

Propriedades dos materiais

Antonio Figueiredo

Renata Monte

Definições

- **Ciência dos materiais:**
 - Disciplina que envolve a investigação das **relações** existentes entre as **estruturas** e as **propriedades** dos materiais.
- **Engenharia de materiais:**
 - **Projeto** ou **engenharia** de um material, baseados na ciência dos materiais, para **produzir** um conjunto predeterminado de **propriedades**.

Princípio básico

O comportamento do material depende da microestrutura

Estrutura dos materiais

- Forma como os componentes internos dos materiais se arranjam.
- Várias formas/níveis de estudo da estrutura do material em função do que se pretende analisar ou manipular (“engenheirar”).
- Objetivos: entender e obter **propriedades** desejadas.

Perguntas fundamentais:

- **O que é propriedade de um material?**

Resposta de um material a um estímulo externo.

- **Tipos: mecânicas, térmicas, elétricas, magnéticas, óticas e químicas (ligadas à reatividade ou “deteriorativas”).**

Perguntas fundamentais:

- **O que é característica de um material?**

Parâmetro ou atributo que caracteriza um material

- **O que é processamento de um material?**
- **O que é desempenho de um material?**

Como você definiria desempenho (*performance*)?

VW Golf 1.0 TSI

Ford Fiesta 1.0 EcoBoost



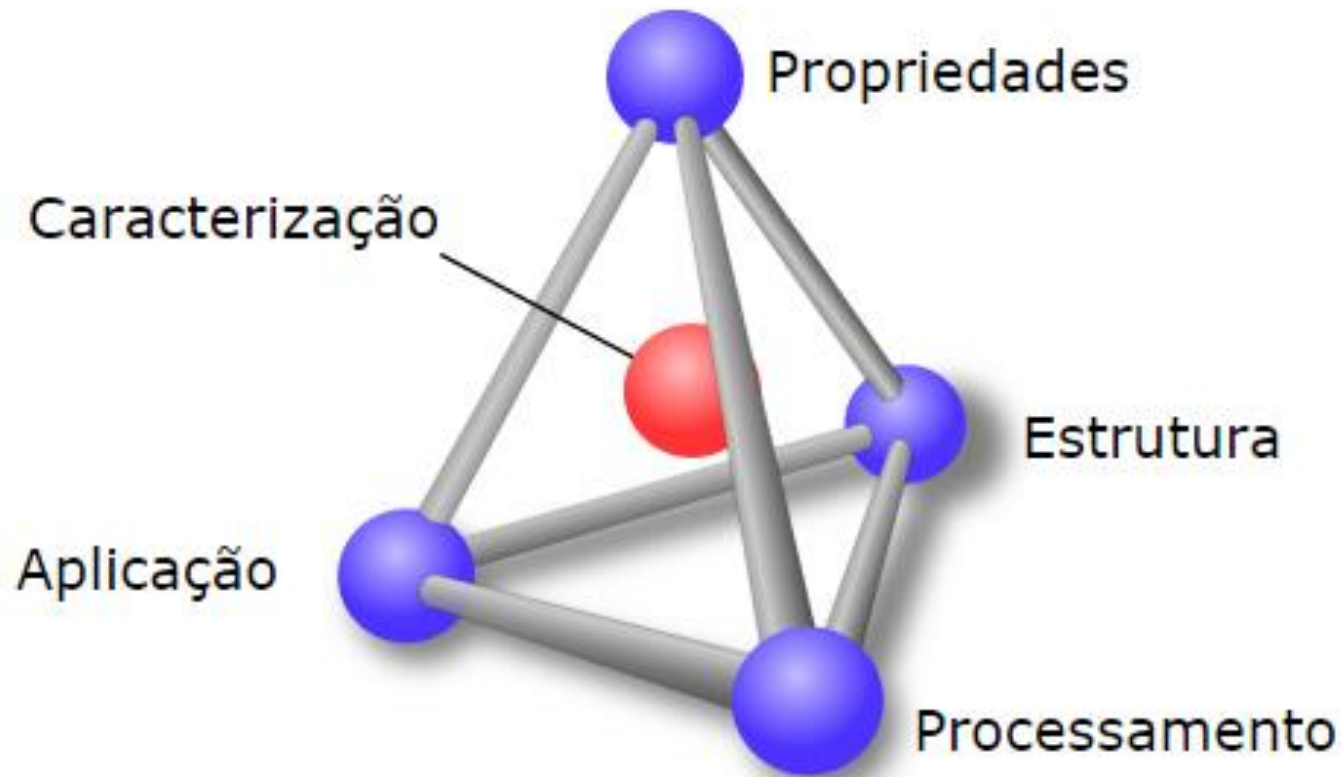
Como comparar desempenho?

Teste de pista (com gasolina)	Golf 1.0 TSI	Fiesta 1.0 EcoBoost
Aceleração de 0 a 100 km/h	10,4 s	9,5 s
Aceleração de 0 a 1000 m	31,8 s – 164,6 km/h	31,0 s – 170 km/h
Retomada de 40 a 80 km/h	5,6 s (em 3ª)	3,9 s (em D)
Retomada de 60 a 100 km/h	7,7 s (em 4ª)	4,8 s (em D)
Retomada de 80 a 120 km/h	10,3 s (em 5ª)	6,5 (em D)
Frenagens de 60 / 80 / 120 km/h a 0	15,1 / 26,3 / 59,8 m	17 / 27,8 / 65,8 m
Consumo urbano	12,9 km/l	12,5 km/l
Consumo rodoviário	17,8 km/l	16,1 km/l

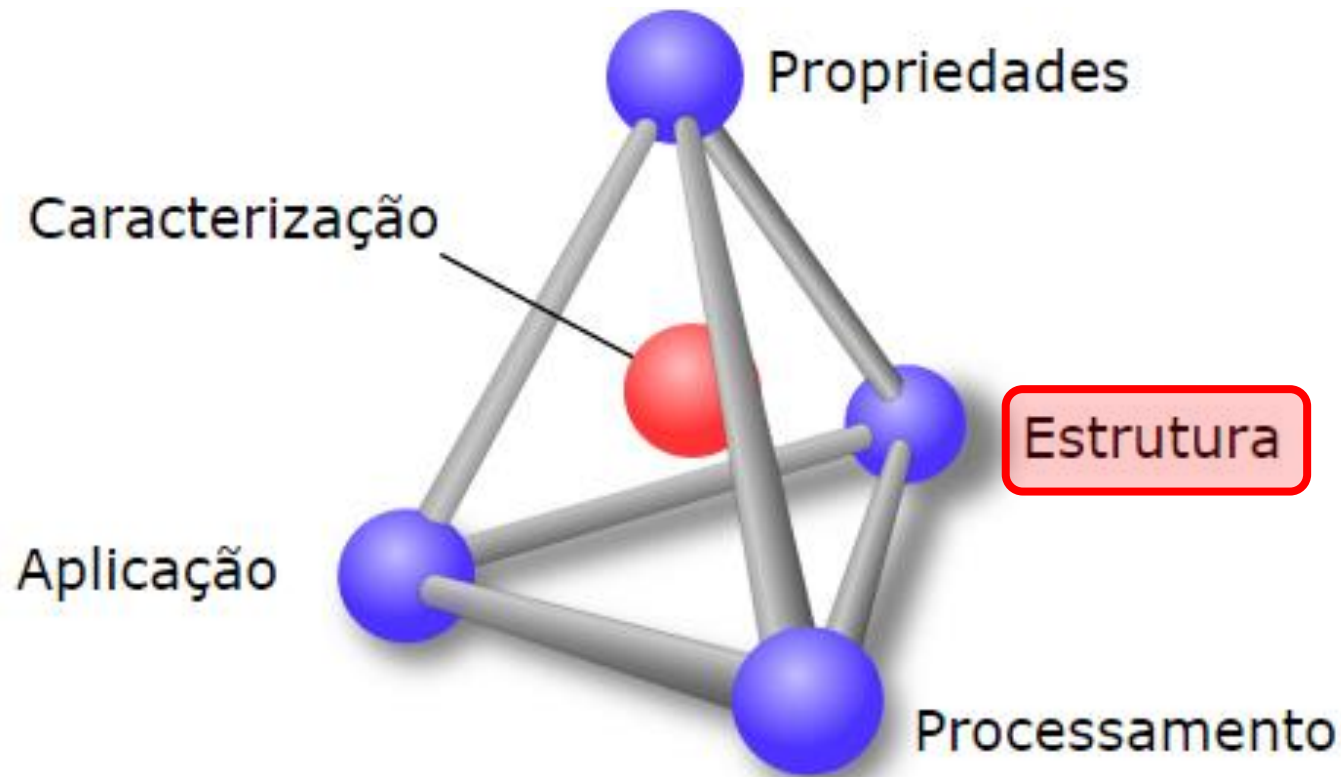
Definição de desempenho

- **A borracha do pneu do automóvel, por si só, não tem desempenho.**
- **O desempenho é do automóvel ou do componente (sistema).**
- **O material de construção, por si só, não tem desempenho.**
- **O desempenho é da edificação ou da obra de infraestrutura ou do sistema (elemento).**
- **Desempenho é adequação às necessidades dos usuários.**

O Tetraedro das Ciências dos Materiais



O Tetraedro das Ciências dos Materiais



Objetivo principal desta aula:

