

Aula 6 – Propriedades Mecânicas dos Materiais

Prof. Daniel Boari Coelho

E-mail: daniel.boari@ufabc.edu.br

**Universidade Federal do ABC
Princípios de Reabilitação e Tecnologias Assistivas**

3º Quadrimestre de 2018



Universidade Federal do ABC

- ✓ Conceitos fundamentais
- ✓ Relação tensão e deformação
- ✓ Flexão
- ✓ Fluência
- ✓ Fadiga

Para estudar:

https://www.youtube.com/watch?v=AaecH6_rNMo

<https://www.ftool.com.br/Ftool/>

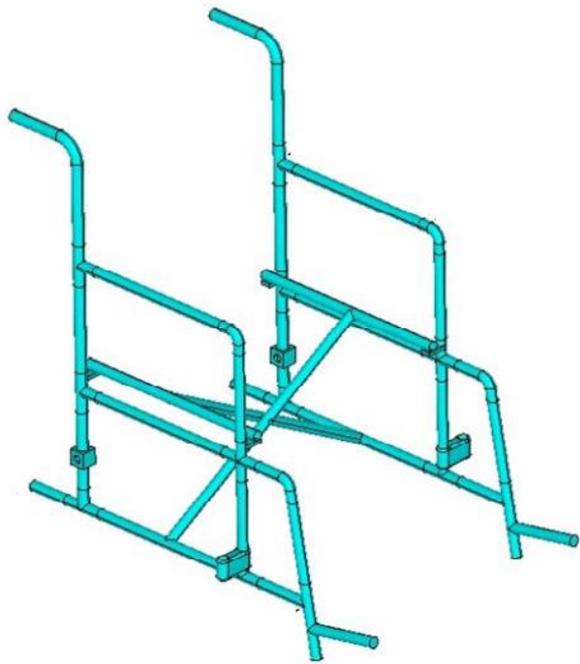
E-Tec Brasil. Ensaios mecânicos e análises de falhas

Disciplina da engenharia que estuda o comportamento dos corpos sólidos sujeitos a diversos tipos de carregamentos.

Objetivo: determinar as tensões, deformações e deslocamentos em estruturas e seus componentes e avaliar as possíveis causas das falhas.

As estruturas se compõe de uma ou mais peças, ligadas entre si e ao meio exterior de modo a formar um conjunto estável, isto é, um conjunto capaz de receber solicitações externas, absorvê-las internamente e transmiti-las até seus apoios, onde estas solicitações externas encontrarão seu sistema estático equilibrante.

1. Concepção e definição do modelo matemático da estrutura
 - a. Utilização de métodos clássicos, computacionais ou experimentais
2. Obtenção dos esforços, tensões, deslocamentos e reações
3. Dimensionamento da estrutura aplicando normas ou especificações técnicas



Carregamento



Upward loading test

Cargas concentradas

- ✓ Forma aproximada de tratar cargas distribuídas segundo áreas tão pequenas (em relação as dimensões da estrutura).

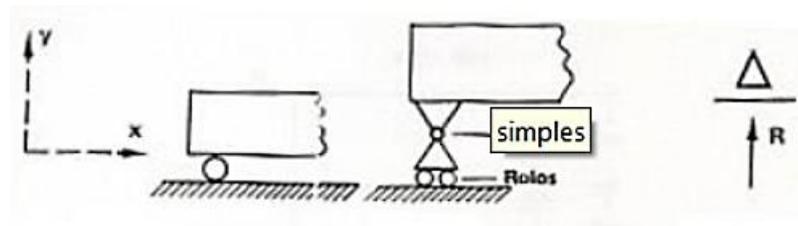
Cargas distribuídas

- ✓ Quando a solicitação externa sobre a estrutura é aplicada em uma área de dimensões consideráveis.

Conceitos Fundamentais: tipos de apoios

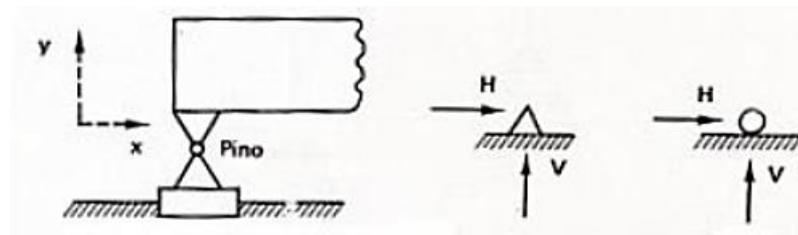
Apoio simples ou móvel

- ✓ Restringe um grau de liberdade de translação.



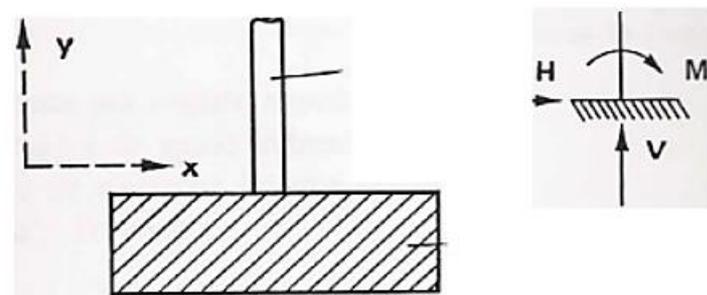
Apoio fixo

- ✓ Restringe dois graus de liberdade de translação.



Apoio engastado

- ✓ Restringe dois graus de liberdade de translação e uma rotação.



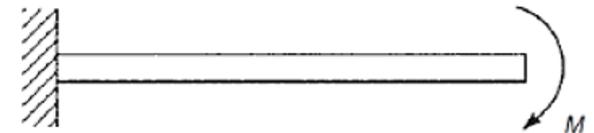
Conceitos Fundamentais: esforços internos

Forças normais: Esforço atuante normal a seção transversal.

Forças cortantes: Esforço atuante perpendicular à seção transversal.

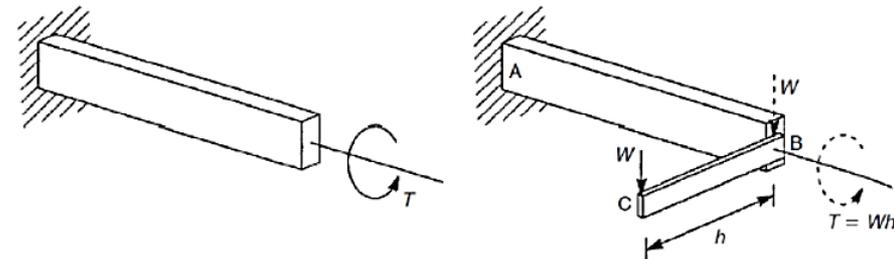
Momento fletor

- ✓ Esforço atuante que provoca a rotação da seção transversal da barra em um eixo perpendicular a ela.

