

FALHAS

Fundamentos da Fratura

Fatores que influenciam na ductilidade:

- Temperatura do material
- Da taxa de deformação
- Estado de tensões

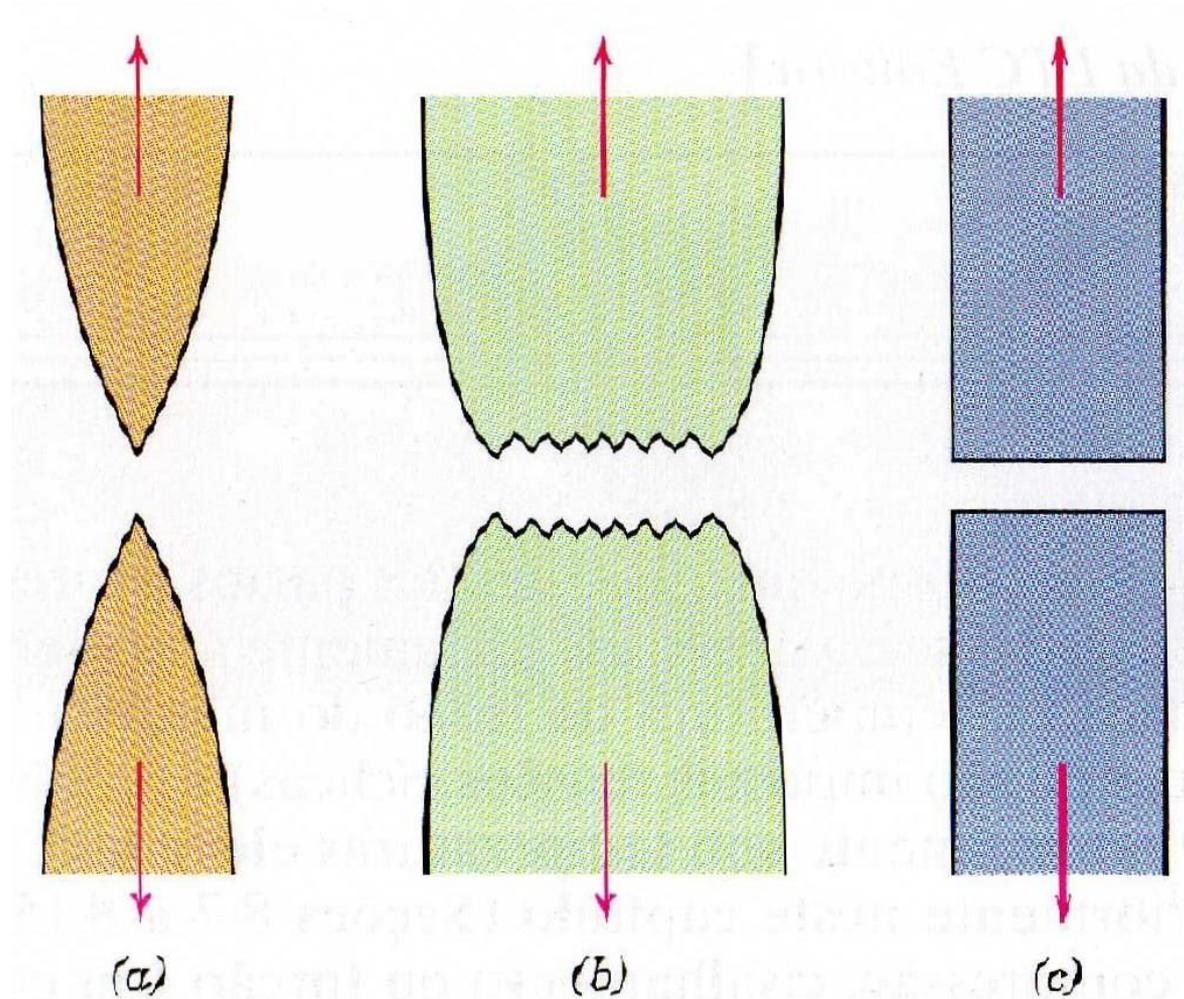
ETAPAS

- Formação de trincas
- Propagação de trincas