- **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

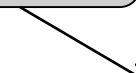
Fluência

Resiliência

Dureza

Rigidez

Módulo de elasticidade



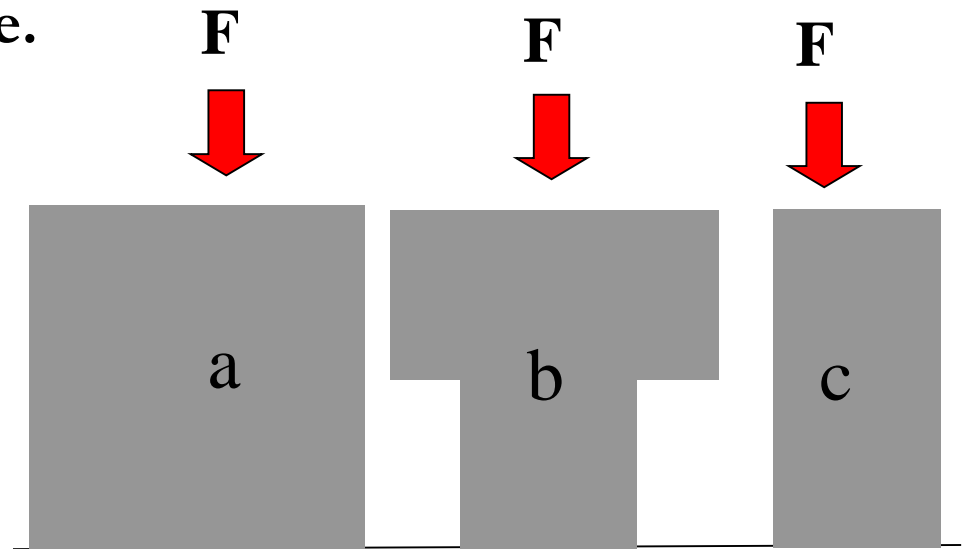
Tensão

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

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

É expressa em

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



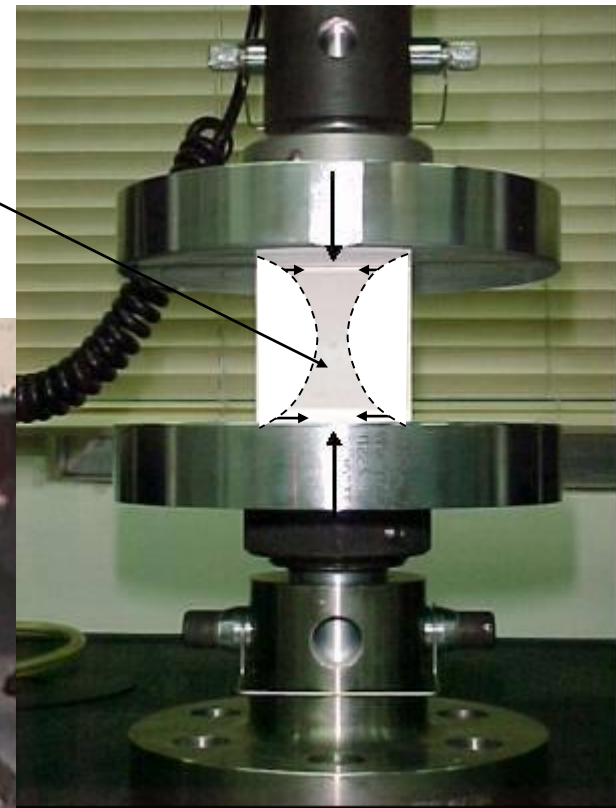
Compressão

- 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

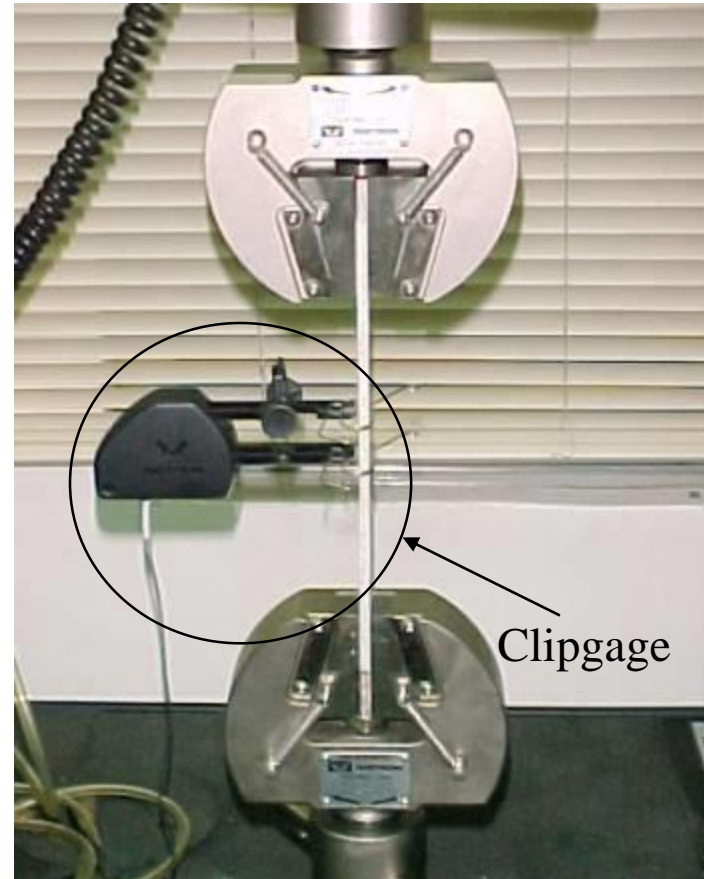


Tração direta

- Resistência à tração

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

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



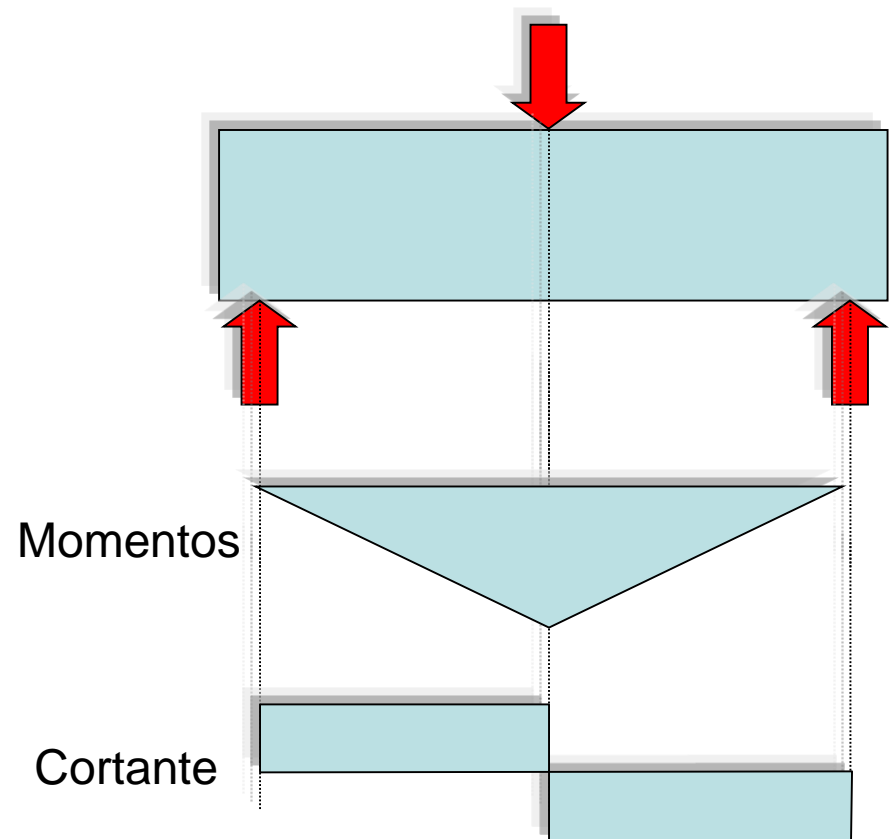
Resistência à Tração na flexão

- Assume elasticidade linear
 - Módulo de ruptura
- Três pontos

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

- Quatro

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



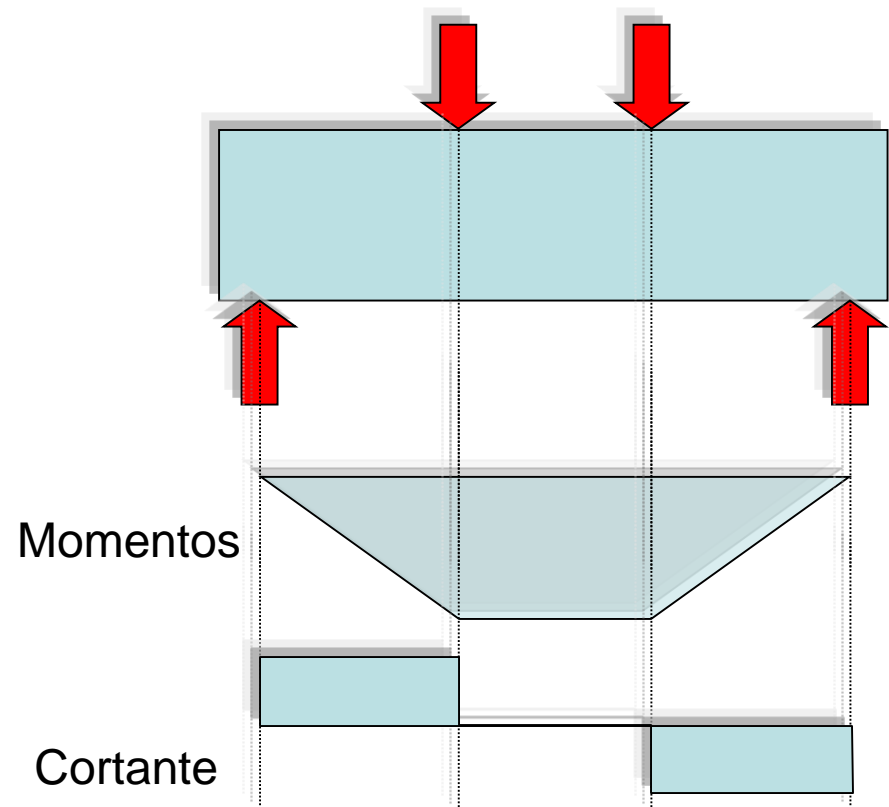
Resistência à Tração na flexão

- 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

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

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

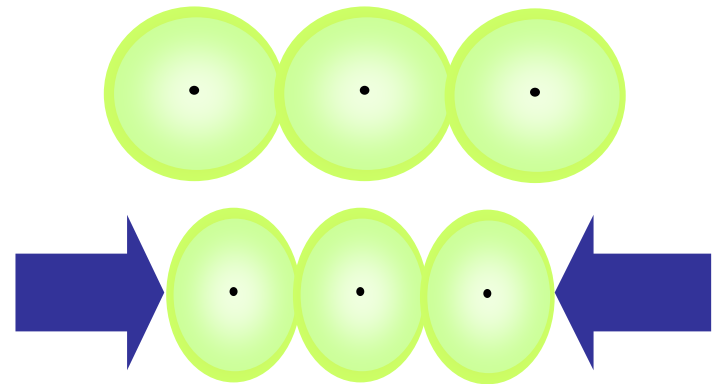
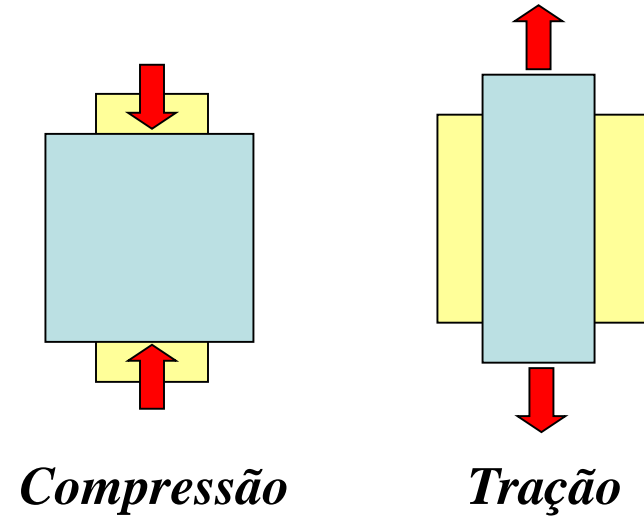


LVDT: mede a flecha no meio do vão

Deformação específica

Deformação elástica

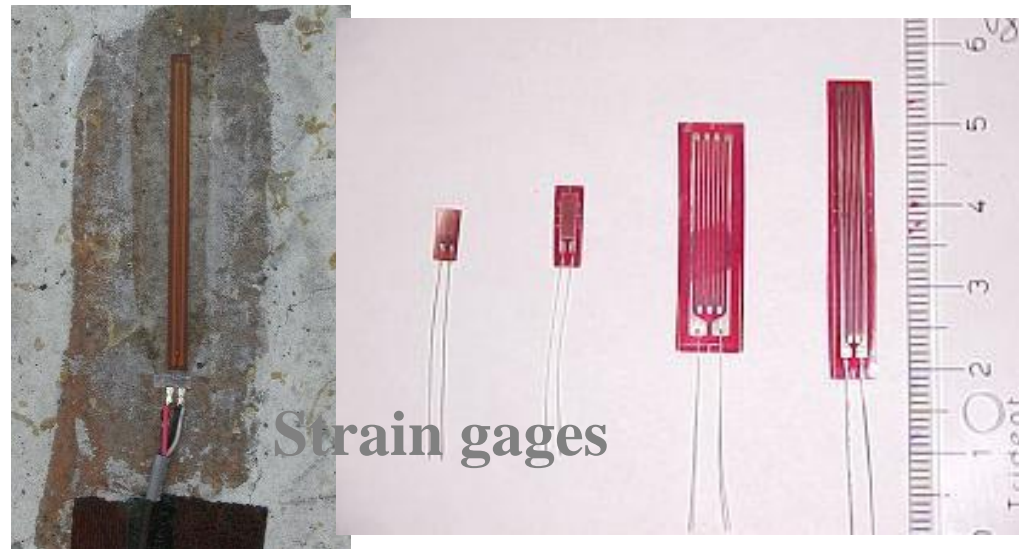
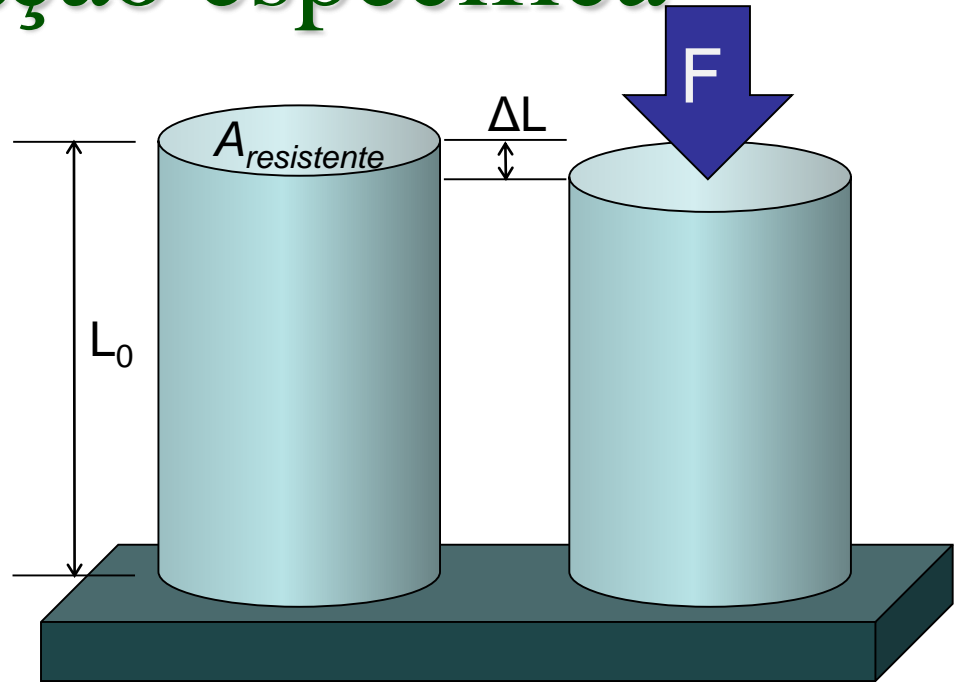
- Instantânea
- Reversível
 - Volta às dimensões originais quando retira a carga
- Variação de volume
- Linear ou não linear