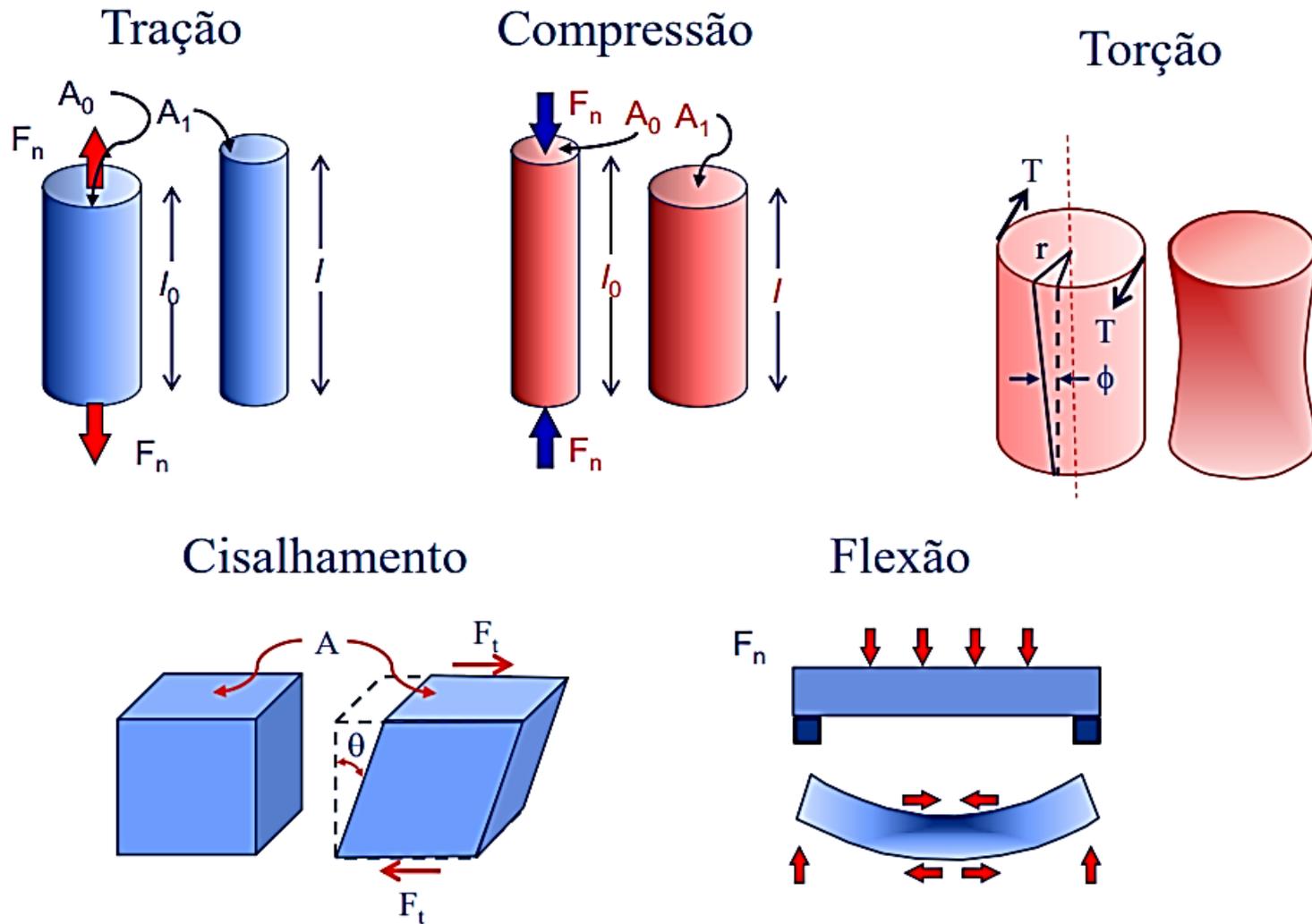


Momento torçor

- ✓ Esforço atuante que provoca a rotação da seção transversal da barra em relação ao eixo normal a ela.



Conceitos Fundamentais: esforços internos



Flexíveis

- ✓ Rotuladas: sem transmissão de momento

Rígidas

- ✓ Transmitindo momento em sua totalidade.

Semirrígidas

- ✓ Transmitindo uma parte do momento apenas.

Conceitos Fundamentais: tensão (σ)

- ✓ É a resposta interna de um corpo a uma carga ou força externa.
- ✓ A tensão média de tração ou compressão é expressa como força dividida pela área da seção transversal à direção da força.
- ✓ Mais adequado para caracterizar a resistência à ruptura de um material do que a força (adequada para expressar a resistência de um objeto).
- ✓ Unidade: Pa = N/m²
- ✓ Tipos de tensão:
 - ✓ Tração (tende a afastar os átomos).
 - ✓ Compressão (tende a aproximar os átomos).
 - ✓ Cisalhamento (tende a gerar deslizamentos entre planos atômicos).

Conceitos Fundamentais: deformação (ϵ)

- ✓ É a relação entre a variação dimensional e as dimensões iniciais do corpo.
- ✓ A variação dimensional também recebe o nome de deslocamento, seja por alongamento ou por encurtamento do corpo.
- ✓ Tipos de deformação:
 - ✓ Elástica: alteração dimensional que desaparece com a retirada da força.
 - ✓ Plástica ou permanente: alteração dimensional que não desaparece depois de removida a carga.

Propriedades dos materiais

Aspecto econômico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Preço e disponibilidade ▪ Capacidade de reciclagem
Física geral	Densidade
Mecânica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Módulo de elasticidade ▪ Resistência à deformação e a tração ▪ Dureza ▪ Tenacidade à fratura ▪ Limite de fadiga ▪ Limite de resistência à deformação a quente ▪ Característica de amortecimento
Térmica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Condutividade térmica ▪ Calor específico ▪ Coeficiente de expansão térmica
Elétrica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistividade ▪ Constante dielétrica ▪ Permeabilidade manética
Interação ambiental	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Oxidação ▪ Corrosão ▪ Desgaste
Produção	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Facilidade no processamento ▪ União ▪ Acabamento
Estética	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cor ▪ Textura ▪ Sensação táctil

Rigidez:

- ✓ Relação entre tensão e deformação elástica. Expressa a dificuldade oferecida às deformações elásticas (oposto de “rígido” = “flexível”).