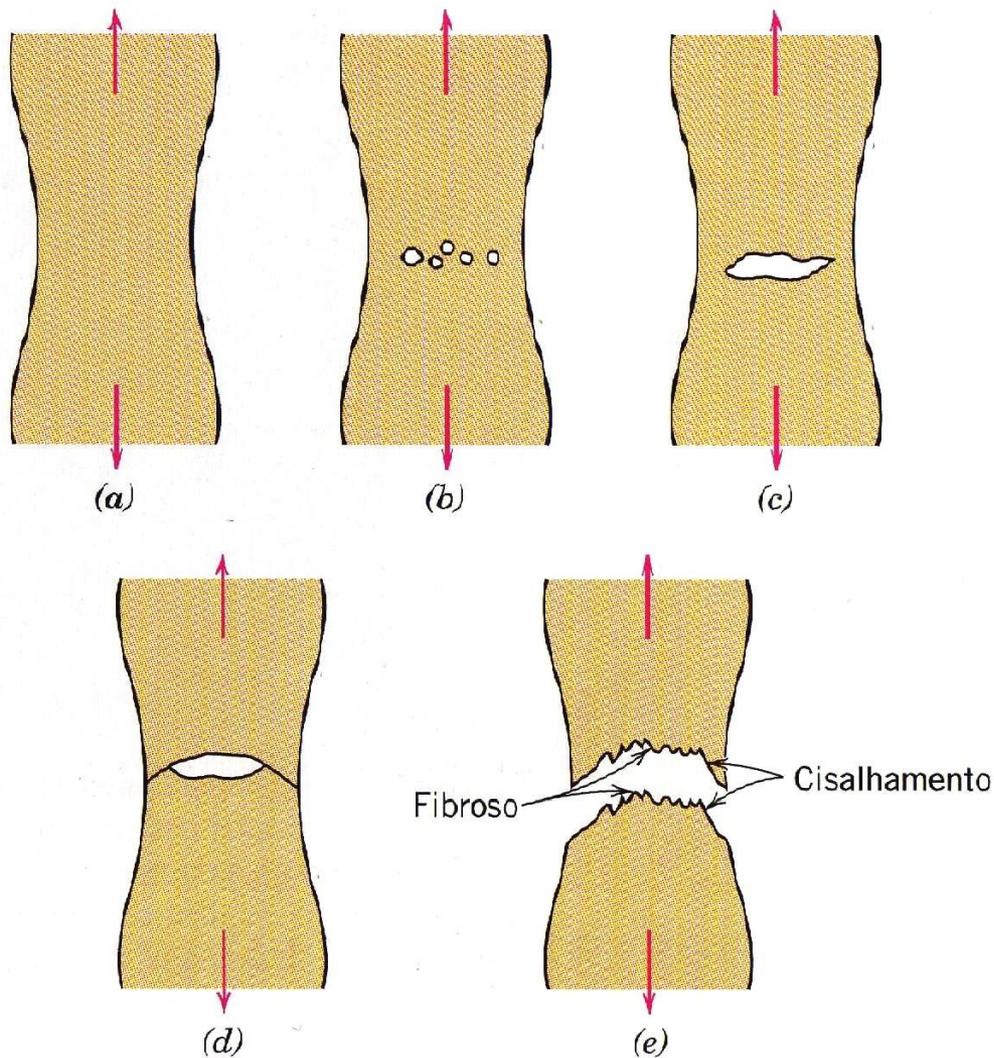
Tipos de Trincas

- Estáveis
- Instáveis

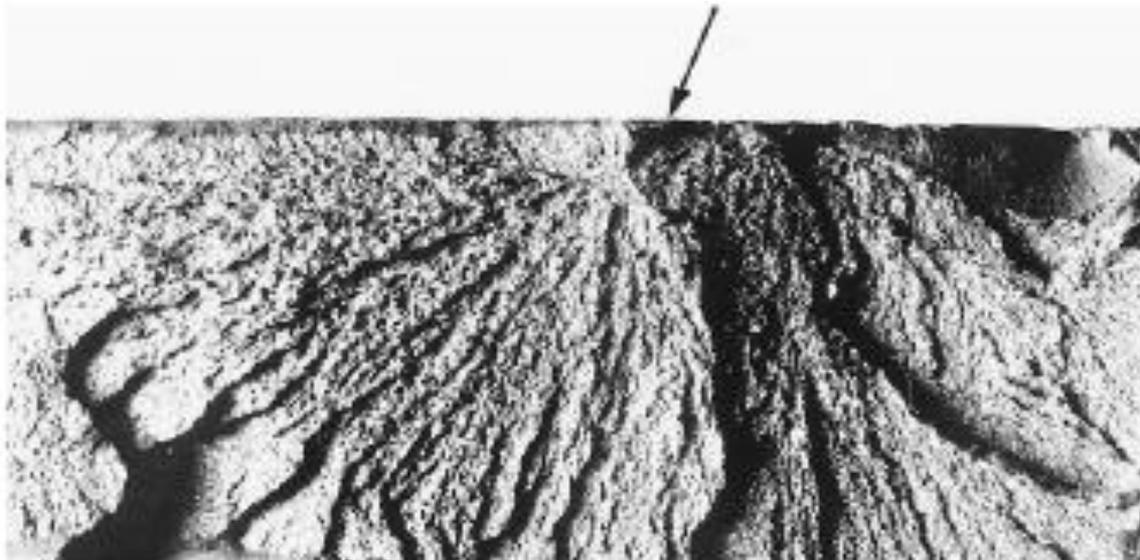
Tipos de Fratura



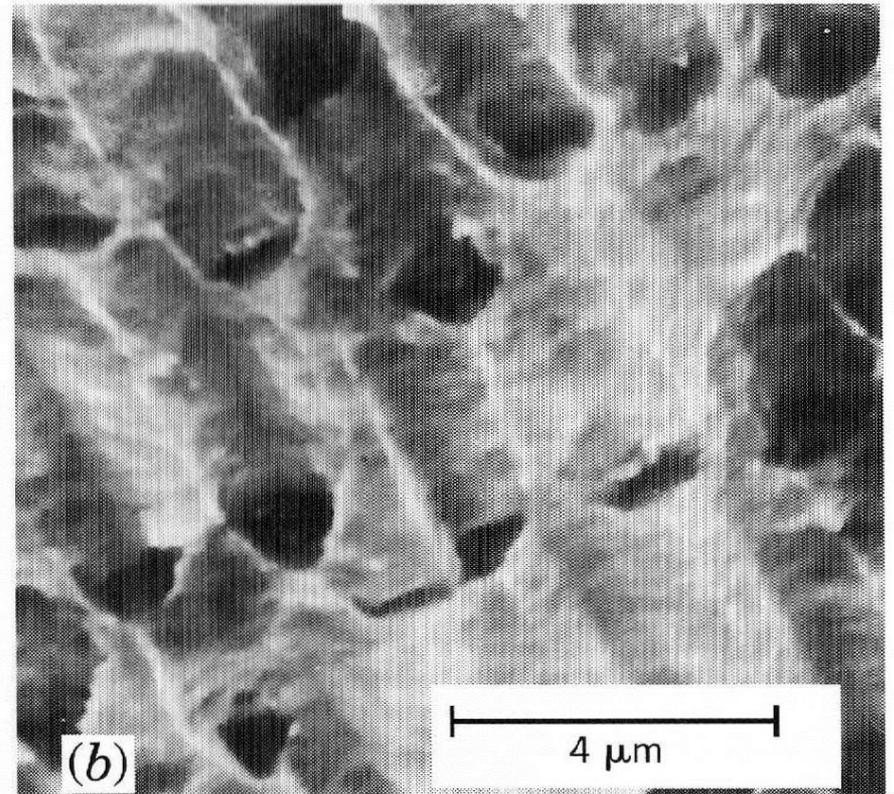
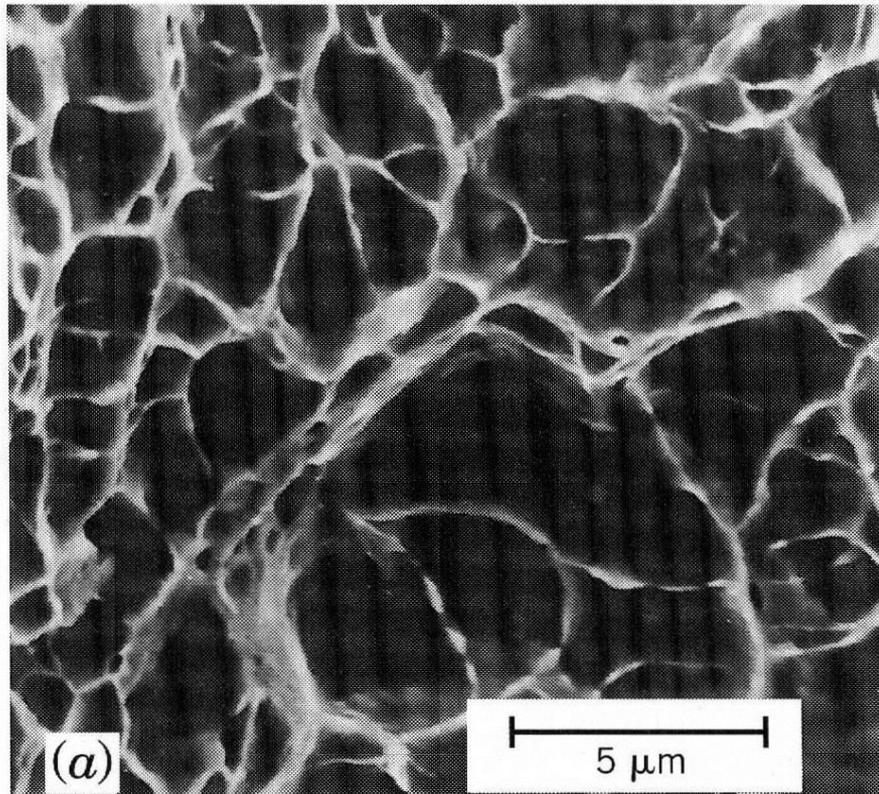
Estágios de uma Fratura Tipo Taça e Cone