Deformação específica

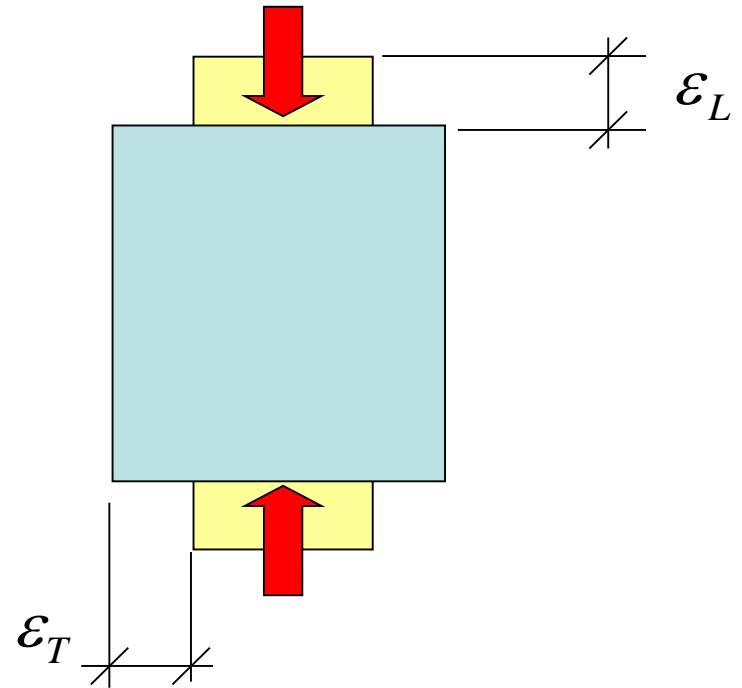
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

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



Coeficiente de Poisson

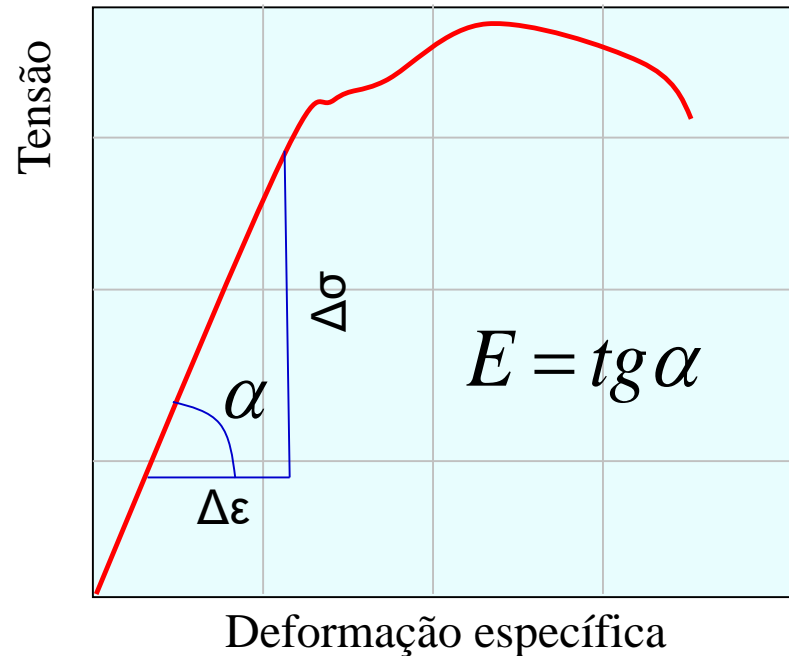
$$\nu = \frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_L}$$