Dureza:

- ✓ Resistência à deformação permanente produzida por penetração ou por riscos (oposto de “duro” = “mole”).

Fluência:

- ✓ A fluência é uma deformação ao longo do tempo de um material quando submetido a uma carga ou tensão constante.

Ductibilidade e maleabilidade:

- ✓ Capacidade de sofrer grandes deformações permanentes, sob tração (ductibilidade) ou sob compressão (maleabilidade), antes da fratura.
- ✓ Ductilidade: representa o grau de deformação plástica que o material suporta até que ocorra a fratura

Fragilidade

- ✓ Oposto de ductilidade e maleabilidade: a fratura ocorre com pequenas deformações permanentes.

Resiliência

- ✓ Capacidade de absorção de energia durante o regime de deformação exclusivamente elástica. Depende do módulo de resiliência do material e do volume do objeto.

Tenacidade

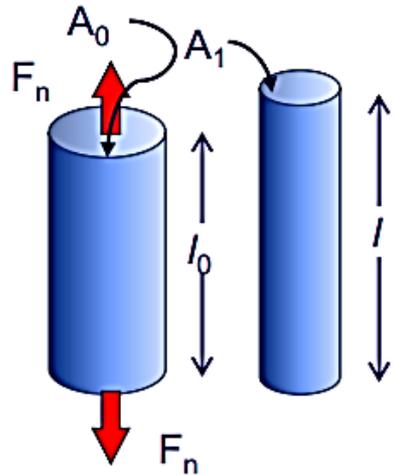
- ✓ Capacidade de absorção de energia até a fratura (compreende o regime elástico e plástico).

Elasticidade

- ✓ Um material apresenta uma elasticidade elevada quando sua relação tensão-deformação permanece proporcional a altas tensões.

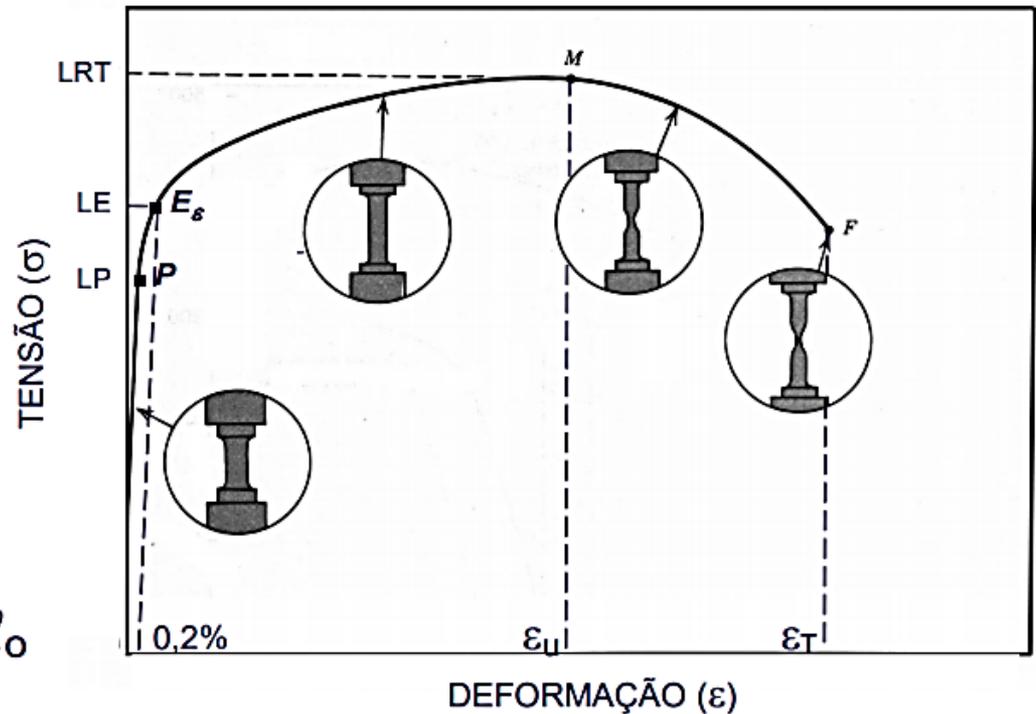
Propriedades dos materiais: relação tensão e deformação