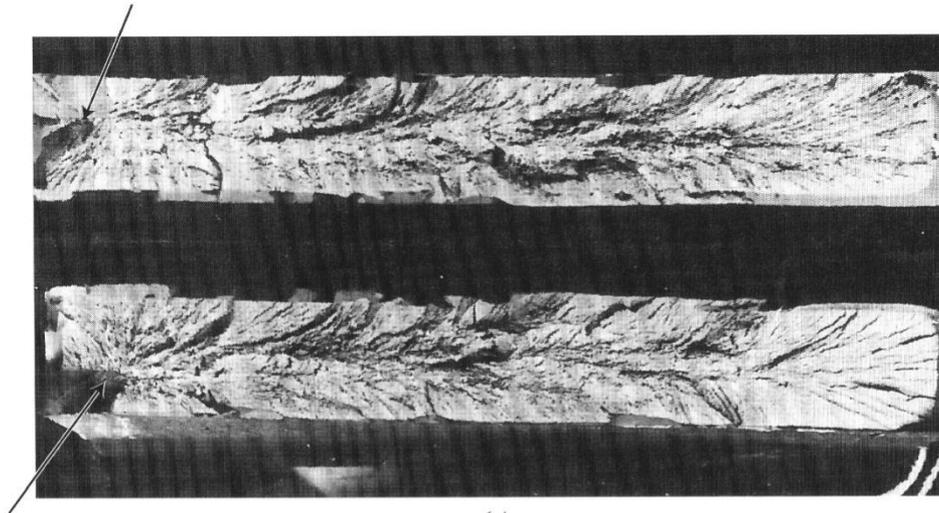
Tipos de Fratura



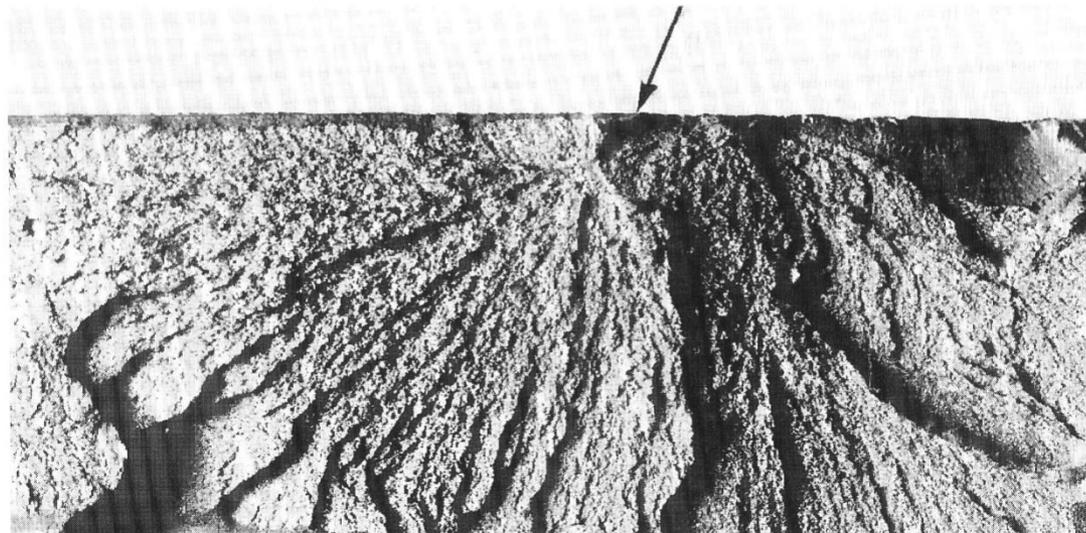
Fratura Dúctil



Fratura Frágil



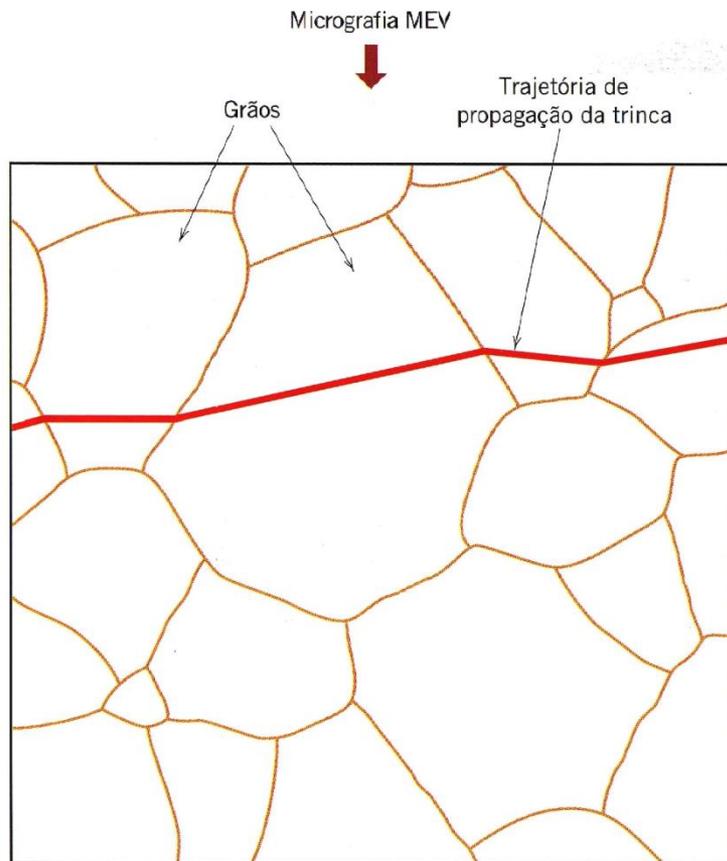
(a)



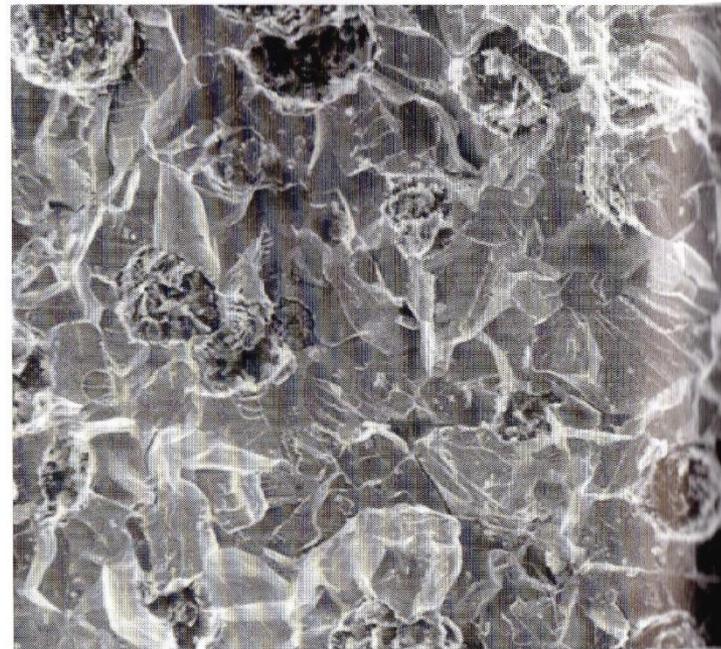
(b)

Fratura Frágil

Fratura Transgranular



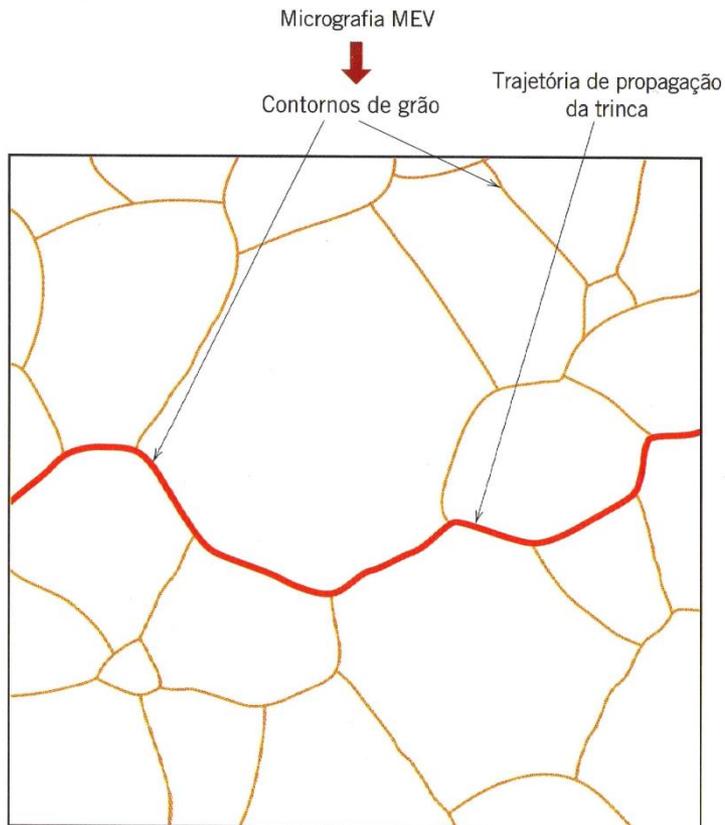
(a)



(b)

Fratura Frágil

Fratura Intergranular



(a)



(b)

200 μm

Princípios da Mecânica da Fratura

- Concentração de tensões
- Trincas
 - Internas
 - Externas
- Tensão Máxima

$$\sigma_m = \sigma_0 \left[1 + 2 \left(\frac{a}{\rho_\varepsilon} \right)^{1/2} \right]$$