- 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

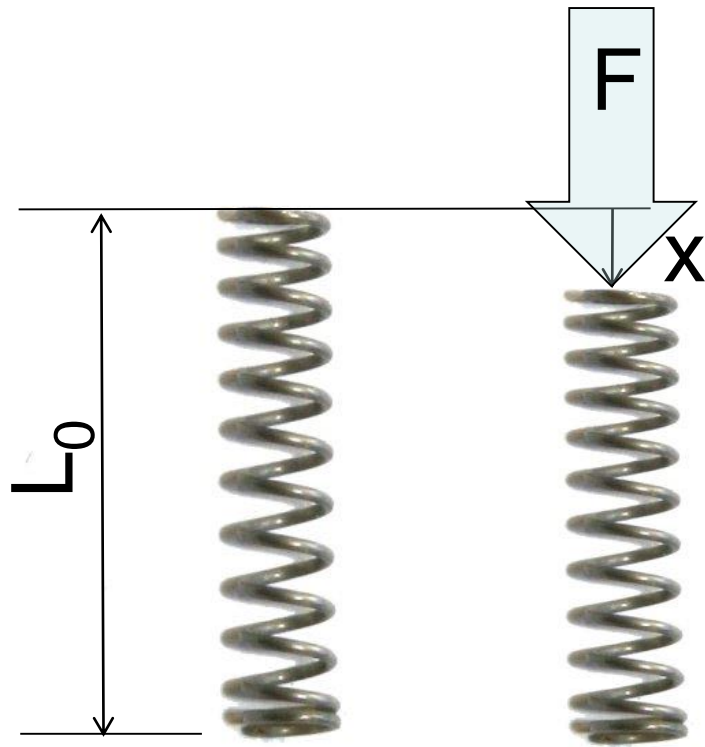


$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon}$$

Deformação específica

Independe do comprimento de medida

Módulo de elasticidade

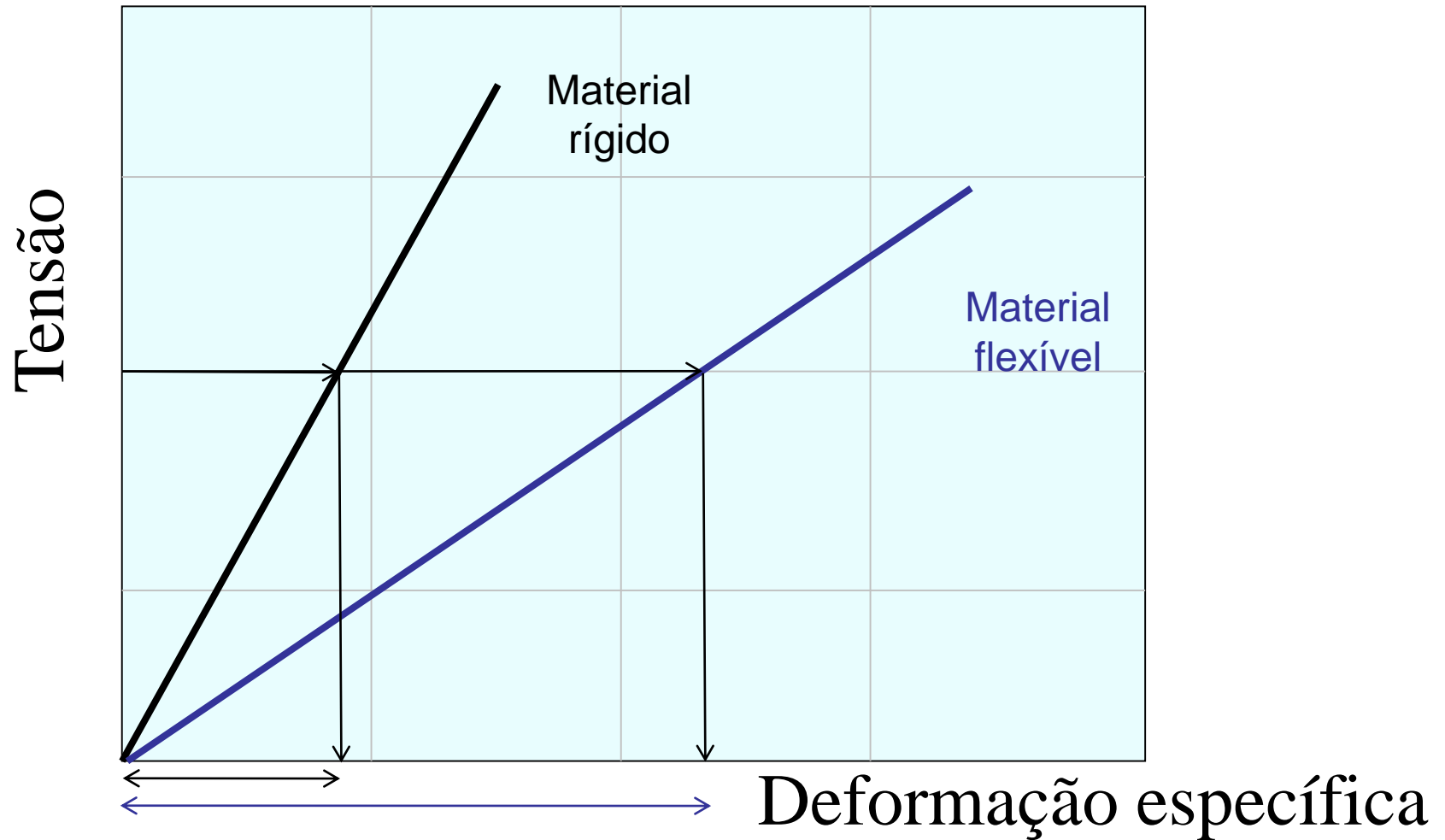


$$\frac{F}{A} = k \cdot \frac{x}{L_0}$$

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

Módulo de elasticidade

(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

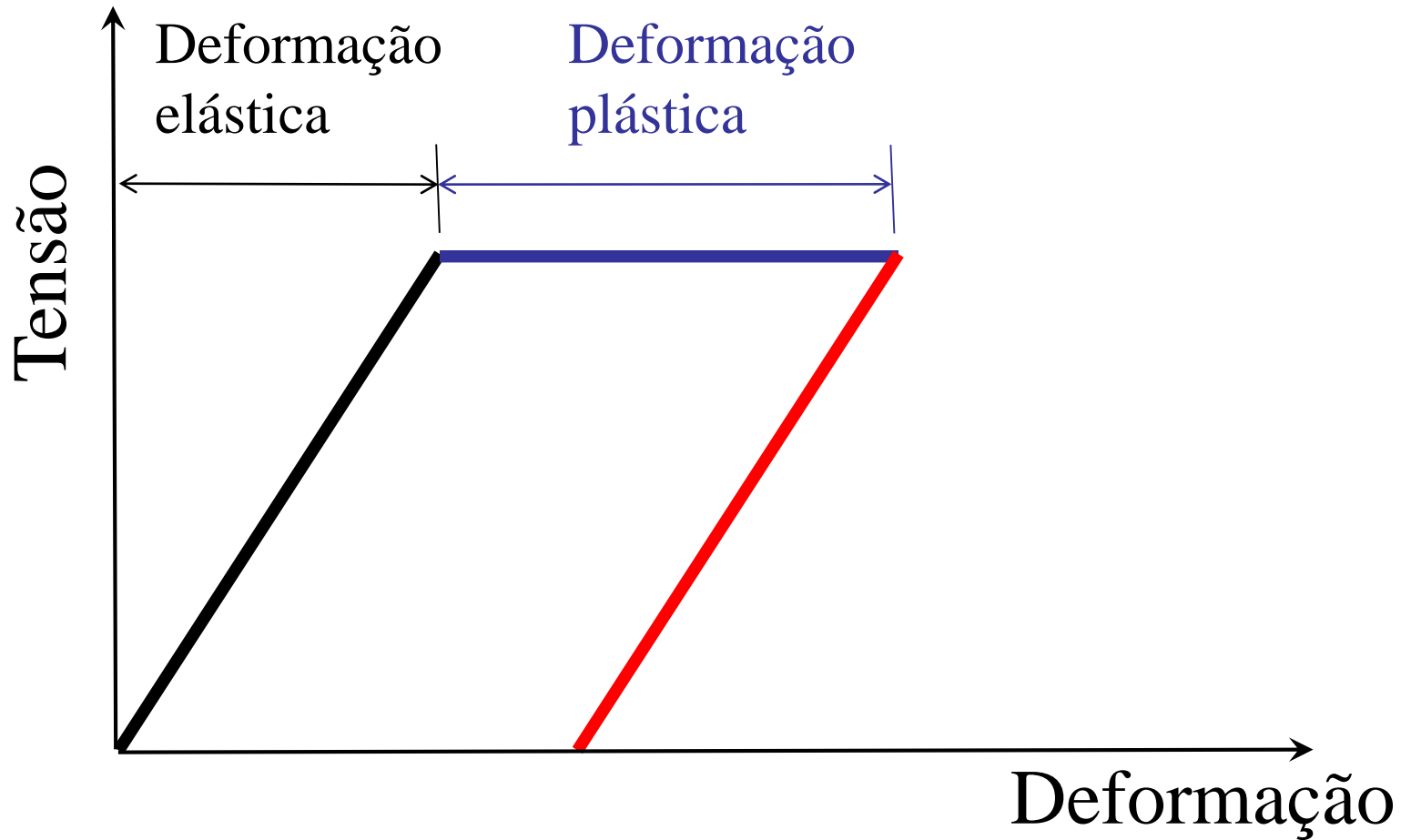


<http://arteinfantil-elartes.blogspot.com/2010/09/argila.html>

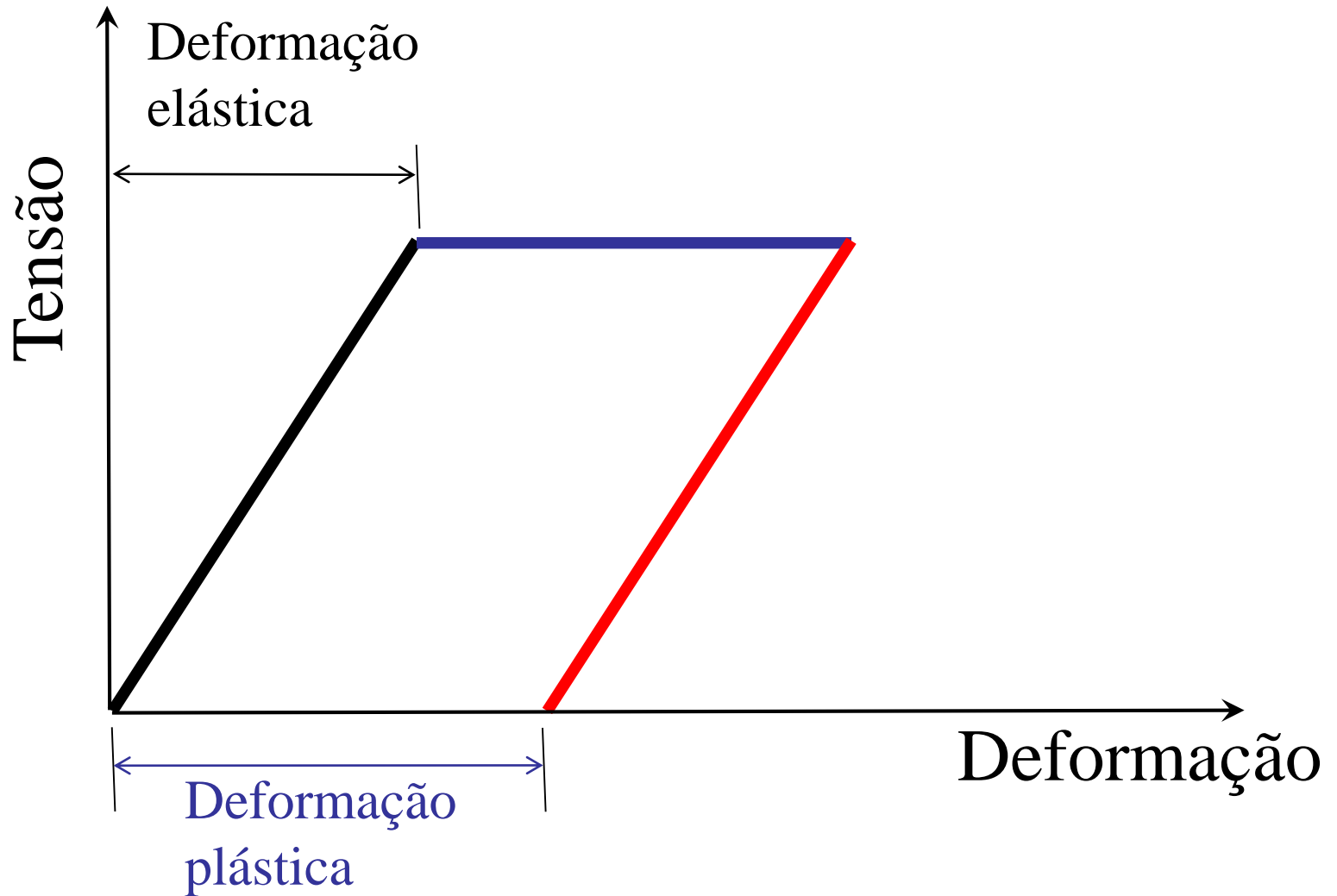
Deformação plástica

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

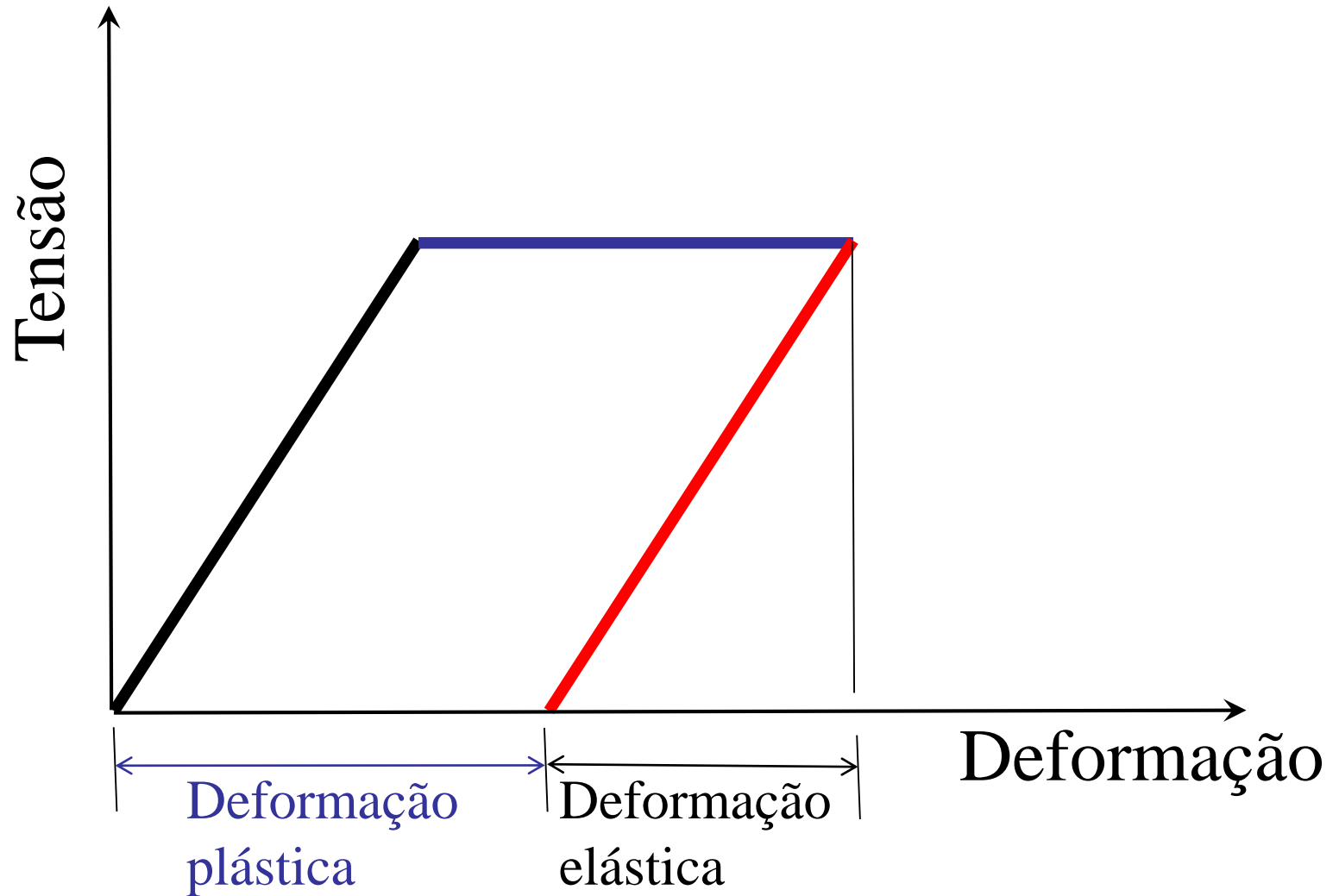
Deformação plástica



Deformação plástica

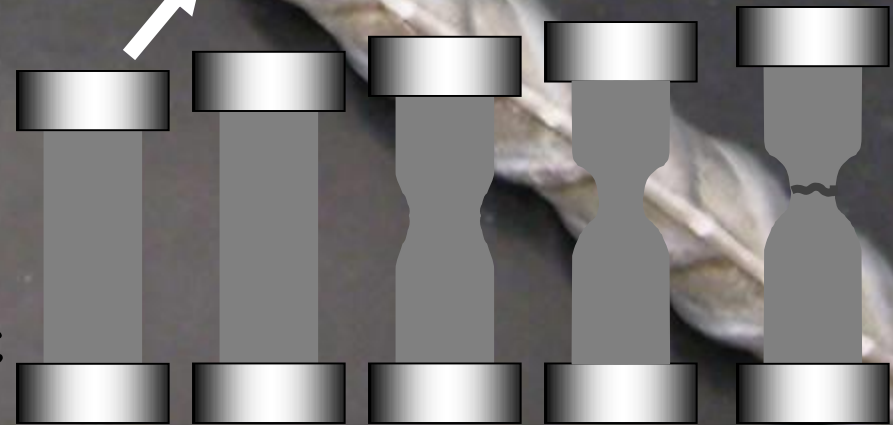
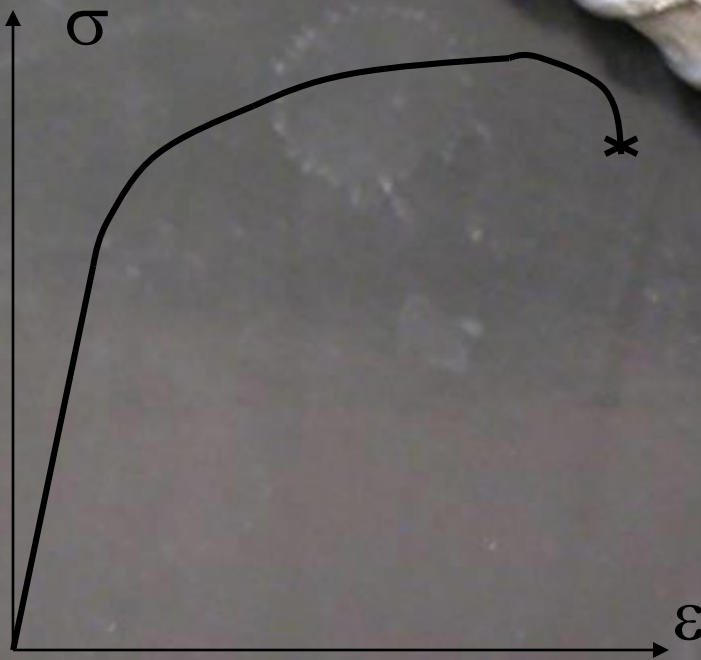


Deformação plástica



Comportamento mecânico dos materiais dúcteis (metais)