Tração

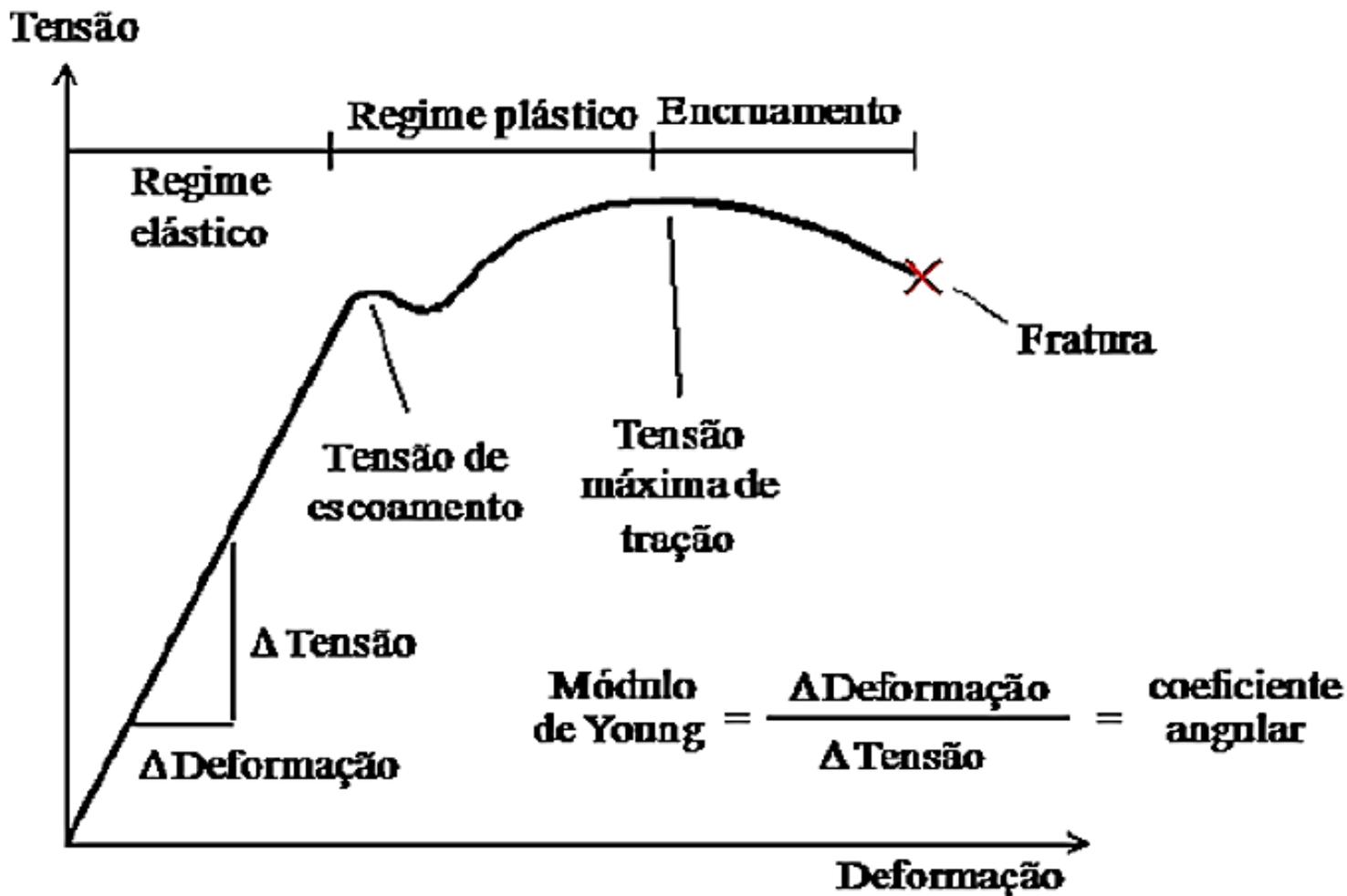


$$\sigma = F / A_0$$

$$\epsilon = (l - l_0) / l_0 = \Delta l / l_0$$



Propriedades dos materiais: relação tensão e deformação



Limite de Elasticidade (LE)

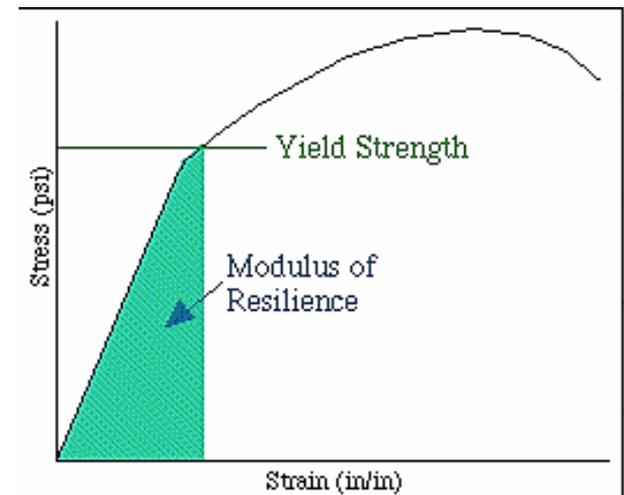
- ✓ Tensão máxima em que a deformação ainda é reversível (elástica).

Encruamento

- ✓ Aumento na dureza e na resistência mecânica de um metal dúctil à medida em que ele passa por uma deformação plástica em temperatura abaixo de sua temperatura de recristalização.

Módulo de resiliência

- ✓ Máxima energia de deformação que um material pode absorver por unidade de volume de material sem ocorrer deformação plástica (inclui todo o regime elástico, e apenas ele).
- ✓ Proporcional à área do gráfico na porção elástica da curva.



Módulo de Elasticidade – E (Módulo de Young)

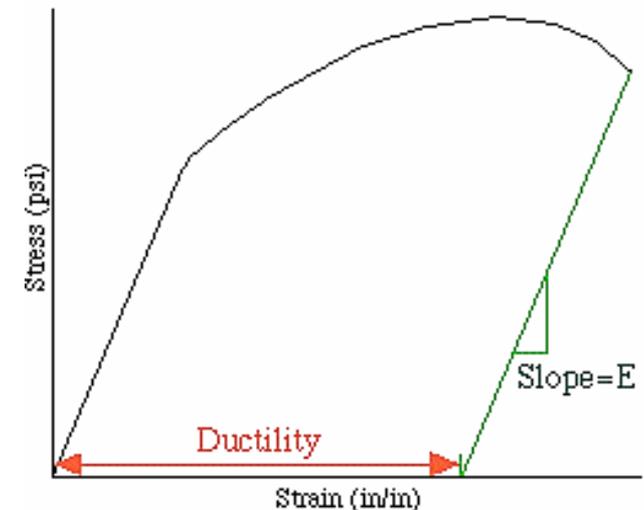
- ✓ Expressa a rigidez do material.
- ✓ É uma medida restrita ao regime elástico, calculada pela razão entre a variação de tensão e a correspondente variação de deformação (tangente do ângulo alfa formado entre a porção linear da curva e o eixo da deformação).
- ✓ $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$
- ✓ Está diretamente relacionado com as forças interatômicas: \square
 - ✓ Os materiais cerâmicos tem alto módulo de elasticidade, enquanto os materiais poliméricos tem baixo;
 - ✓ Com o aumento da temperatura o módulo de elasticidade diminui.

Resistência a tração

- ✓ Corresponde à tensão máxima aplicada ao material antes da ruptura.
- ✓ É calculada dividindo-se a carga máxima suportada pelo material pela área de seção reta inicial.

Ductibilidade

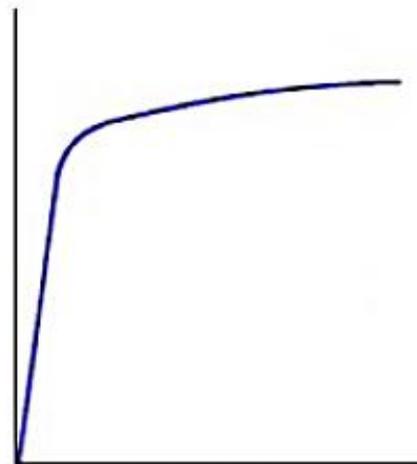
- ✓ Corresponde ao alongamento total do material devido à deformação plástica.



