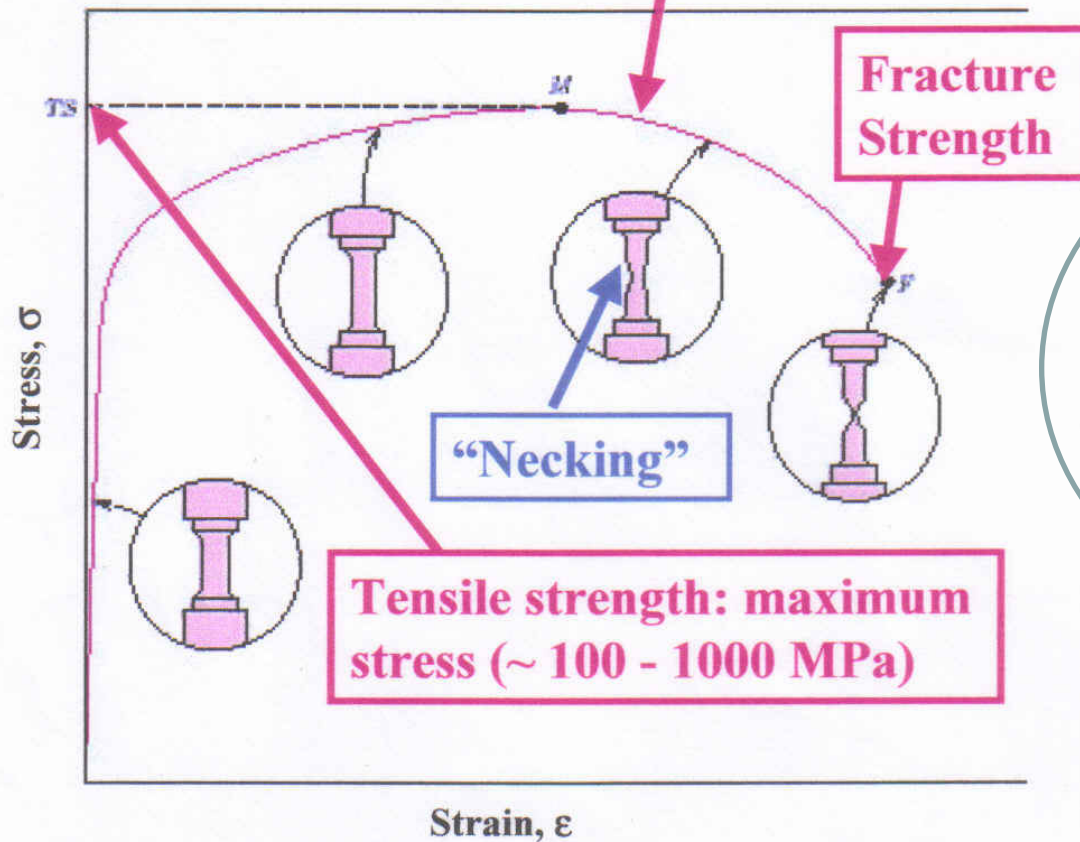
Para um aço baixo-carbono, a tensão de escoamento é definida como sendo a tensão média no ponto de escoamento inferior.