Material elasto-plástico



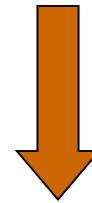
Ensaio de tração direta

Formas de ruptura

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

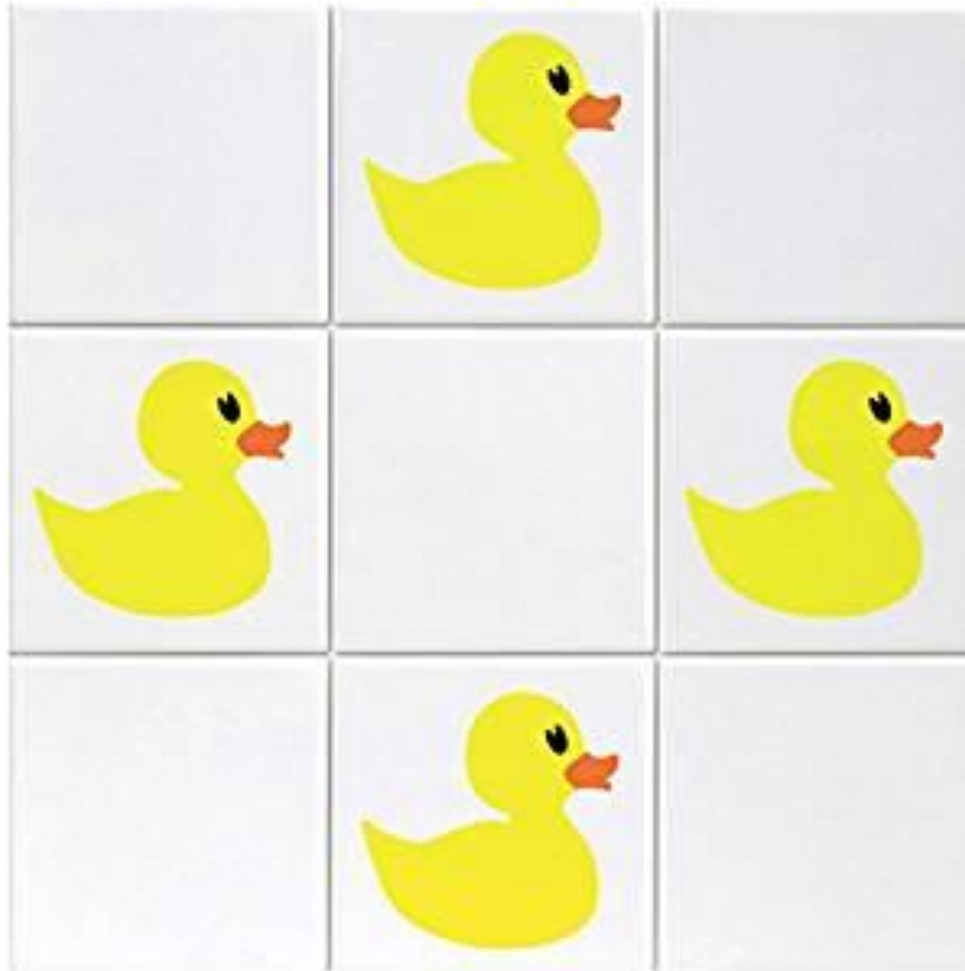


Ruptura catastrófica
(sem aviso)



Ruptura precedida
de grandes
deformações visíveis

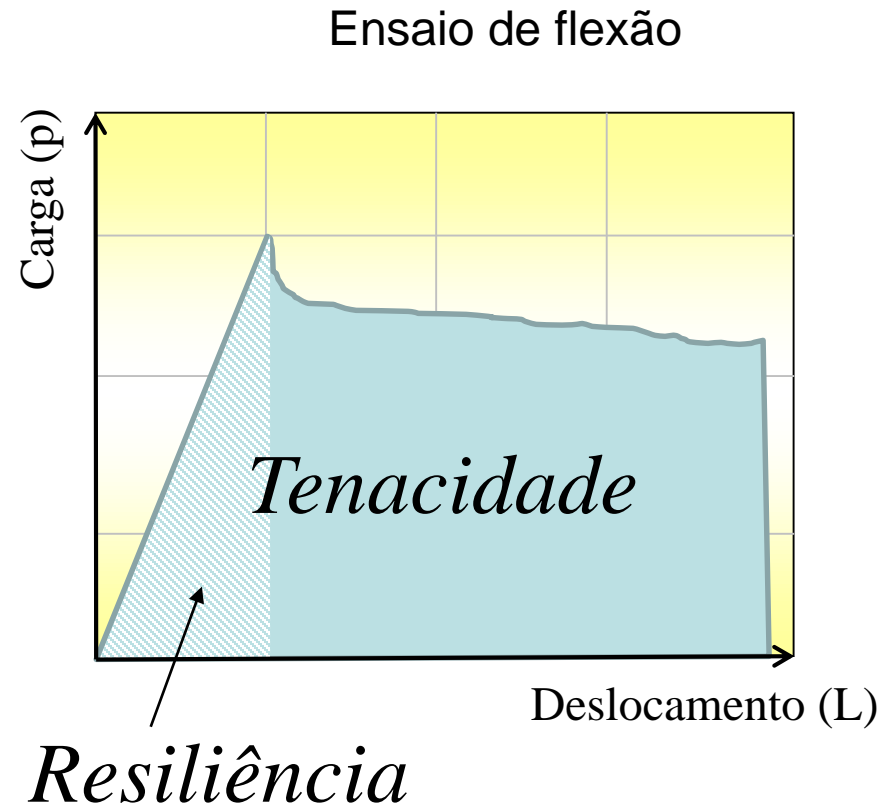
Is this duck tile ductile?



Energias de ruptura

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

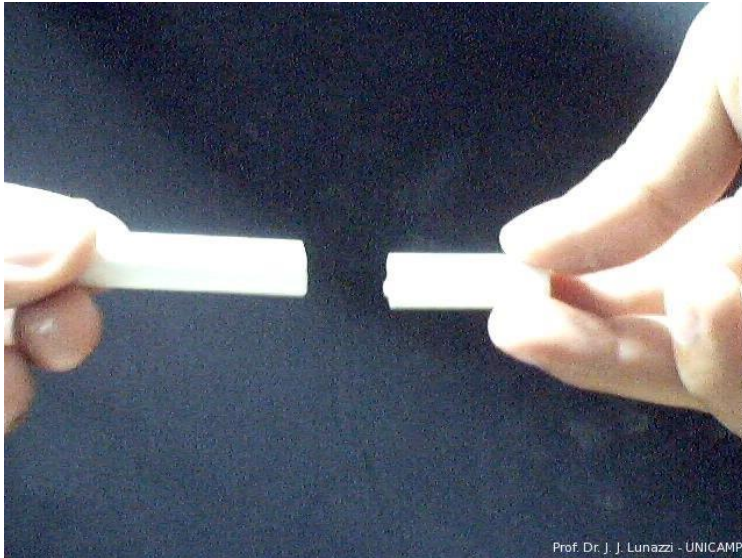
$$\tau = F.d$$



Formas de ruptura

- Material frágil
 - Material totalmente 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

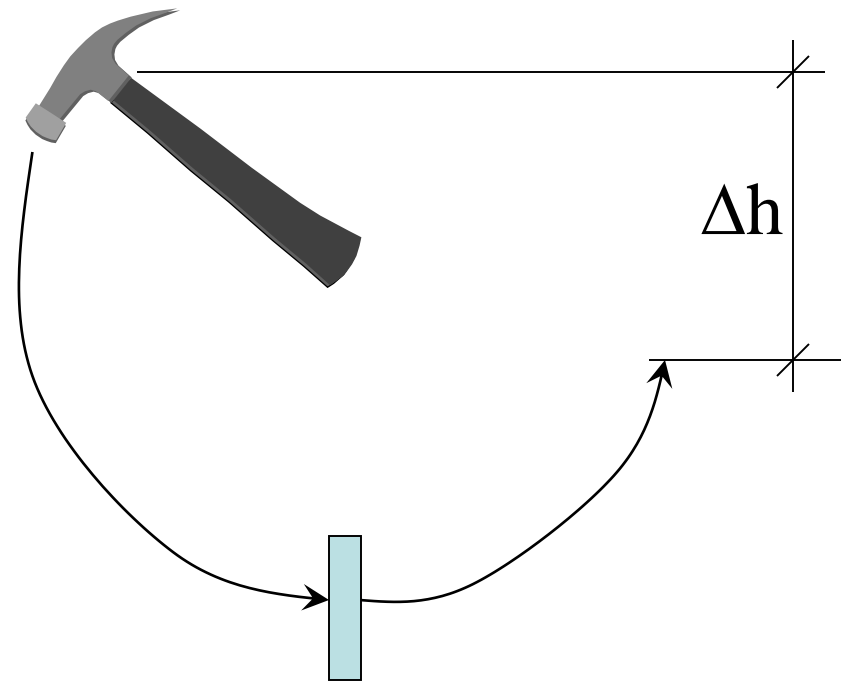


Impacto



Impacto

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



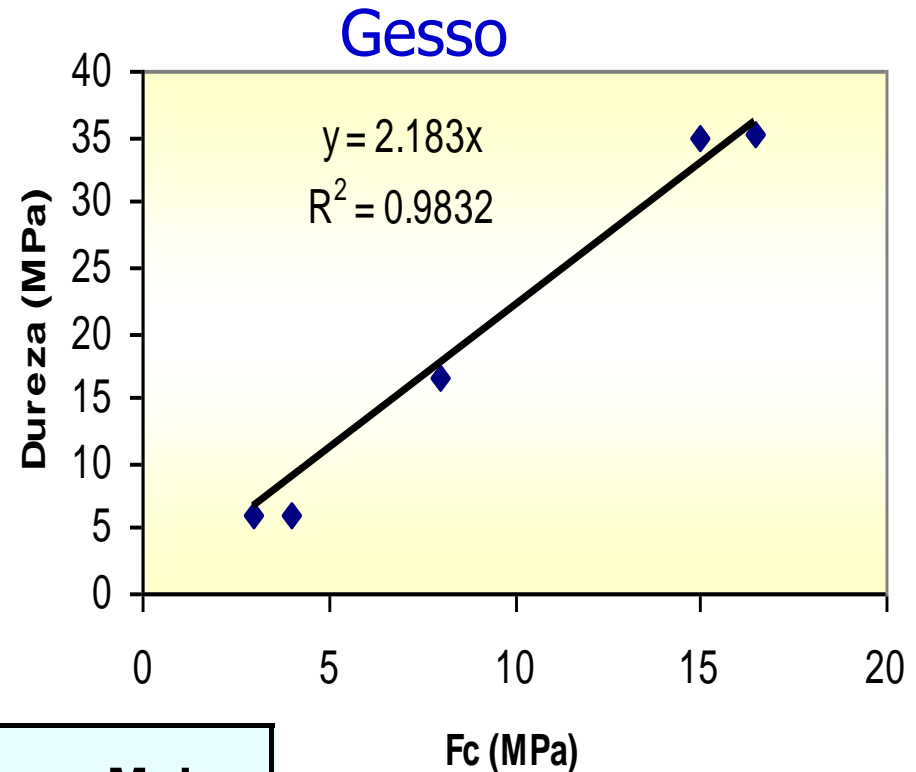
Ensaio de pêndulo de Charpy

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)



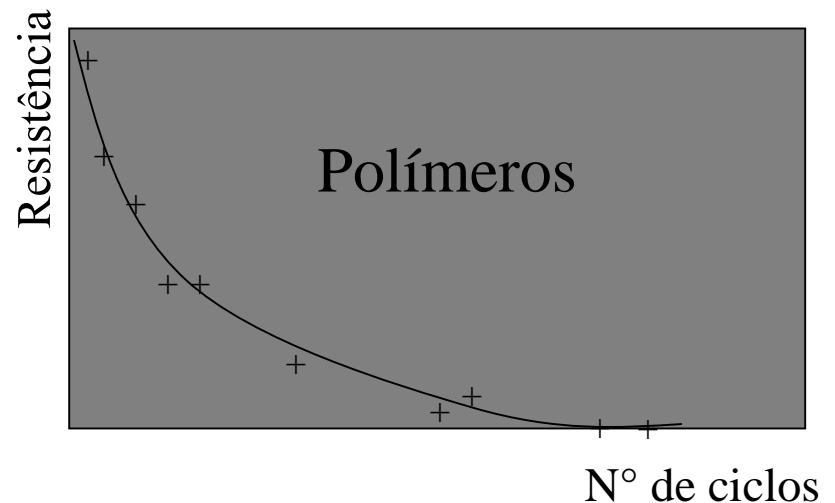
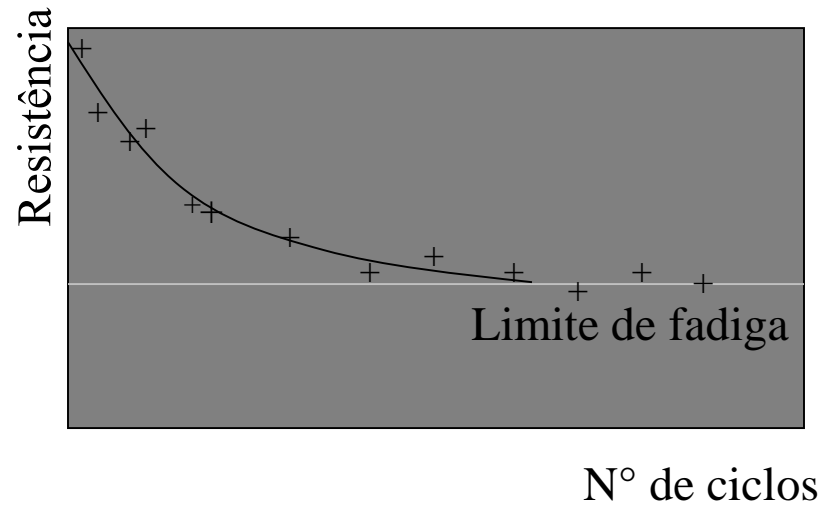
Exemplos:

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

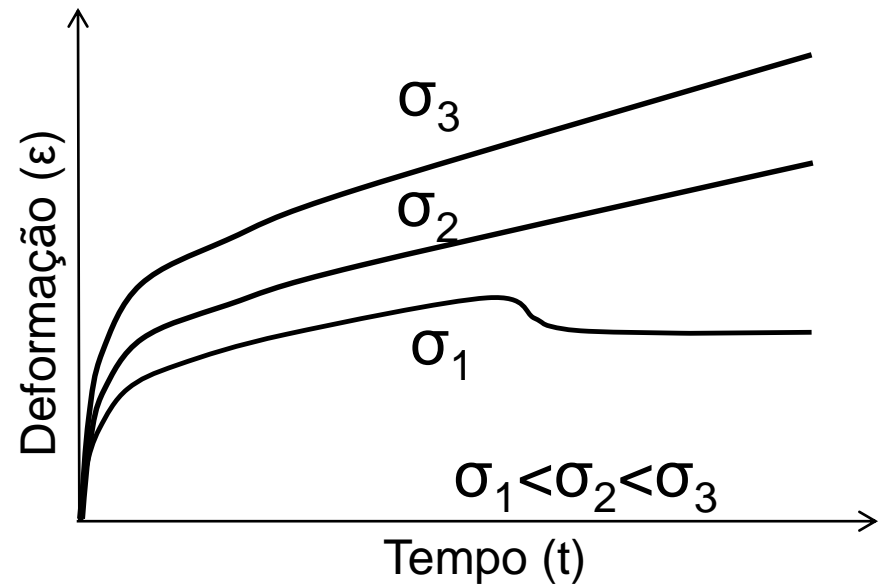
Fadiga

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



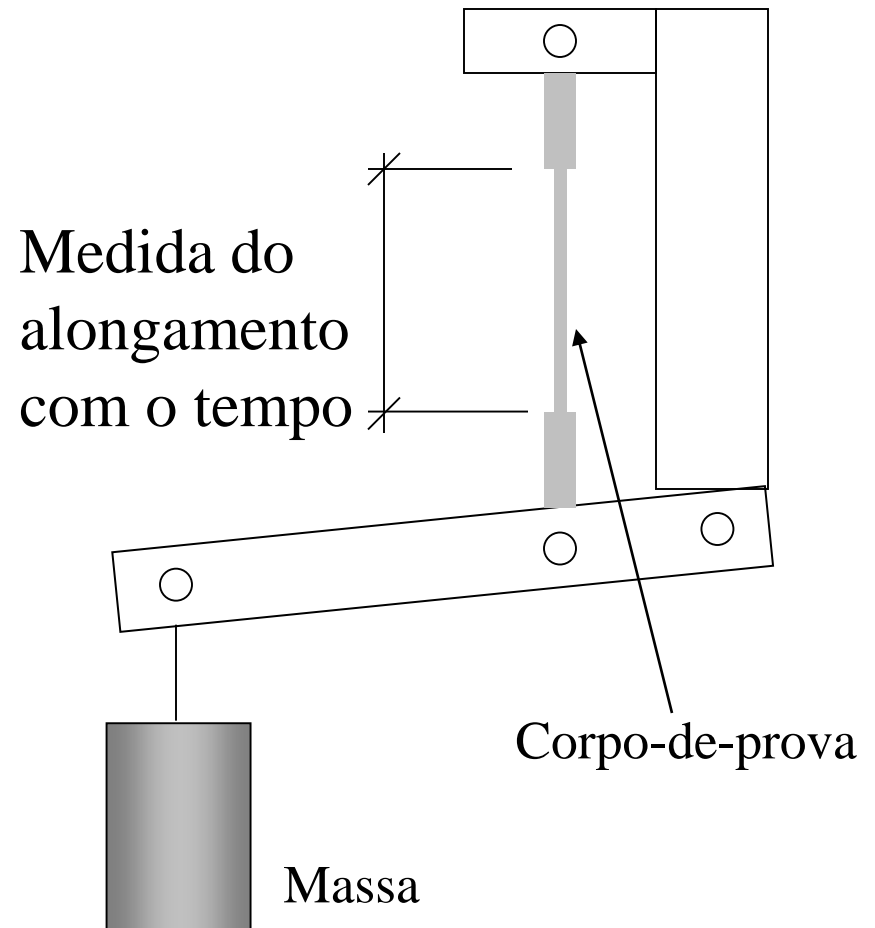
Deformação lenta

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



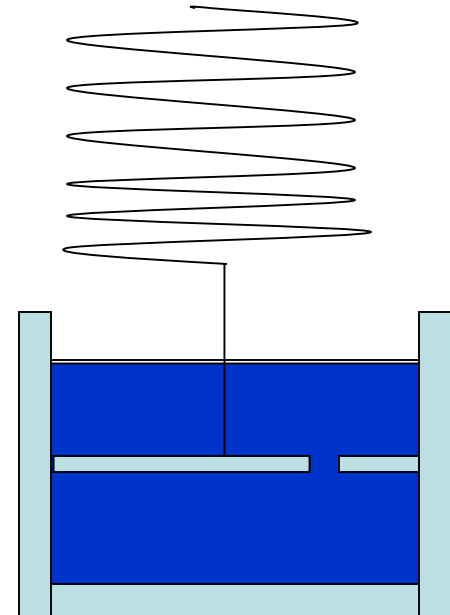
Fluência

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



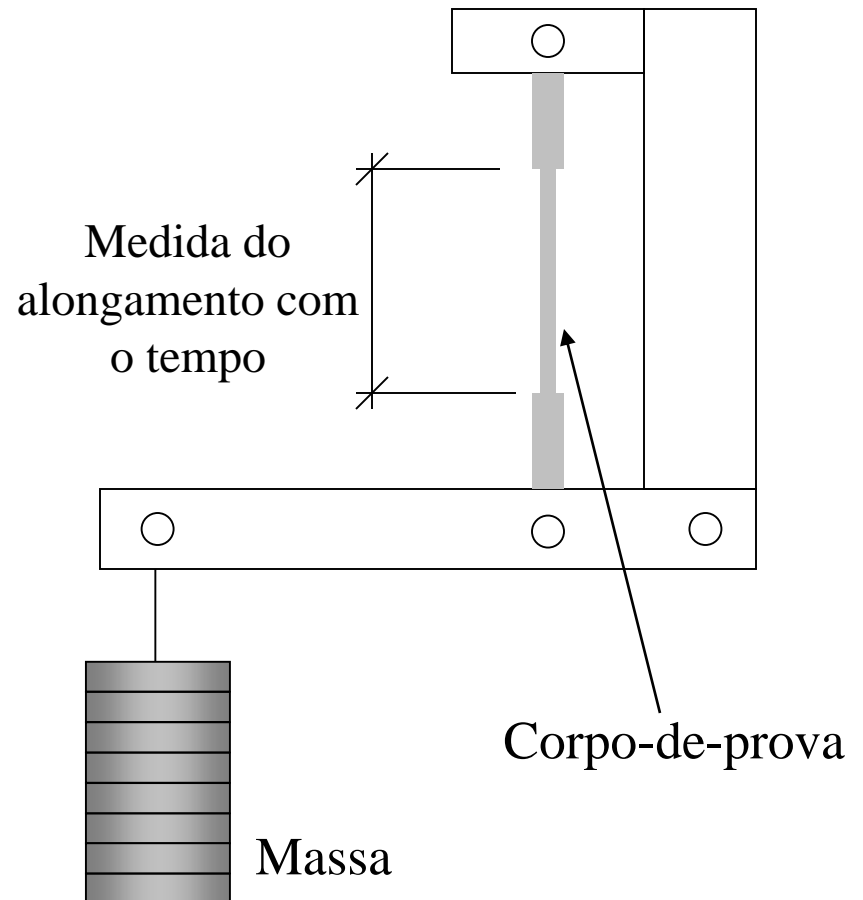
Relaxação

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



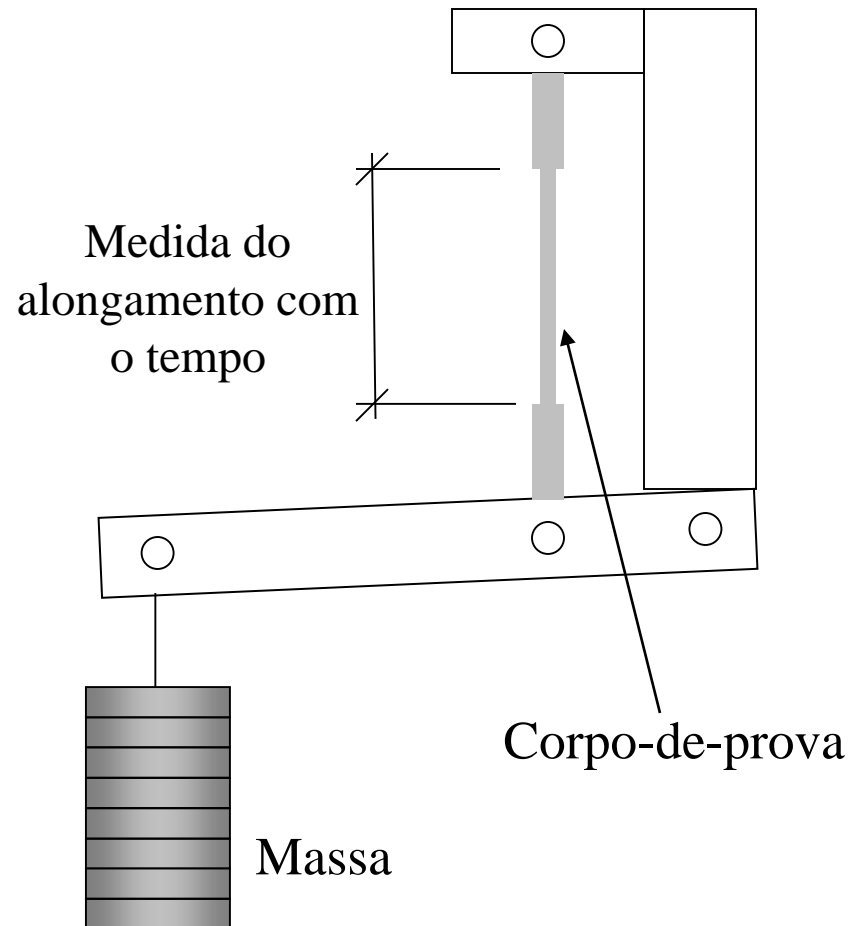
Ensaio de relaxação

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



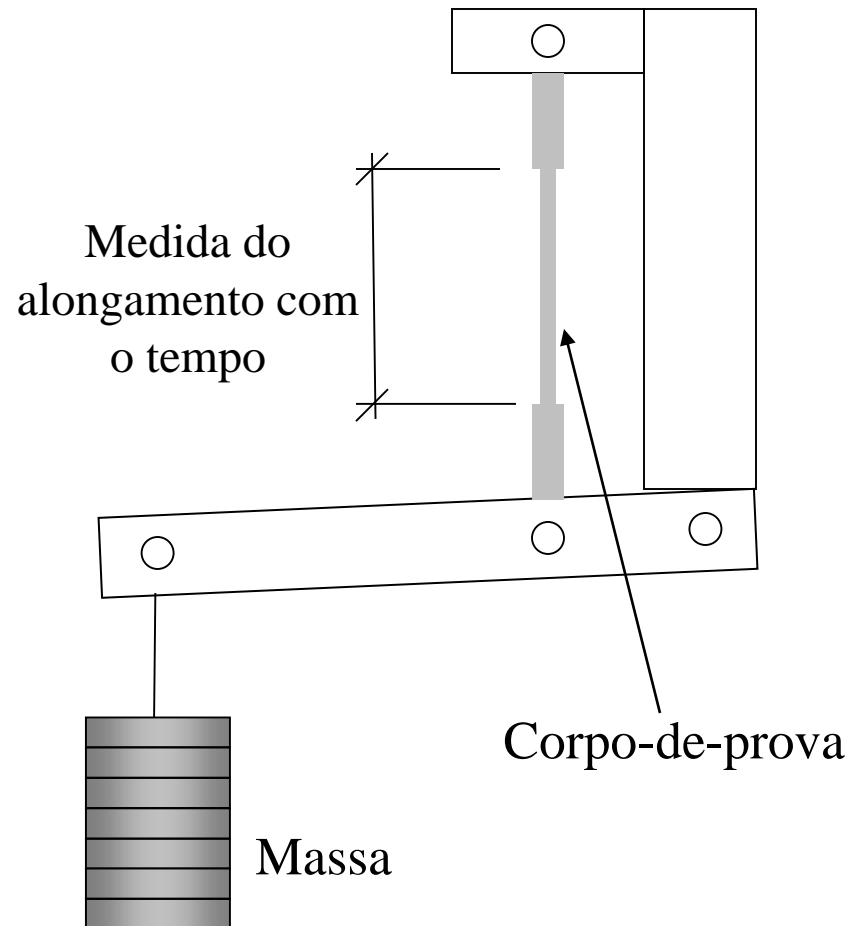
Ensaio de relaxação

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