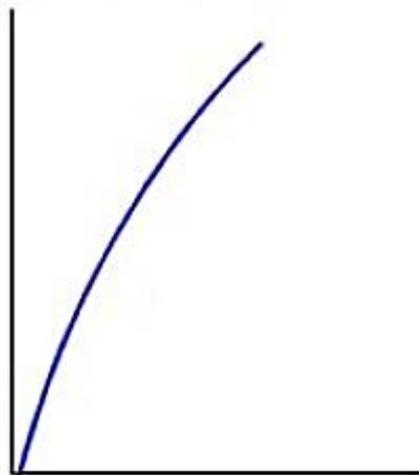
Propriedades dos materiais: relação tensão e deformação



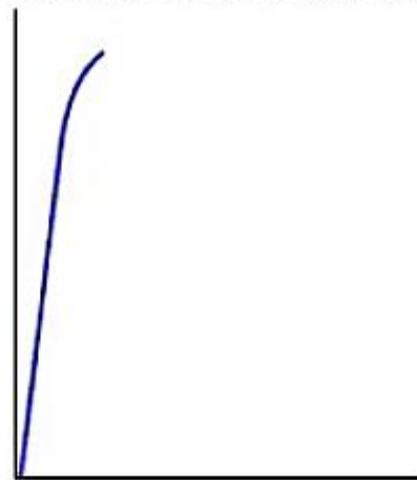
Material dúctil com patamar de escoamento