σ_m - Tensão máxima

σ_0 - Tensão de tração nominal

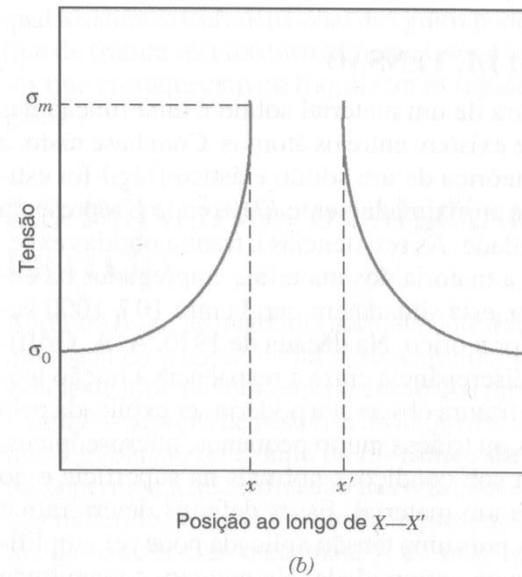
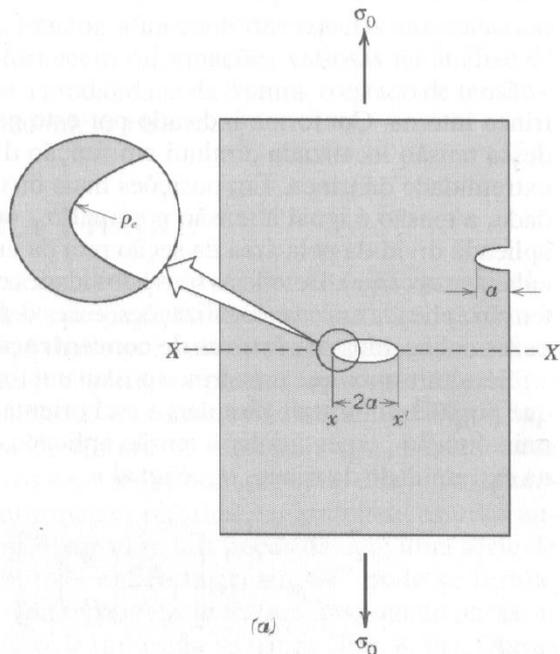
a - Comprimento de uma trinca superficial

ρ_ε - Raio de curvatura da trinca

Princípios da Mecânica da Fratura

FATOR DE CONCENTRAÇÃO DE TENSÕES (K_e)

$$K_e = \frac{\sigma_m}{\sigma_0} = 2 \left(\frac{a}{\rho_e} \right)^{1/2}$$



A Teoria de Griffith da Fratura Frágil

- Durante a propagação da trinca:
 - Energia de deformação elástica
 - Energia de formação de novas superfícies

$$\sigma_c = \left(\frac{2 \cdot E \cdot \gamma_s}{\pi \cdot a} \right)^{1/2}$$

σ_c - Tensão crítica

E - Módulo de elasticidade

γ_s - Energia de superfície específica

a - Metade do comprimento de uma trinca interna

A Teoria de Griffith da Fratura Frágil

- Materiais que apresentam alguma deformação plástica:

$$\sigma_c = \left[\frac{2 \cdot E (\gamma_s + \gamma_p)}{\pi \cdot a} \right]^{1/2} \quad \gamma_p - \text{Energia de deformação plástica}$$

- Materias altamente dúcteis:

$$\sigma_c = \left(\frac{2 \cdot E \cdot \gamma_p}{\pi \cdot a} \right)^{1/2}$$

A Teoria de Griffith da Fratura Frágil

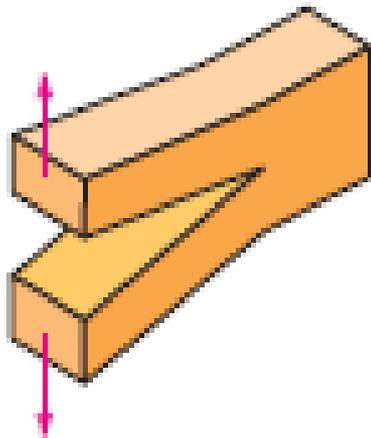
- G. R. Irwin transforma γ_s e γ_p em um único termo: G_c

$$G_c = 2(\gamma_s + \gamma_p)$$

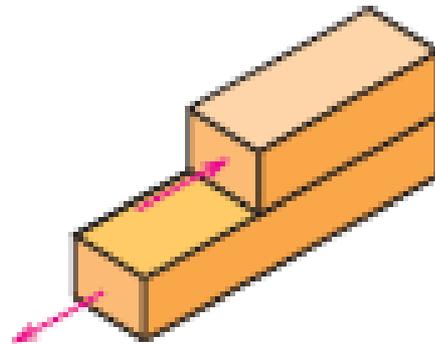
G_c : Taxa crítica de liberação de energia de deformação

$$G_c = \frac{\pi \cdot \sigma^2 \cdot a}{E}$$

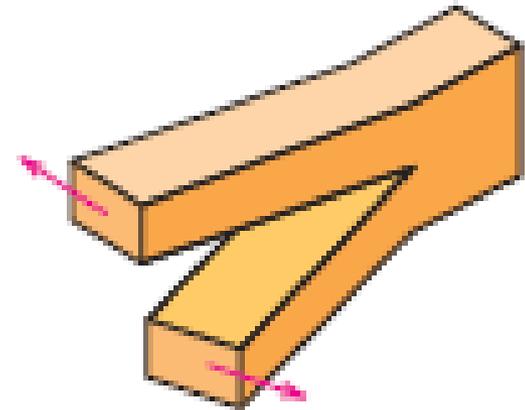
Análise de Tensão de Trincas



(a)

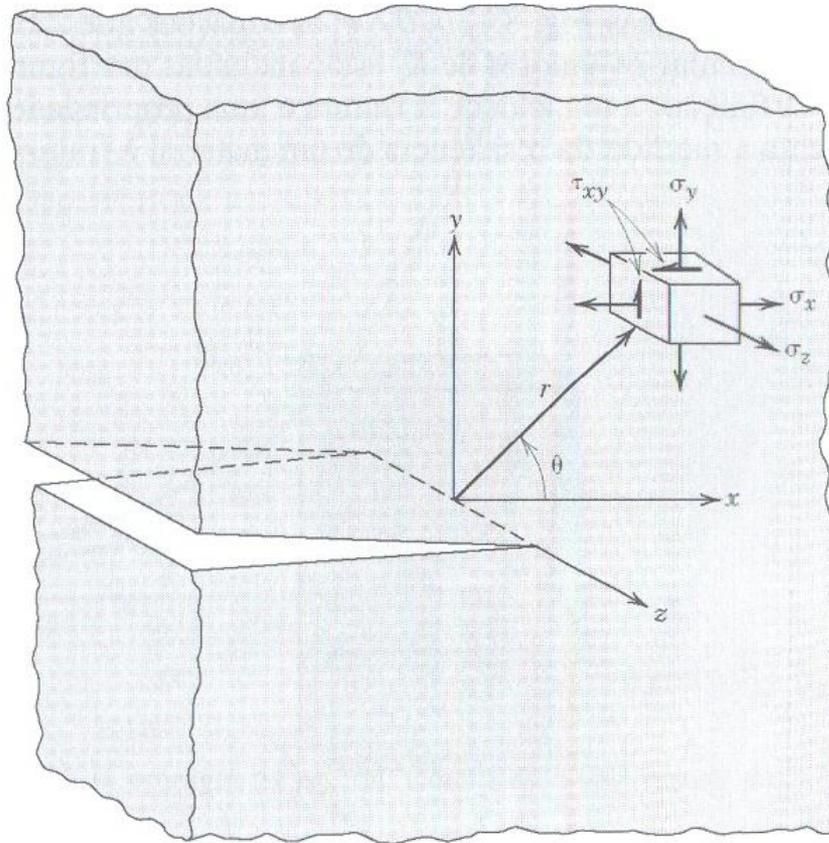


(b)



(c)

Fator de Intensidade de Tensão - K



$$\sigma_x = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} f_x(\theta)$$

$$\sigma_y = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} f_y(\theta)$$

$$\tau_{xy} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} f_{xy}(\theta)$$

Fig. 8.10 As tensões que estão atuando na frente de uma trinca que está carregada segundo uma configuração de modo I, em tração.

$$K = Y\sigma\sqrt{\pi \cdot a}$$

Tenacidade à Fratura (K_c)

$$K_c = Y(a/W) \cdot \sigma_c \cdot \sqrt{\pi \cdot a}$$

Y: parâmetro função do comprimento da trinca (a) e da largura (W) $\Rightarrow Y(a/W) = f(a/W)$

σ_c - Tensão crítica

K_c : medida de resistência de um material à fratura frágil quando uma trinca está presente.