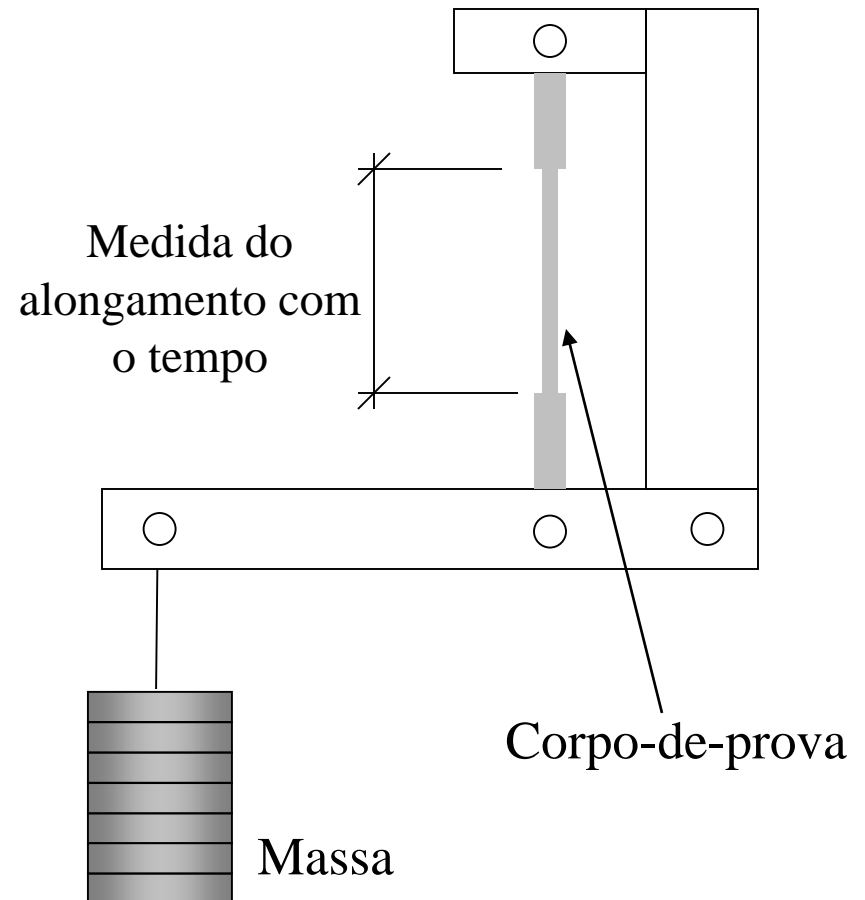
Ensaio de relaxação

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



Ensaio de relaxação

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



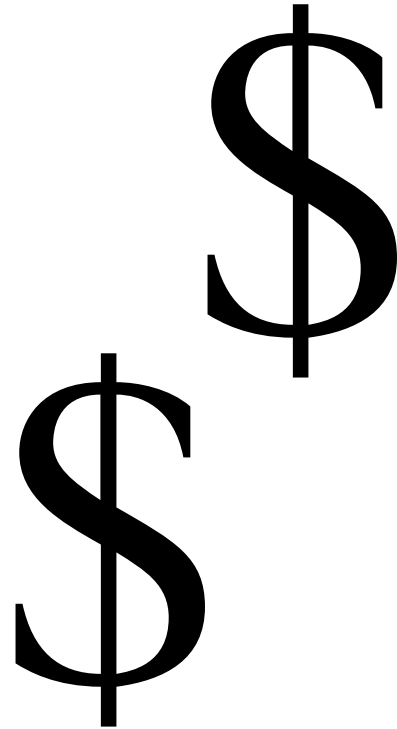
O problema de medir propriedades

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



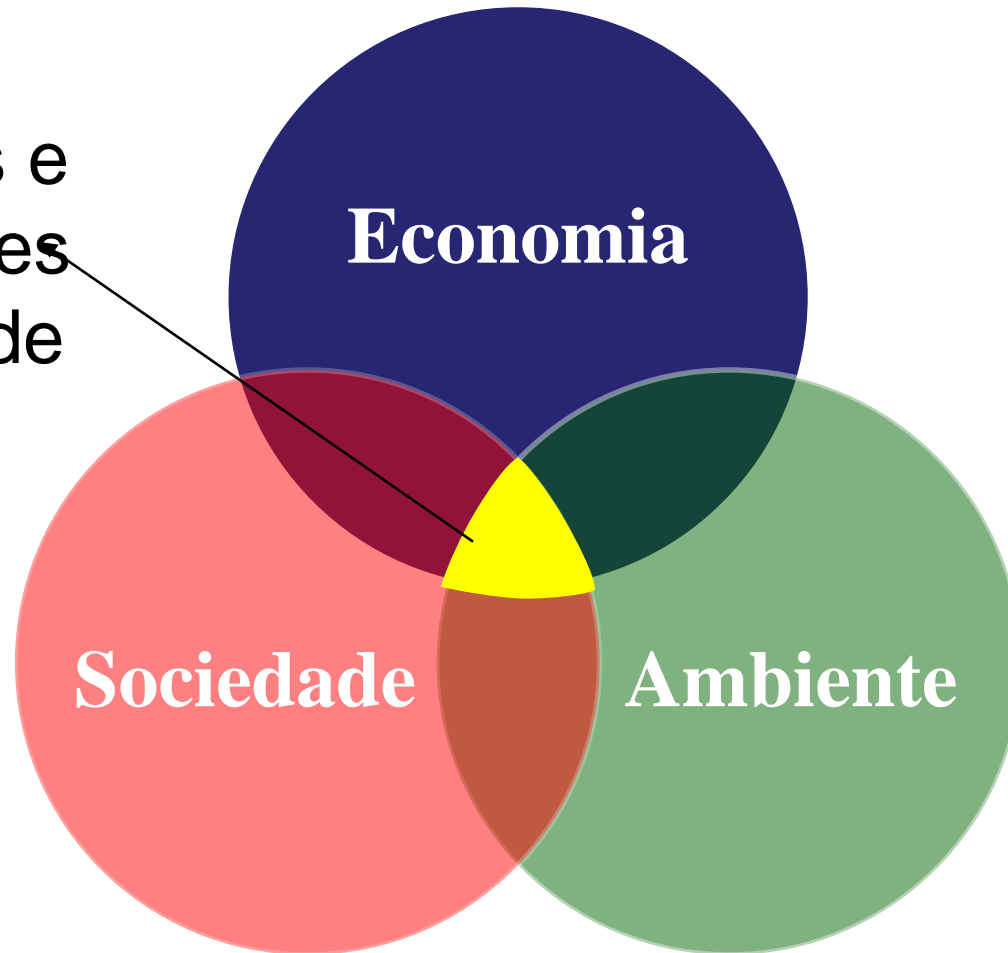
Custo

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



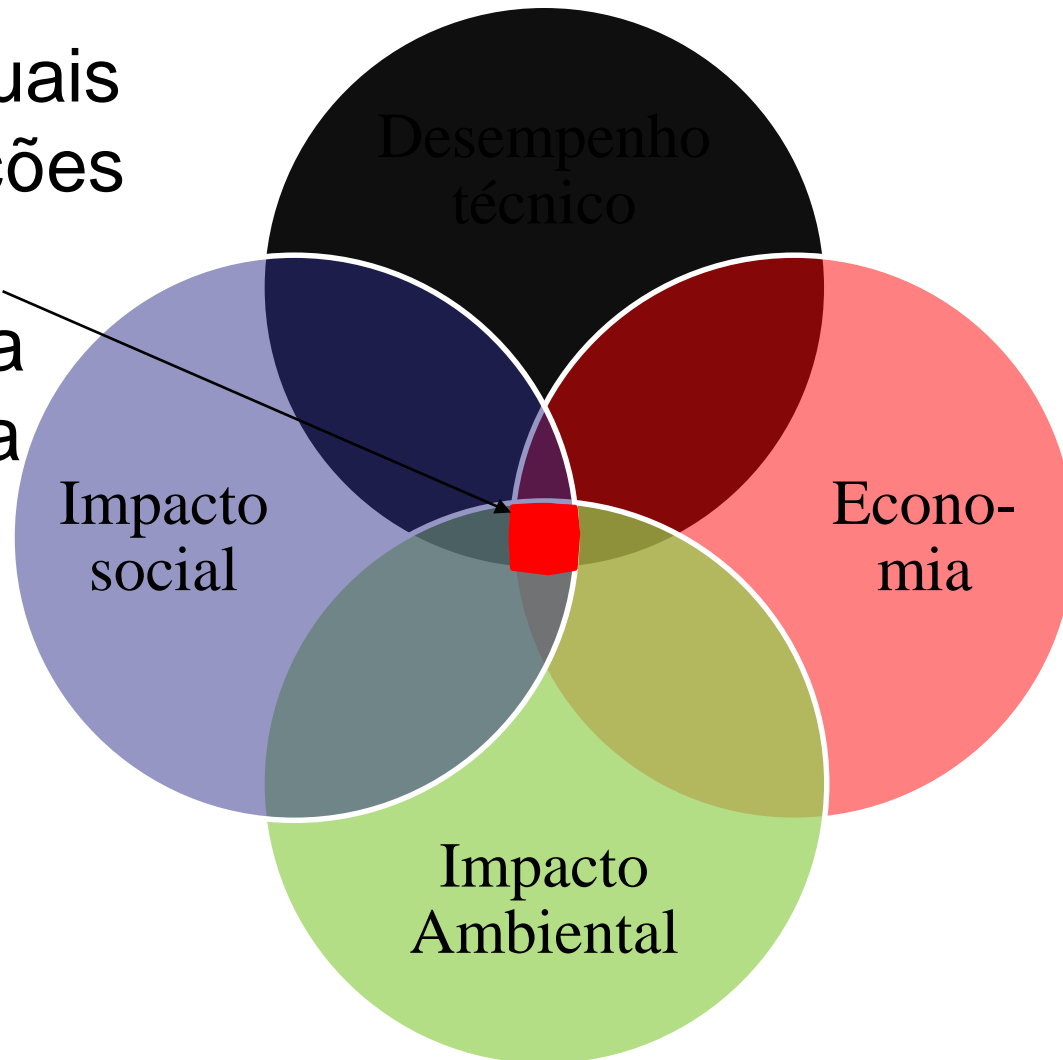
Sustentabilidade

Novos
paradigmas e
necessidades
da sociedade
moderna



A melhor solução de engenharia

Condições atuais
impõem soluções
criativas e
valorizam a
engenharia



Liste os grandes problemas ambientais relacionados à construção.