Material dúctil sem patamar de escoamento definido

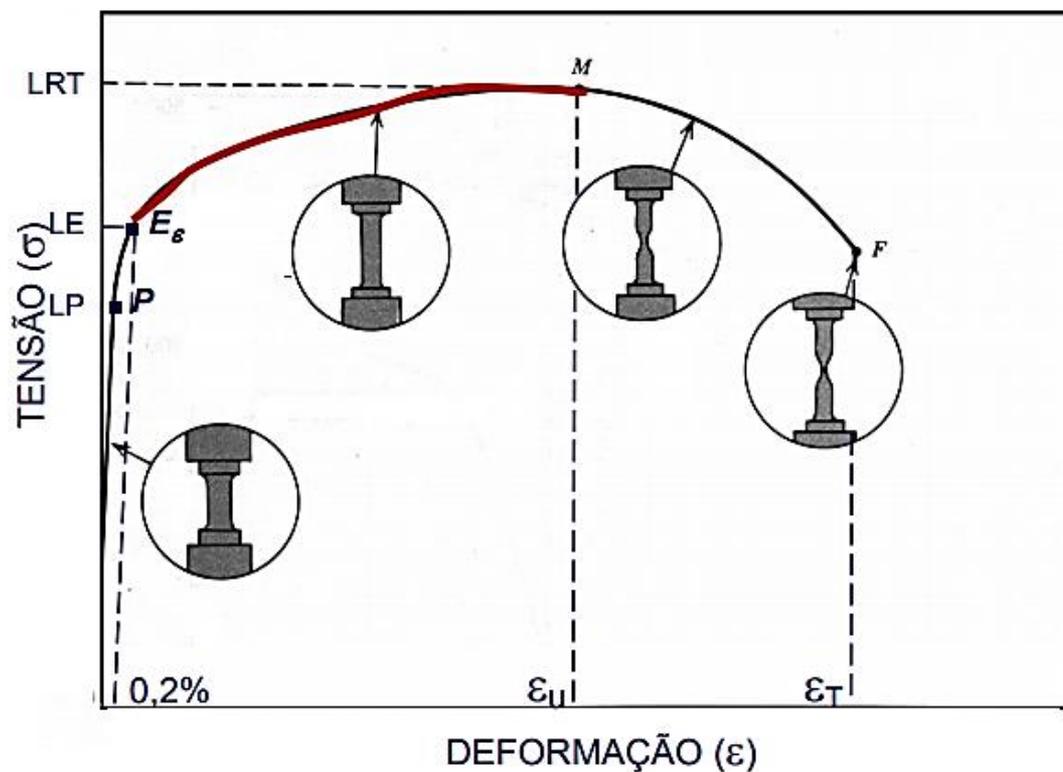


Material não linear



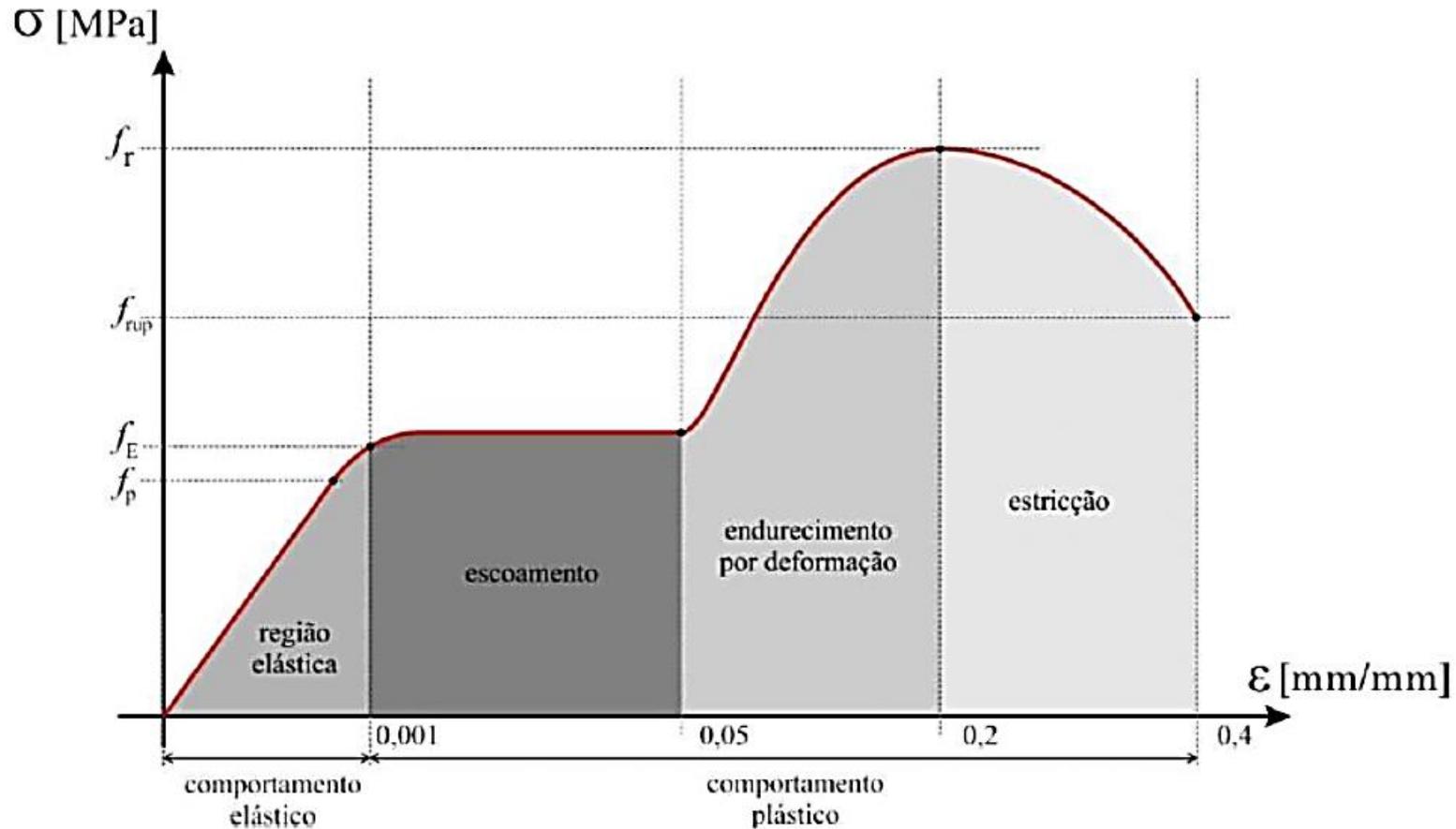
Material frágil

Propriedades dos materiais: relação tensão e deformação



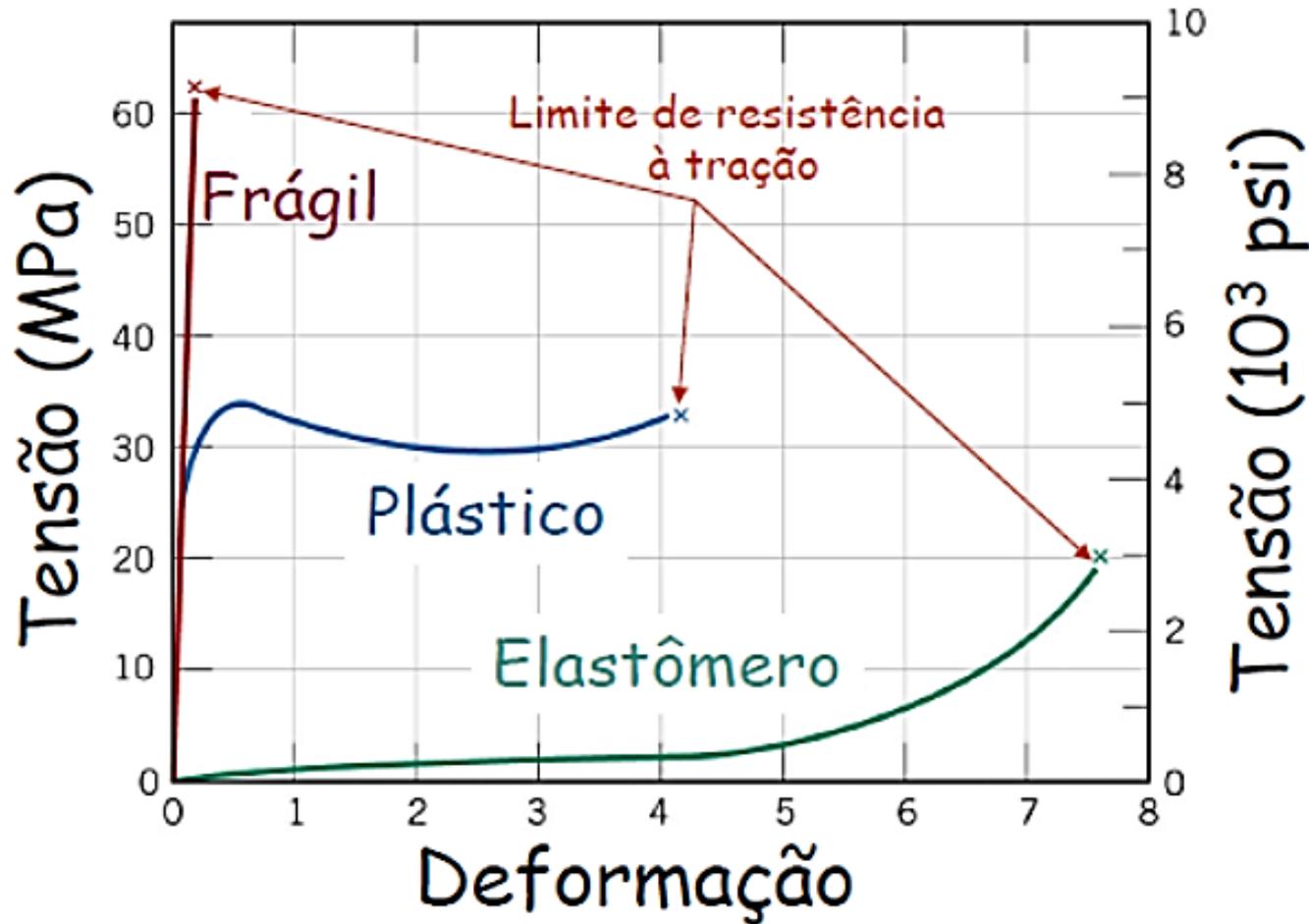
A deformação no ponto M corresponde ao máximo valor de ϵ com alongamento uniforme. Deformações maiores que ϵ_U ocorrem com estrição (empescoçamento).

Material dúctil



Escoamento: Caracteriza-se por um grande alongamento sem acréscimo de carga.