Tenacidade à Fratura (K_c)

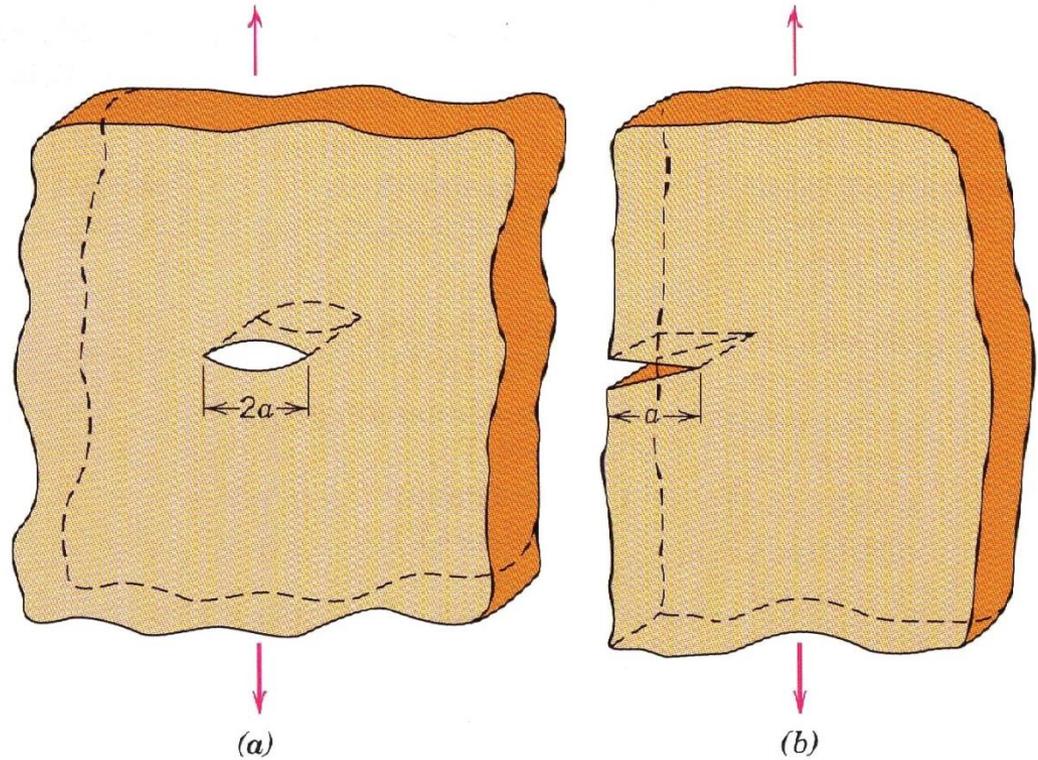


Figura 8.9 Representações esquemáticas de (a) uma trinca interna em uma placa com largura infinita e (b) uma trinca na borda de uma placa com largura semi-infinita.

$$(a) Y(a/W) = 1,0$$

$$(b) Y(a/W) = 1,1$$

Tenacidade à Fratura (K_c)

PLACA FINITA

Fig 8.12

$$Y(a/W) = \left(\frac{W}{\pi \cdot a} \operatorname{tg} \frac{\pi \cdot a}{W} \right)^{1/2}$$

Unidades de K_c : $\text{MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$

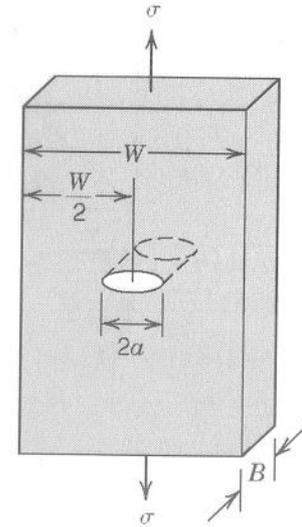


Fig. 8.12 Representação esquemática de uma placa plana com largura finita que possui uma trinca central através da sua espessura.

Tenacidade à Fratura em Deformação Plana (K_{Ic})

- Para amostras espessas
- Materiais frágeis: K_{Ic} pequeno
- Materiais dúcteis: K_{Ic} relativamente grande

$$K_{Ic} = Y \cdot \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a}$$

$$B \geq 2,5 \cdot \left(\frac{K_{Ic}}{\sigma_E} \right)^2$$

σ_E : tensão limite de escoamento

Tenacidade à Fratura em Deformação Plana (K_{Ic})

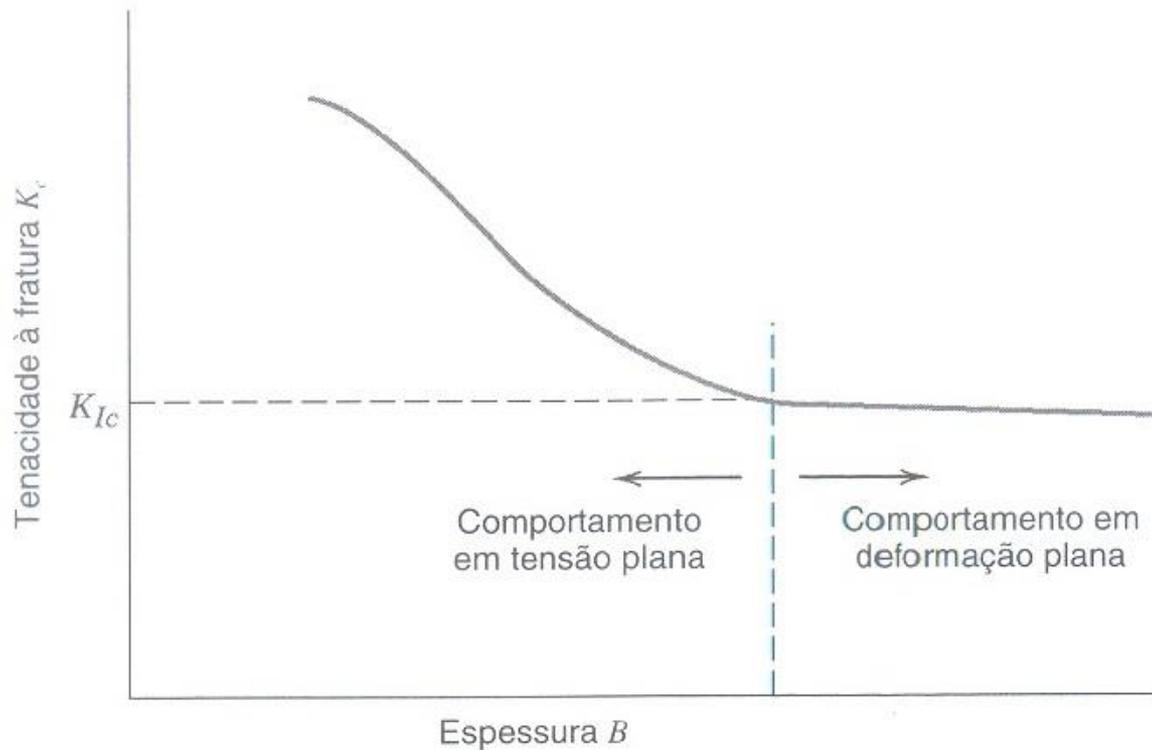


Fig. 8.14 Representação esquemática mostrando o efeito da espessura da placa sobre a tenacidade à fratura.