# Tensão máxima

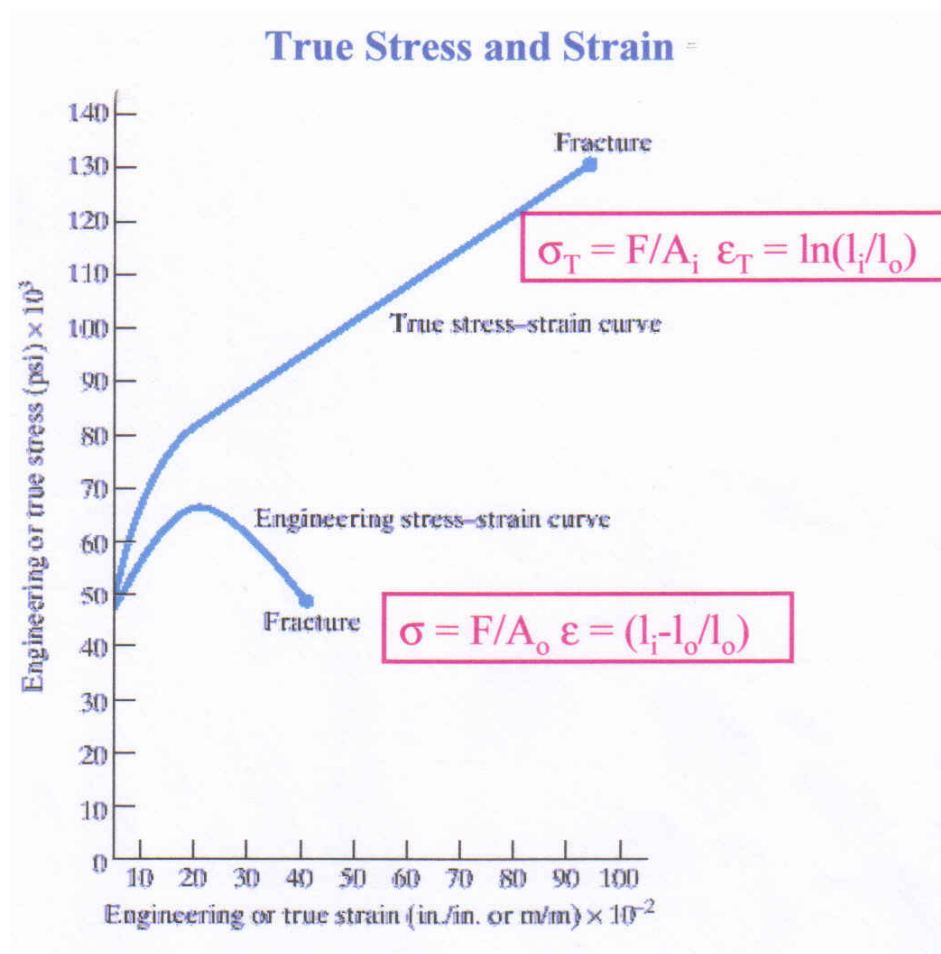
Tensile Strength - *Transparência* (10)