Polímeros



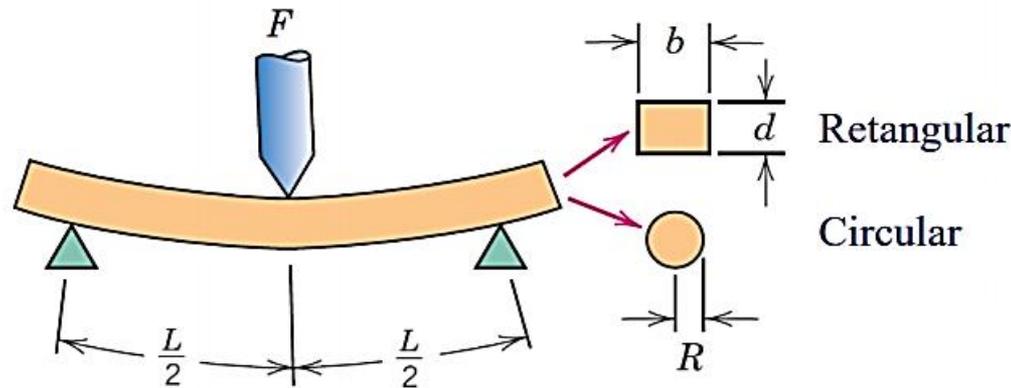
Coeficiente de Poisson

- ✓ Estabelece que dentro da faixa elástica, a razão entre essas deformações é uma constante, já que estas são proporcionais.
- ✓
$$\nu = - \frac{\varepsilon_{lat}}{\varepsilon_{long}}$$
- ✓ A expressão acima tem sinal negativo porque o alongamento longitudinal (deformação positiva) provoca contração lateral (deformação negativa) e vice-versa.
- ✓ Valores típicos são 1/3 ou 1/4.

- ✓ Defeitos no material, poros, bolhas e ranhuras são alguns dos fatores concentradores de tensão, que facilitam o surgimento da trinca.
- ✓ A concentração de tensões é crítica em materiais frágeis, que não possuem mecanismos protetores contra a propagação da trinca (materiais dúcteis são capazes de se deformar plasticamente em locais próximos à trinca, dificultando sua propagação).
- ✓ Tenacidade à fratura: propriedade que indica a capacidade de um material resistir à propagação da trinca. Cerâmicas são exemplos de materiais com baixa tenacidade à fratura (em geral, menor que os metais).

- ✓ Resistência à fadiga: resistência do material ao carregamento cíclico abaixo do seu limite de resistência.
- ✓ Propriedade do material é diferente de propriedade do objeto, visto que a propriedade do objeto, além da propriedade do material que o constitui, depende também da sua geometria.

Propriedades dos materiais: flexão



M = momento fletor máximo
 c = distância do centro do corpo de prova
 I = momento de Inércia
 F = Carga aplicada

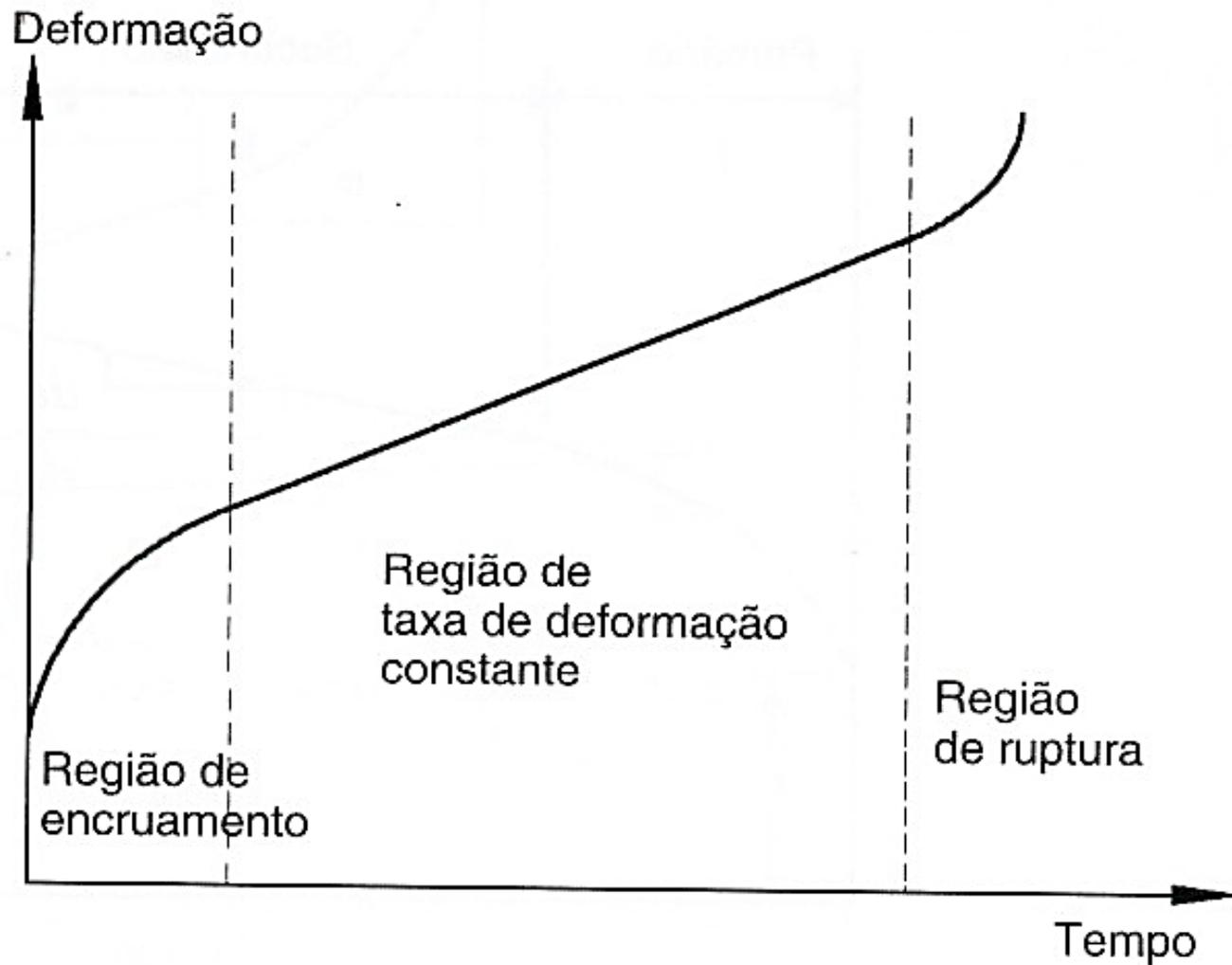
$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