Determinação de Y

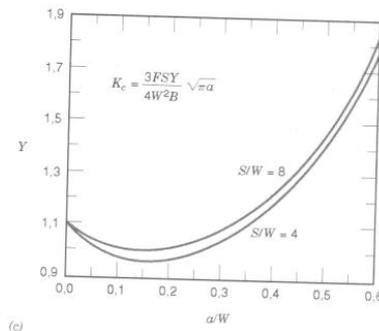
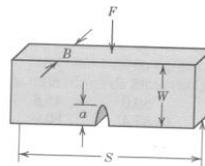
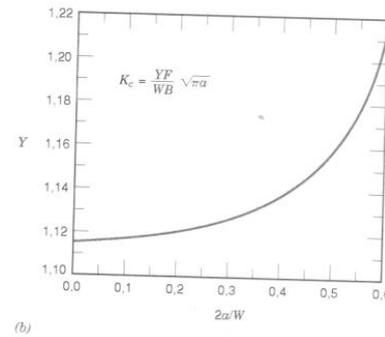
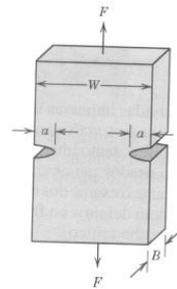
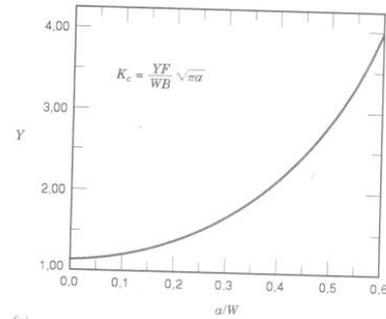
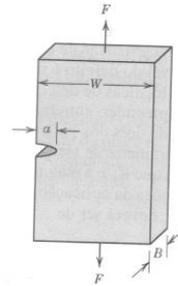
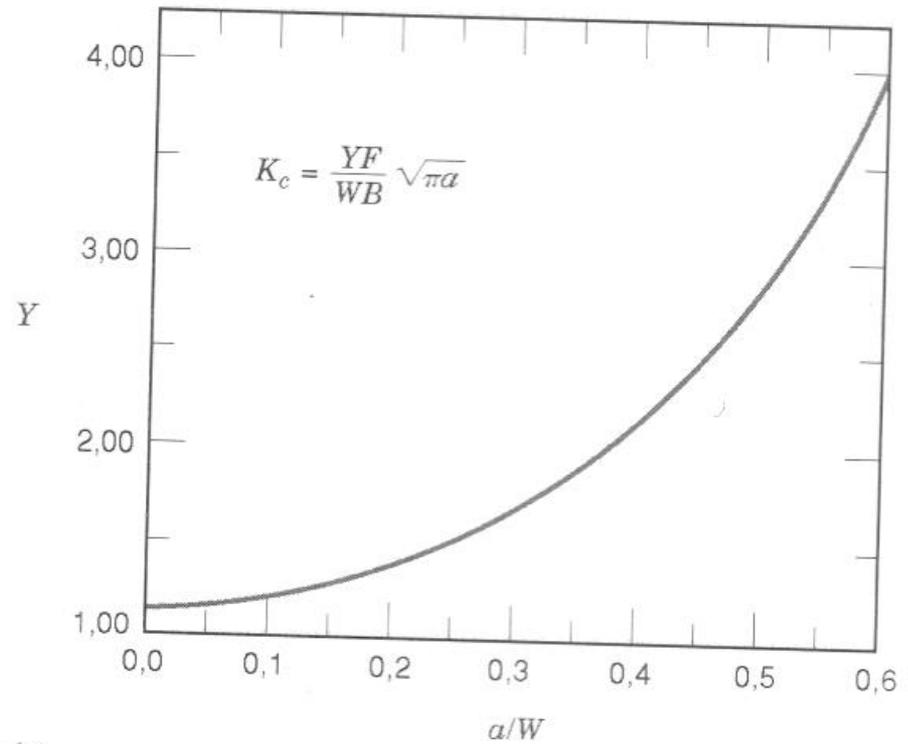
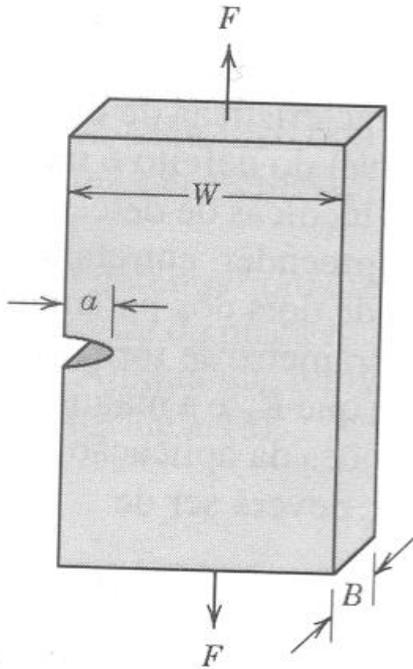


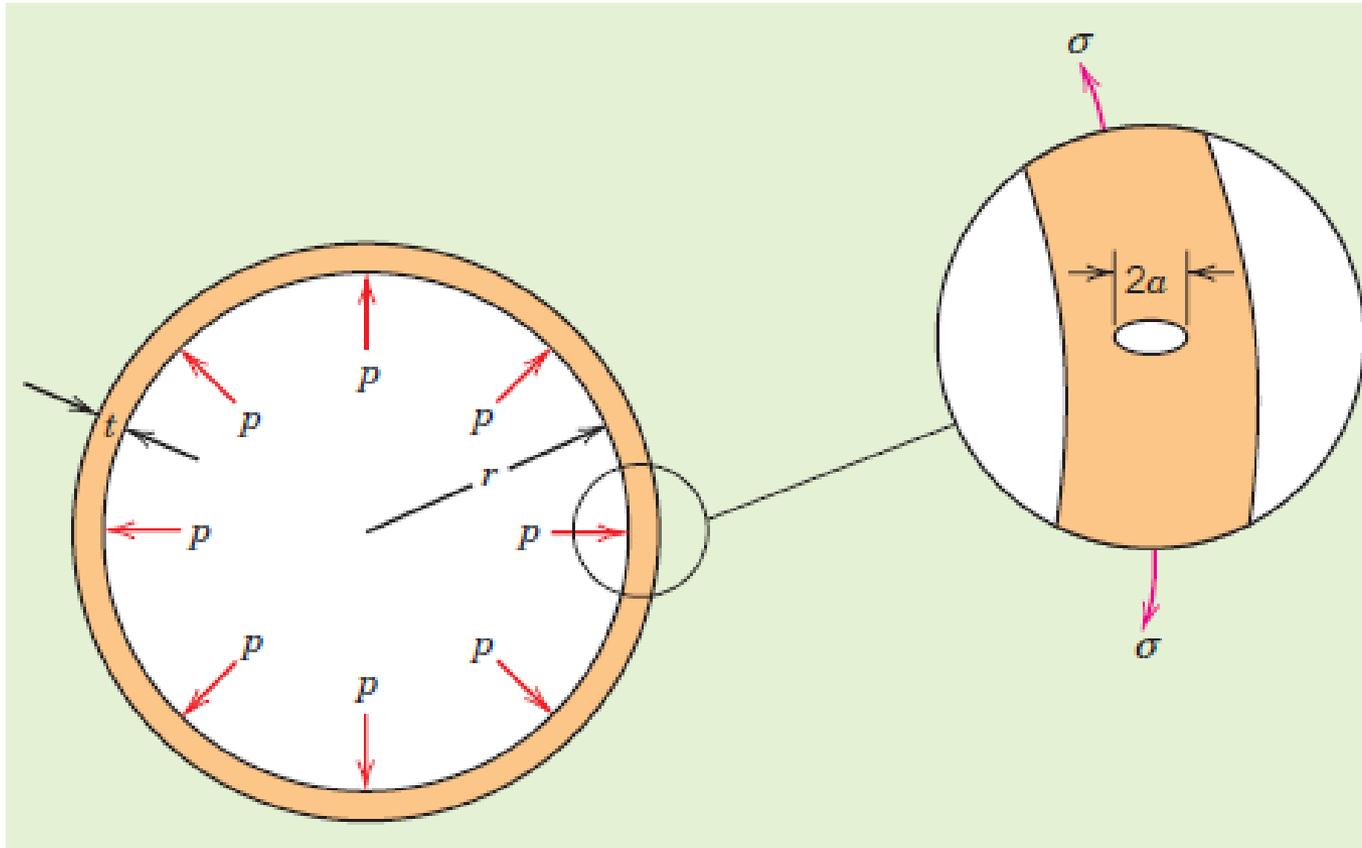
Fig. 8.13 Curvas de calibração para Y para três geometrias trinca-placa simples. (Copyright da ASTM. Reimpresso sob permissão.)