If stress = tensile strength is maintained then specimen will eventually break

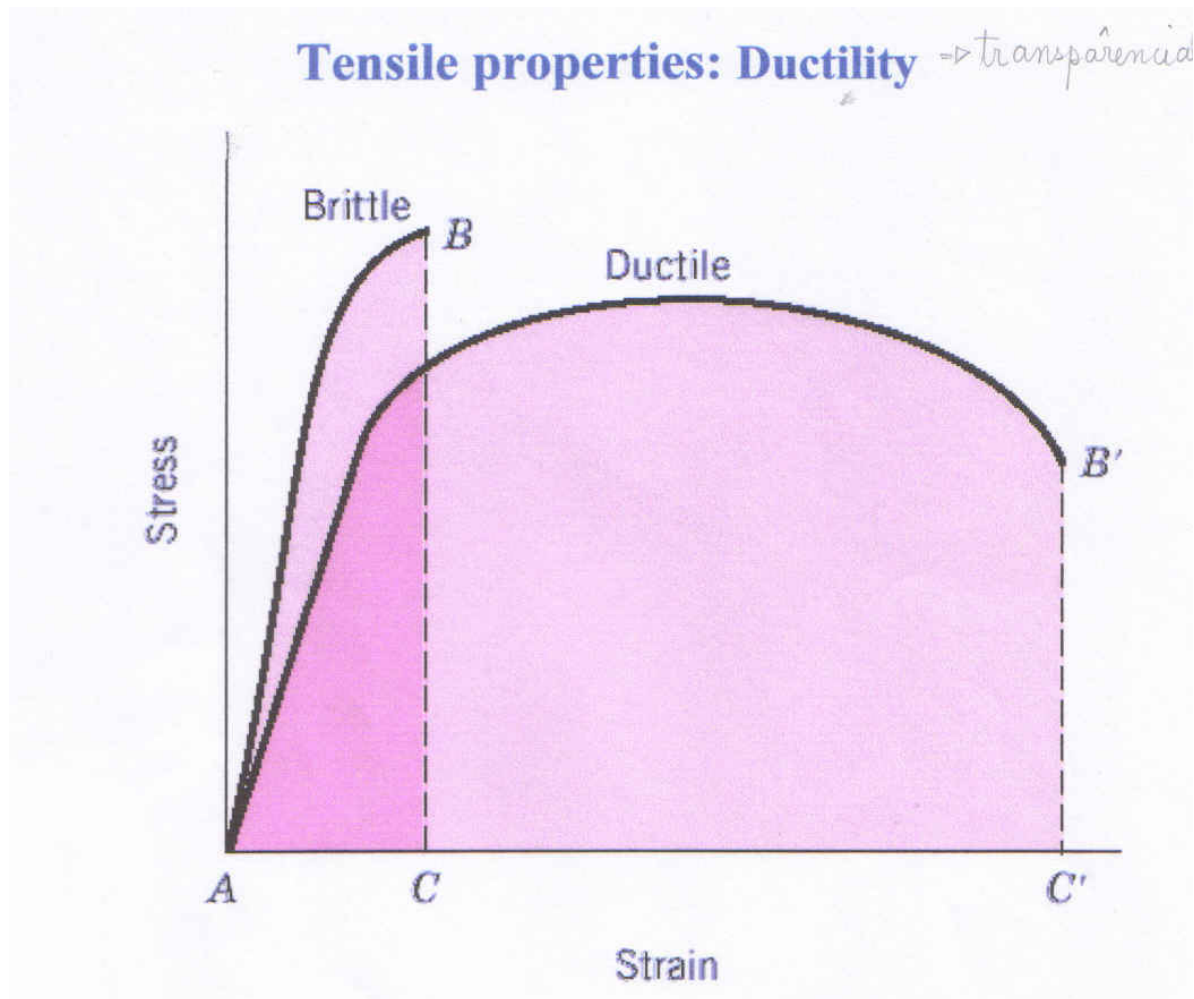


- O que acontece para que valores de força superiores a força equivalente a tensão máxima?
- Por que os valores de tensão decaem ?