Aquecimento global & Mudança Climática

Gases do efeito estufa, albedo,
etc

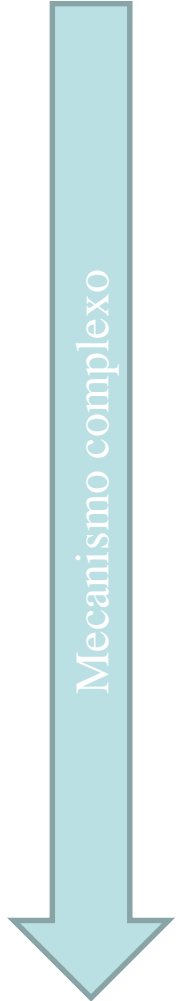
Aquecimento global

Elevação nível
dos oceanos

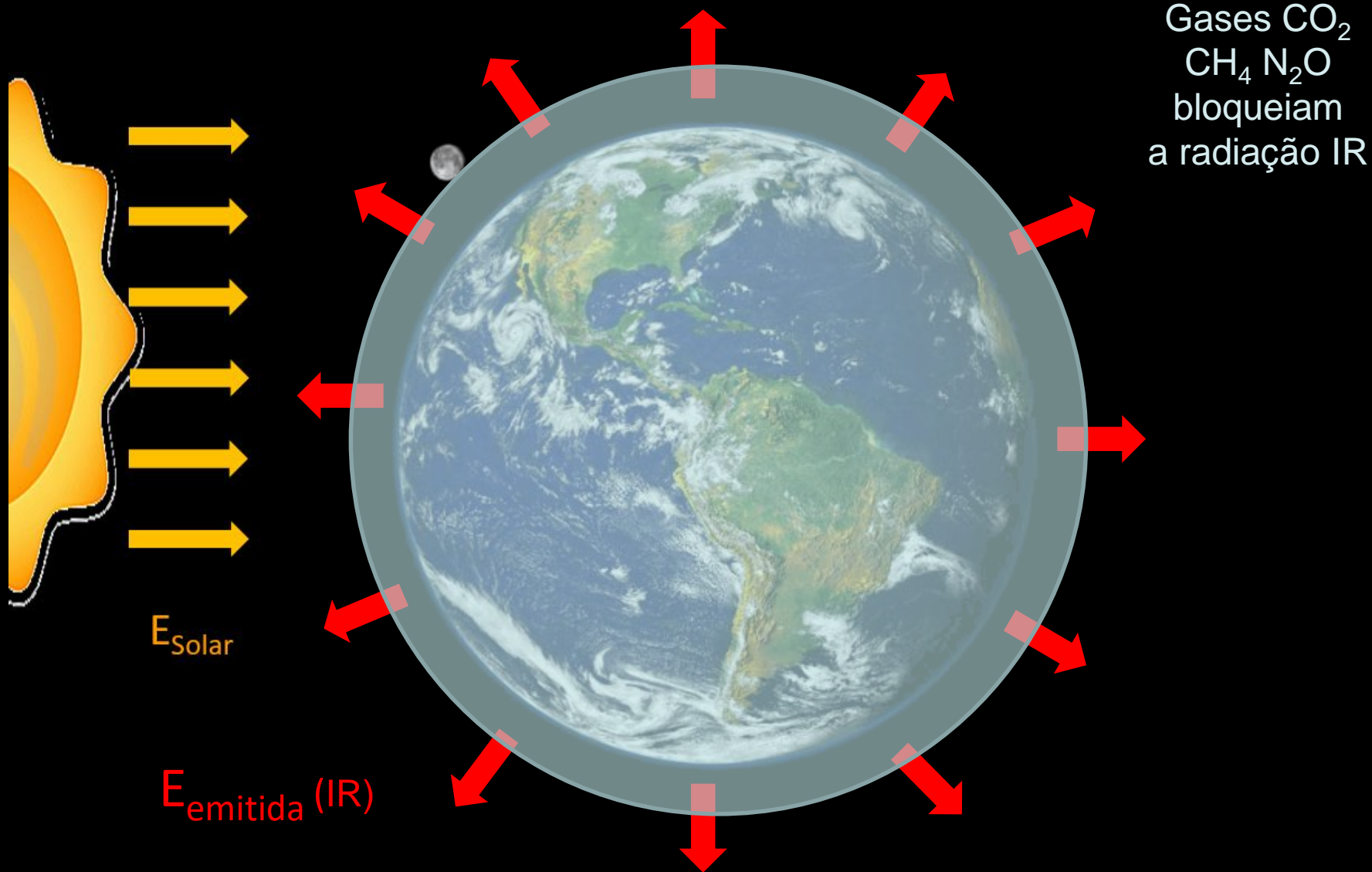
Mudança climática
(chuvas, secas, eventos
extremos)

Extinção das espécies & Perda de biodiversidade

Mecanismo complexo



O que é efeito estufa?



Main Green House Gases - GWP/GTP

8.SM.16 Metric Values to Support Figure 8.32 and Figure 8.33

Table 8.SM.17 | Metric values used for Figures 8.32 and 8.33.

Species	GWP ₁₀	GWP ₂₀	GWP ₅₀	GWP ₁₀₀	GTP ₁₀	GTP ₂₀	GTP ₅₀	GTP ₁₀₀
CO ₂	1	1	1	1	1	1	1	1
CH ₄	104.2	83.9	48.4	28.5	99.9	67.5	14.1	4.3
N ₂ O	246.6	263.7	275.6	264.8	253.5	276.9	281.8	234.2
BC	4349.2	2421.1	1139.3	658.6	2398.2	702.8	110.0	90.7
OC	-438.5	-244.1	-114.9	-66.4	-241.8	-70.9	-11.1	-9.1
SO ₂	-253.5	-141.1	-66.4	-38.4	-139.6	-40.9	-6.4	-5.3
NO _x	134.2	16.7	-15.6	-10.8	2.8	-86.3	-27.4	-2.8
CO	8.6	5.9	3.2	1.9	6.8	3.7	0.7	0.3

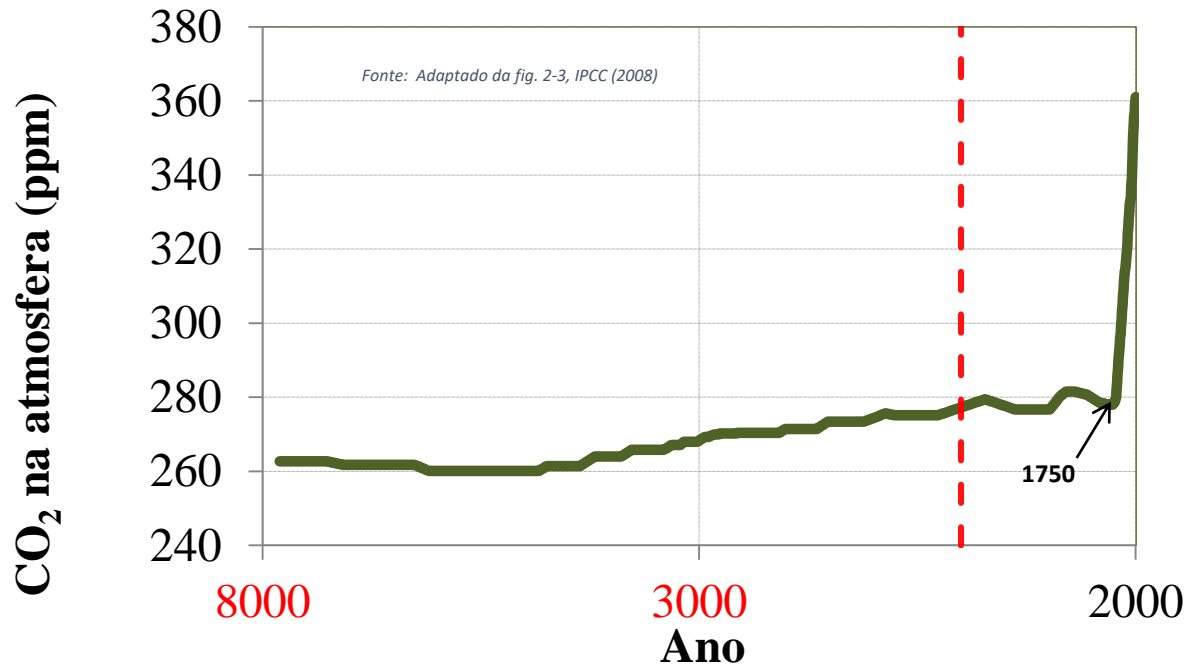
GWP & GTP explained :

8SM-39

https://www.fluorocarbons.org/wp-content/uploads/2016/09/EFCTC_Learn_about_GTP_versus_GWP.pdf

Lista complete http://ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf

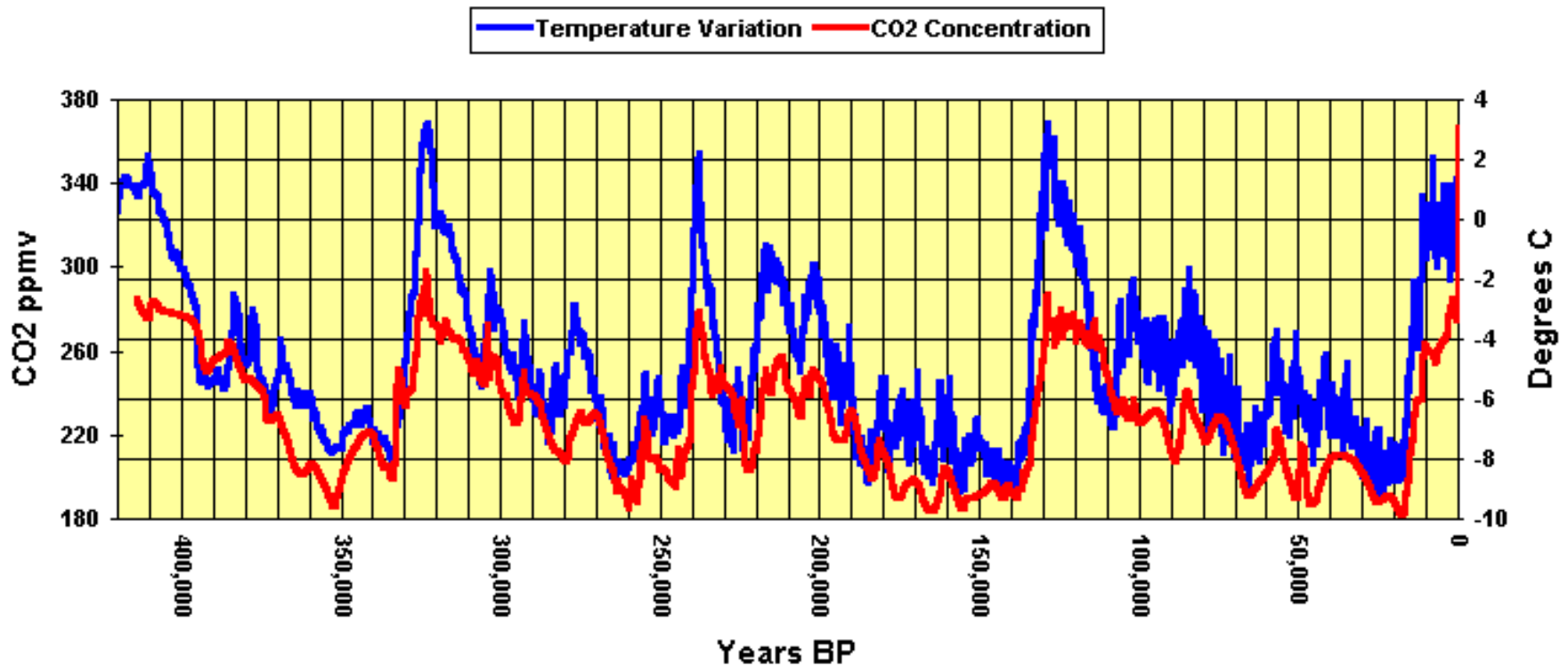
CO₂ é o principal gás do efeito estufa



- CO₂ é o principal gás
- Fontes principais
 - Queima de combustíveis fósseis
 - Decomposição de carbonatos

Há vozes dissidentes...

Antarctic Ice Core Data 1



Vostok Ice Core

Courtesy J.R. Petit

Fred Goldberg
Associate Professor
Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden

Uma nova era glacial seria bem pior...