Determinação de Y



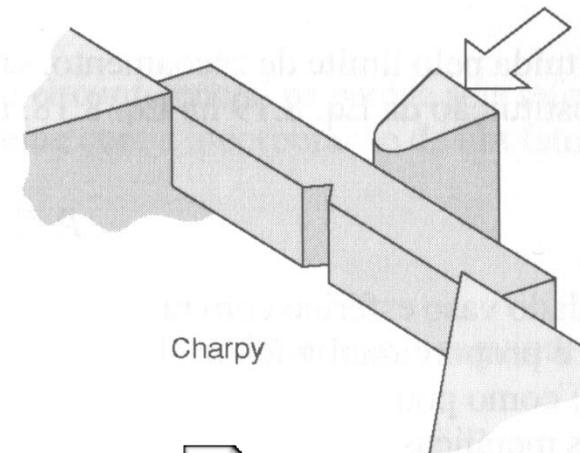
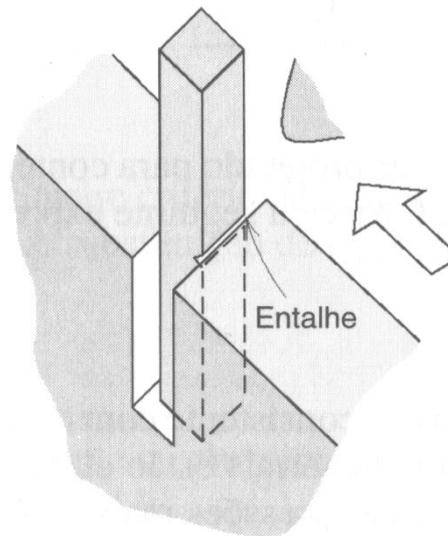
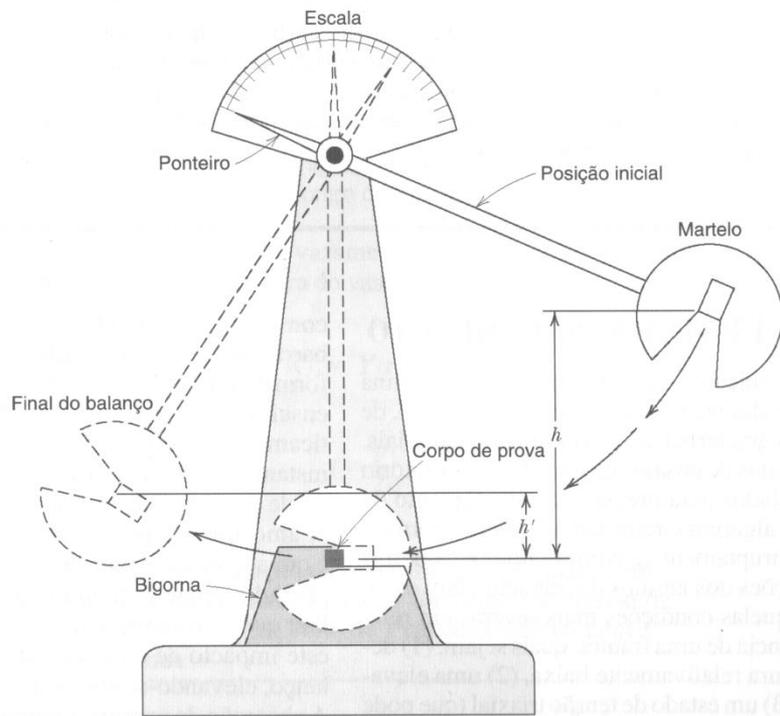
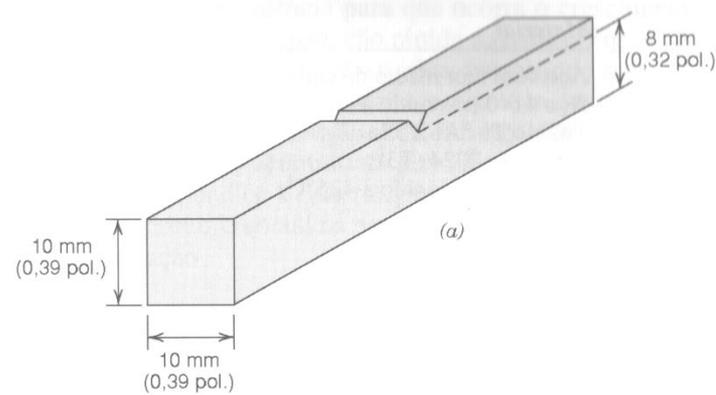
(a)

Exemplo de Projeto 8.1



Fratura
Fadiga
Fluência

Ensaio de Fratura por Impacto



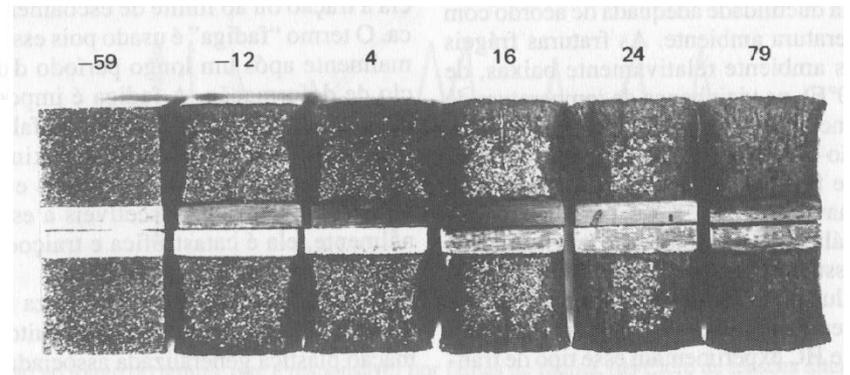
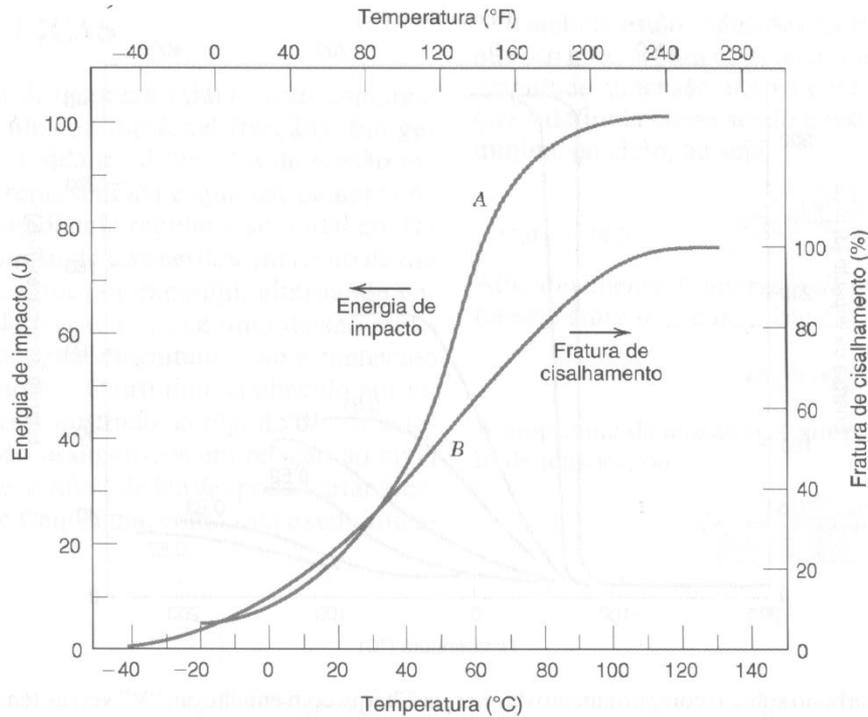
Izod