# Tensão verdadeira X Deformação



# Dutilidade

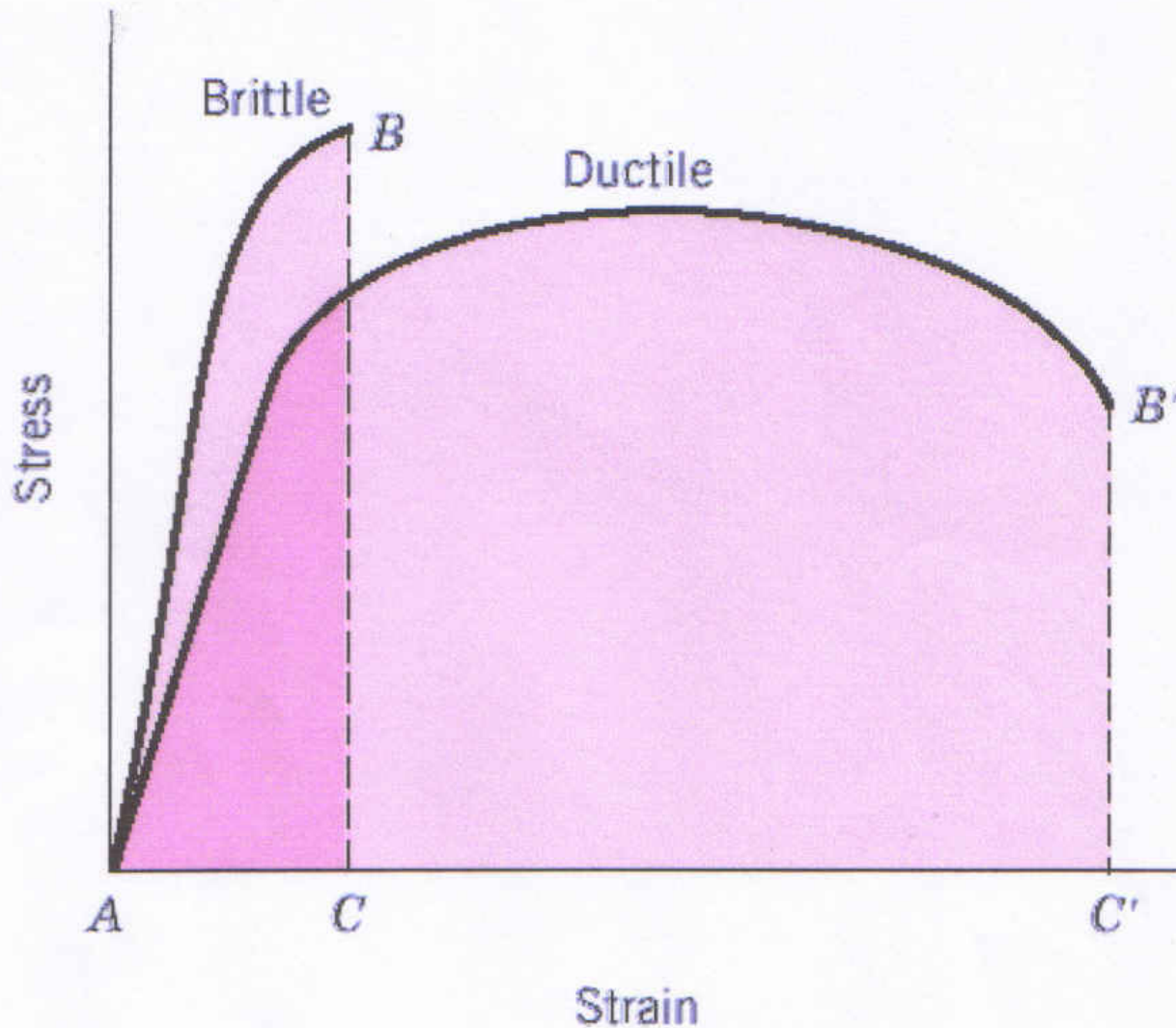


# Tenacidade

- Capacidade de **absorver energia até a fratura**= **área total sob a curva tensão-deformação**.
- Unidade: energia por unidade de volume.  
(J/m<sup>3</sup>)
- Pode ser medida pelo ensaio de impacto.