	<u>M</u>	<u>c</u>	<u>I</u>	<u>Σ</u>
Retangular	$\frac{FL}{4}$	$\frac{d}{2}$	$\frac{bd^3}{12}$	$\frac{3FL}{2bd^2}$
Circular	$\frac{FL}{4}$	R	$\frac{\pi R^4}{4}$	$\frac{FL}{\pi R^3}$

- ✓ Quando um metal é solicitado por uma carga, imediatamente sofre uma deformação elástica. Com a aplicação de uma carga constante, a deformação plástica progride lentamente com o tempo (fluência) até haver um estrangulamento e ruptura do material.
- ✓ Fluência é definida como a deformação permanente, dependente do tempo e da temperatura, quando o material é submetido à uma carga constante.
- ✓ Esta propriedade é de grande importância especialmente na escolha de materiais para operar a altas temperaturas.

- ✓ Velocidade de fluência (relação entre deformação plástica e tempo) aumenta com a temperatura.
- ✓ Este fator muitas vezes limita o tempo de vida de um determinado componente ou estrutura.
- ✓ Quanto maior o ponto de fusão, maior o módulo de elasticidade e maior é a resistência à fluência.
- ✓ Quanto maior o tamanho de grão maior é a resistência à fluência.

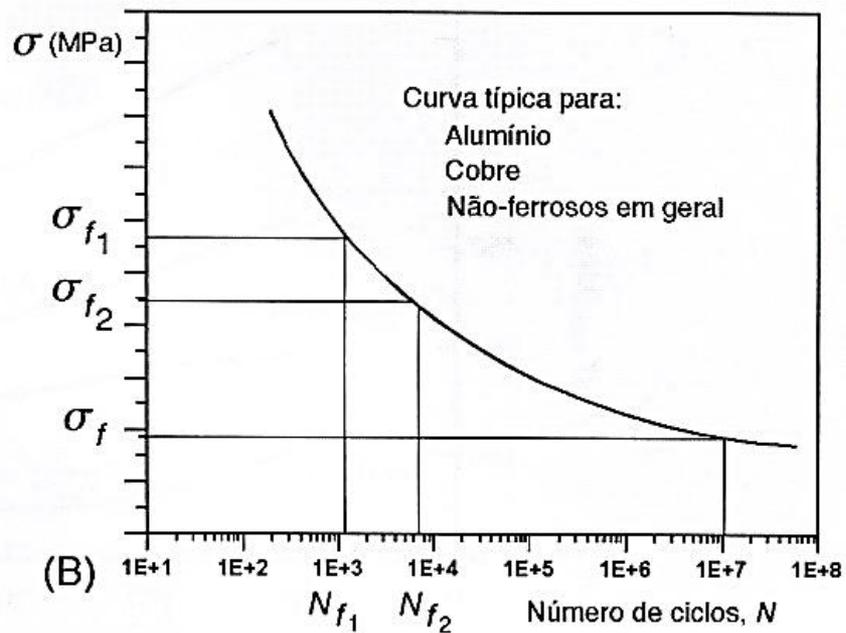
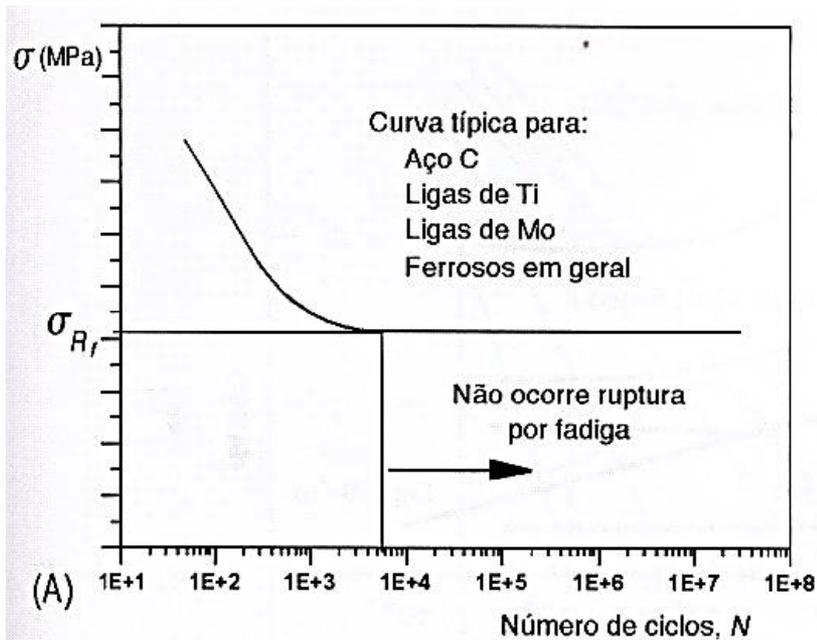
Propriedades dos materiais: fluência



(B) Curva típica do ensaio de fluência

- ✓ É a forma de falha ou ruptura que ocorre nas estruturas sujeitas à forças dinâmicas e cíclicas.
- ✓ Nessas situações o material rompe com tensões muito inferiores à correspondente à resistência à tração (determinada para cargas estáticas).
- ✓ A fratura ou rompimento do material por fadiga geralmente ocorre com a formação e propagação de uma trinca.
- ✓ A trinca inicia-se em pontos onde há imperfeição estrutural ou de composição e/ou de alta concentração de tensões (que ocorre geralmente na superfície).

Propriedades dos materiais: fadiga – curva tensão x ciclos



- ✓ Para os aços o limite de resistência à fadiga está entre 35- 65% do limite de resistência à tração.
- ✓ Vida em fadiga (N_f): corresponde ao número de ciclos necessários para ocorrer a falha em um nível de tensão específico.

- ✓ Tensão Média: o aumento do nível médio de tensão leva a uma diminuição da vida útil
- ✓ Efeitos de Superfície: variáveis de projeto (cantos agudo e demais discontinuidades podem levar a concentração de tensões e então a formação de trincas) e tratamentos superficiais (polimento, jateamento, endurecimento superficial melhoram significativamente a vida em fadiga)
- ✓ Efeitos do ambiente: **fadiga térmica** (flutuações na temperatura) e **fadiga por corrosão** (ex. pites de corrosão podem atuar como concentradores de corrosão)