# Resiliência X Tenacidade

Tensile properties: Ductility



- Se não houver variação de volume durante a deformação:

$$A_i \cdot l_i = A_f \cdot l_f ,$$

$$\sigma_V = \sigma(1 + \varepsilon)$$

$$\varepsilon_V = \ln(1 + \varepsilon)$$

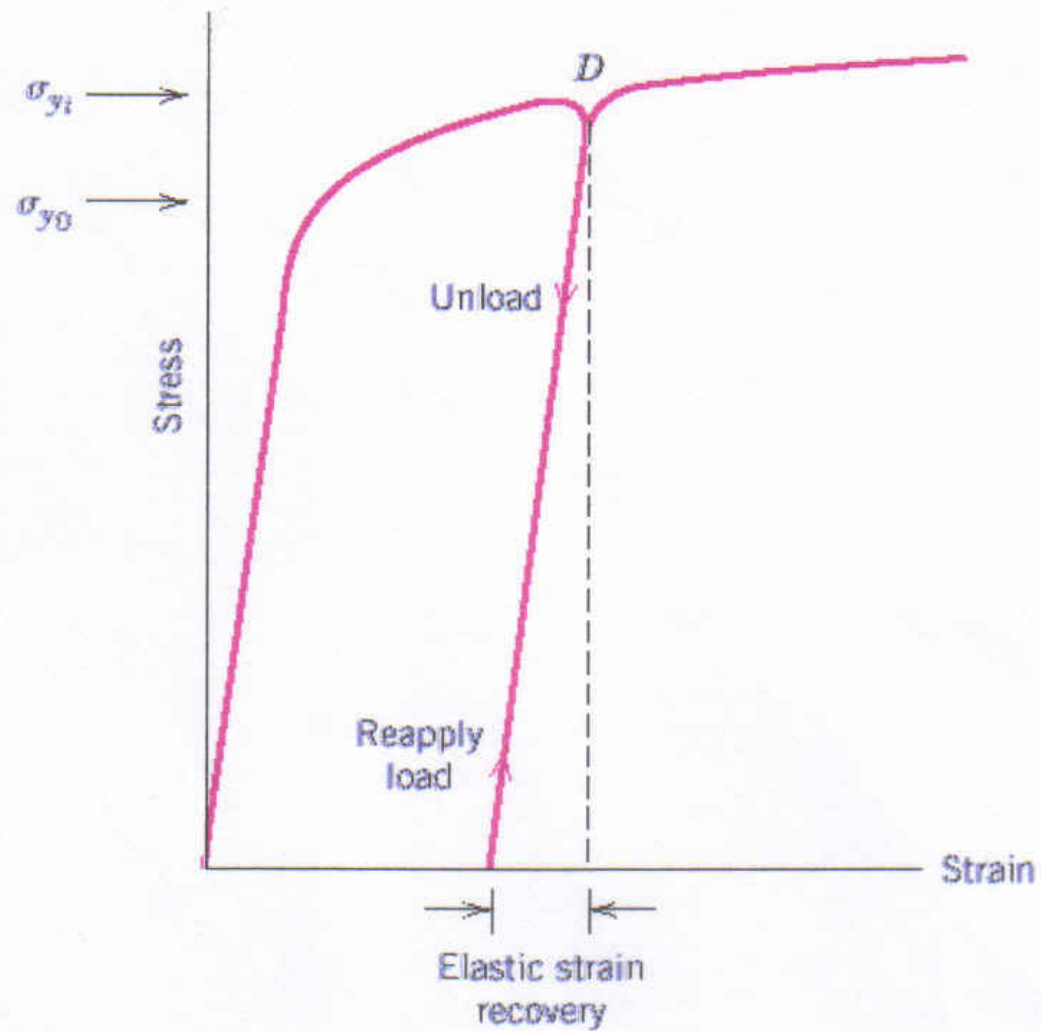
Para alguns metais, tem-se que:

$$\sigma_V = k \cdot \epsilon^n$$

onde  $n$  é o fator de encruamento.

Encruamento: fenômeno em que um metal se torna mais duro e eleva seu valor de limite de resistência a tração quando submetido à deformação plástica.

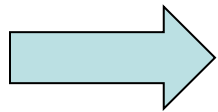
## Elastic Recovery During Plastic Deformation





# Dureza

- A dureza é uma medida da resistência do material à deformação plástica localizada.

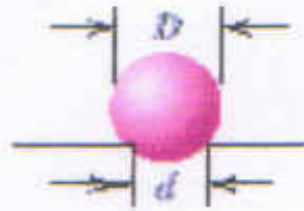


Escala Mohs

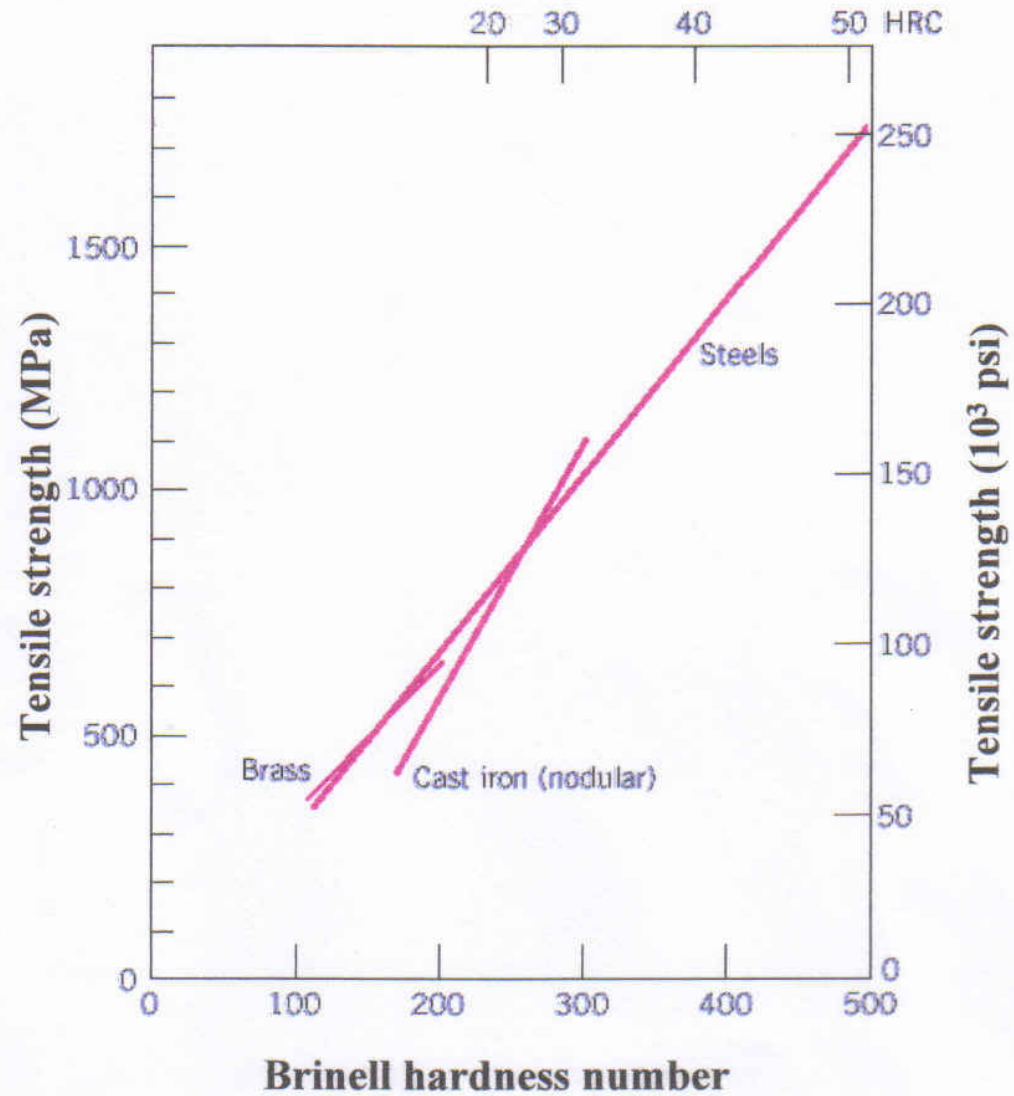


Rockwell, Brinell, Vickers

Os ensaios são comparativos, porém bastante populares, por serem de fácil execução e não-destrutivos.

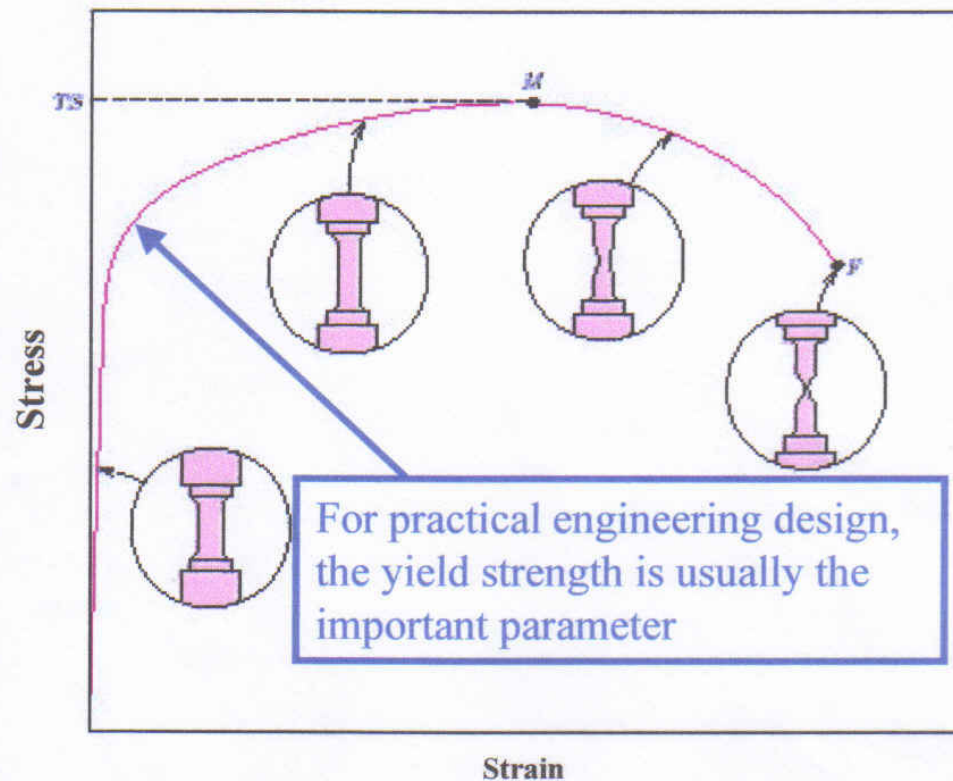


## Hardness (II)



# Quais os limites para uma deformação “segura”?

What are the limits of “safe” deformation?



- Tensão de projeto:

$$\sigma_d = N' \sigma_c,$$

onde  $\sigma_c$  é a tensão máxima prevista e  $N'$  é o fator de projeto. ( $N' > 1$ )

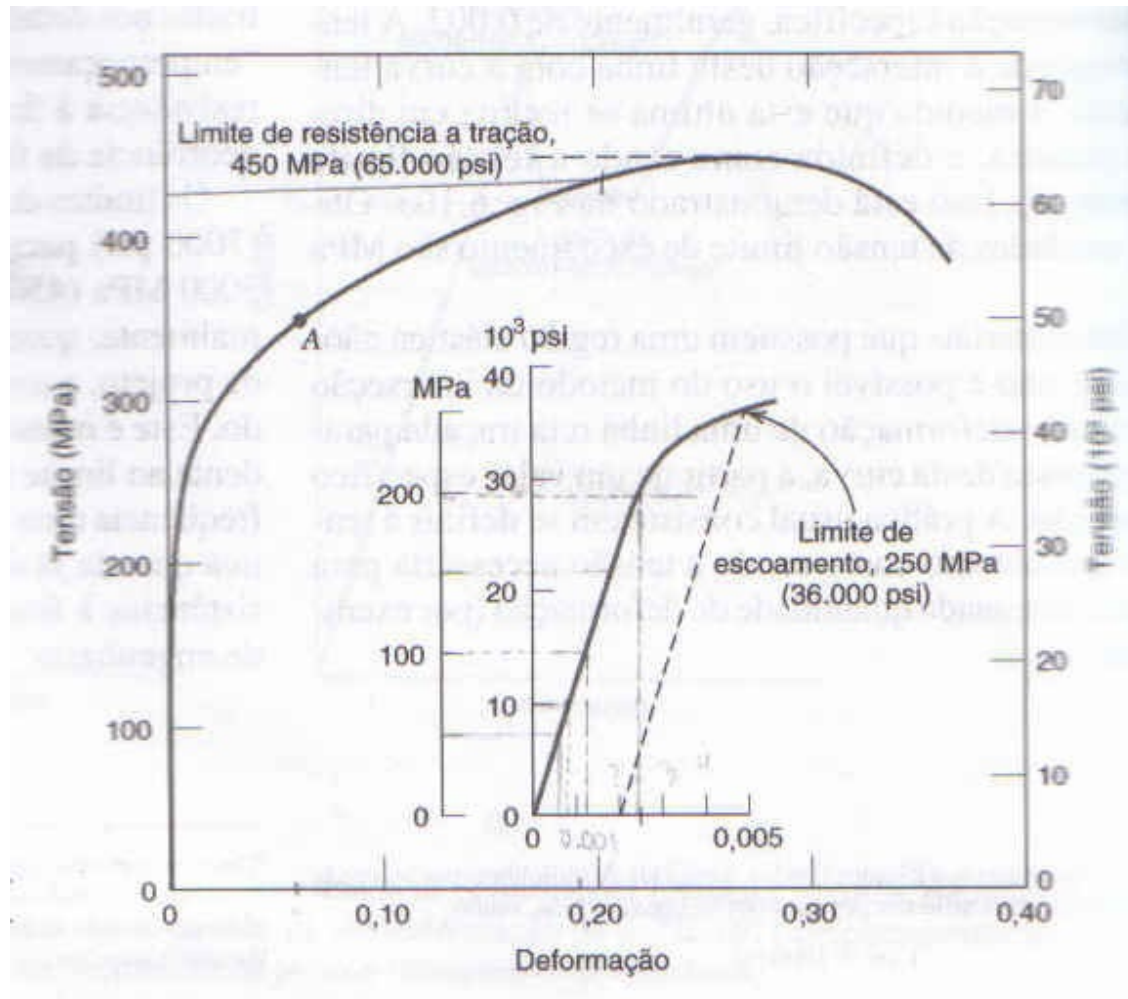
- Tensão de trabalho

$\sigma_d = \sigma_y / N$ , onde  $N$  é o fator de segurança.

$$N > 1$$

<b>Material</b>	<b>Resistência sob tensão (MPa)</b>
Cerâmica	100 a 1000
Polímero	1 a 70
Metal	100 a 1700

<b>Material</b>	<b>Deformação (%)</b>
Cerâmica	-
Polímero	1 a 1400
Metal	1 a 60



Latão