Ensaio de Impacto Unisanta.wmv

<https://www.youtube.com/watch?v=ivY2OZsXt74>

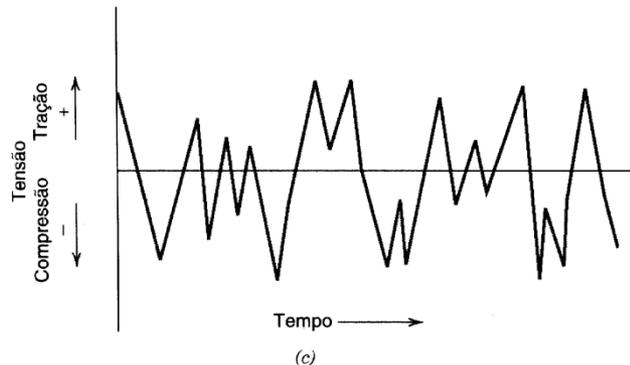
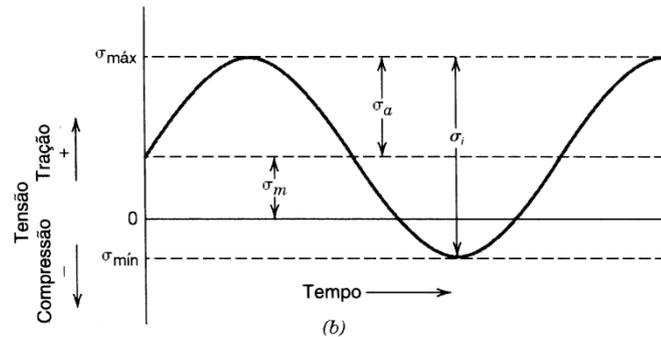
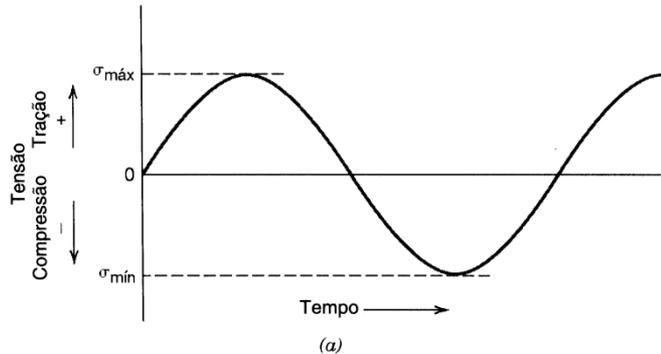
Transição Dúctil-Frágil



Fadiga

- É uma forma de falha que ocorre em estruturas que estão sujeitas a tensões dinâmicas ou cisalhantes.
- É de natureza frágil, mesmo em metais dúcteis, pois existe muito pouca, se alguma, deformação plástica.
- Ocorre pela iniciação e propagação de trincas.

Tensões Cíclicas



Tensão Média

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\text{máx}} + \sigma_{\text{mín}}}{2} \quad (8.21)$$

Adicionalmente, o *intervalo de tensões* σ_i é simplesmente a diferença entre $\sigma_{\text{máx}}$ e $\sigma_{\text{mín}}$, isto é,

$$\sigma_i = \sigma_{\text{máx}} - \sigma_{\text{mín}} \quad (8.22)$$

A amplitude da tensão σ_a é simplesmente metade deste intervalo de tensões, ou

$$\sigma_a = \frac{\sigma_i}{2} = \frac{\sigma_{\text{máx}} - \sigma_{\text{mín}}}{2} \quad (8.23)$$

Razão de Tensões

$$R = \frac{\sigma_{\text{mín}}}{\sigma_{\text{máx}}}$$

Fatores que Influenciam a Vida em Fadiga

- Tensão Média
- Efeitos da Superfície
 - Variáveis de Projeto
 - Tratamentos de Superfície

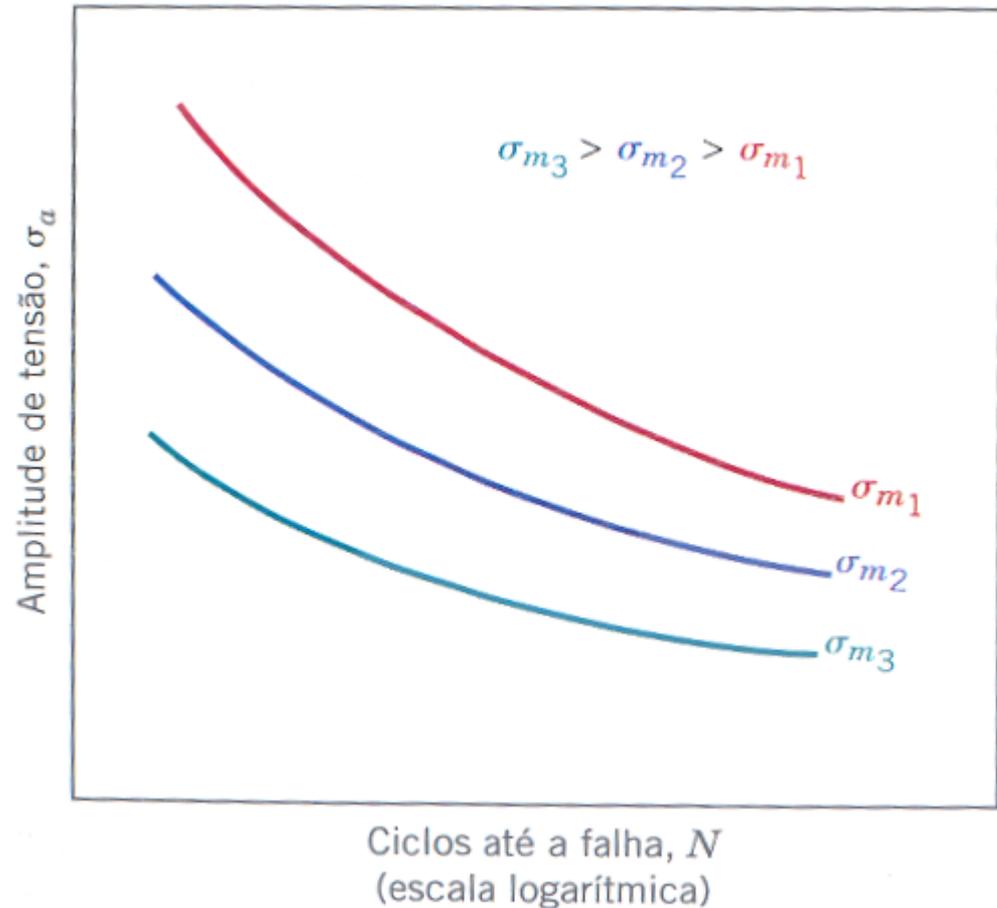
https://www.youtube.com/watch?v=LhUclxBUV_E



Fatigue Test.wmv

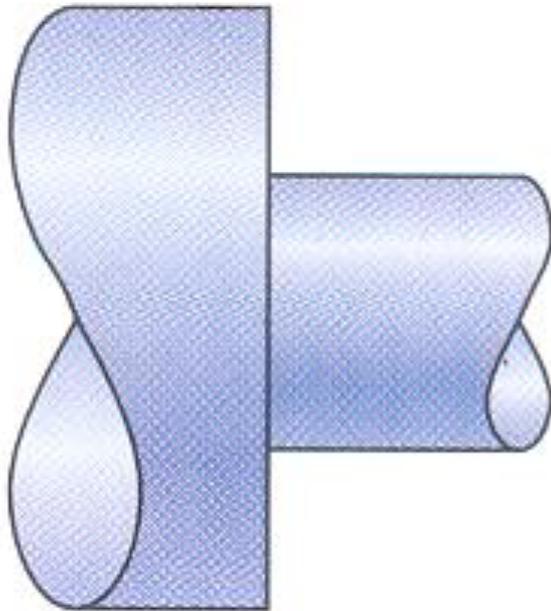
Fatores que Influenciam a Vida em Fadiga

- Tensão Média

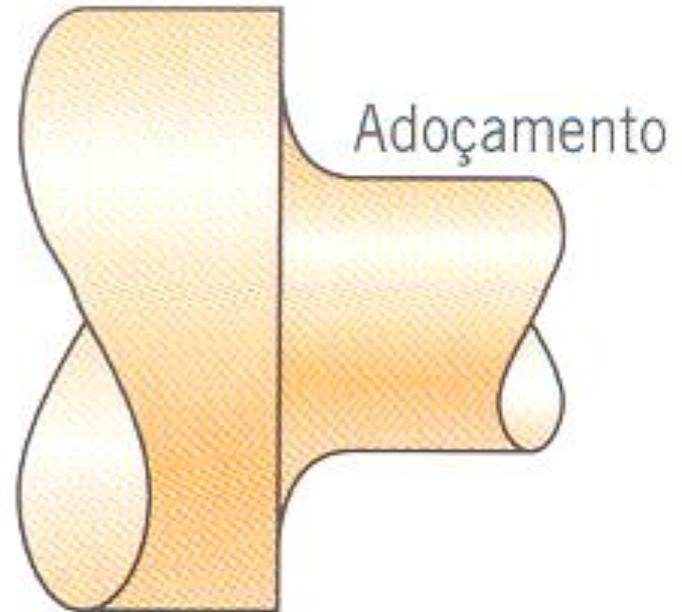


Fatores que Influenciam a Vida em Fadiga

- Variáveis de projeto



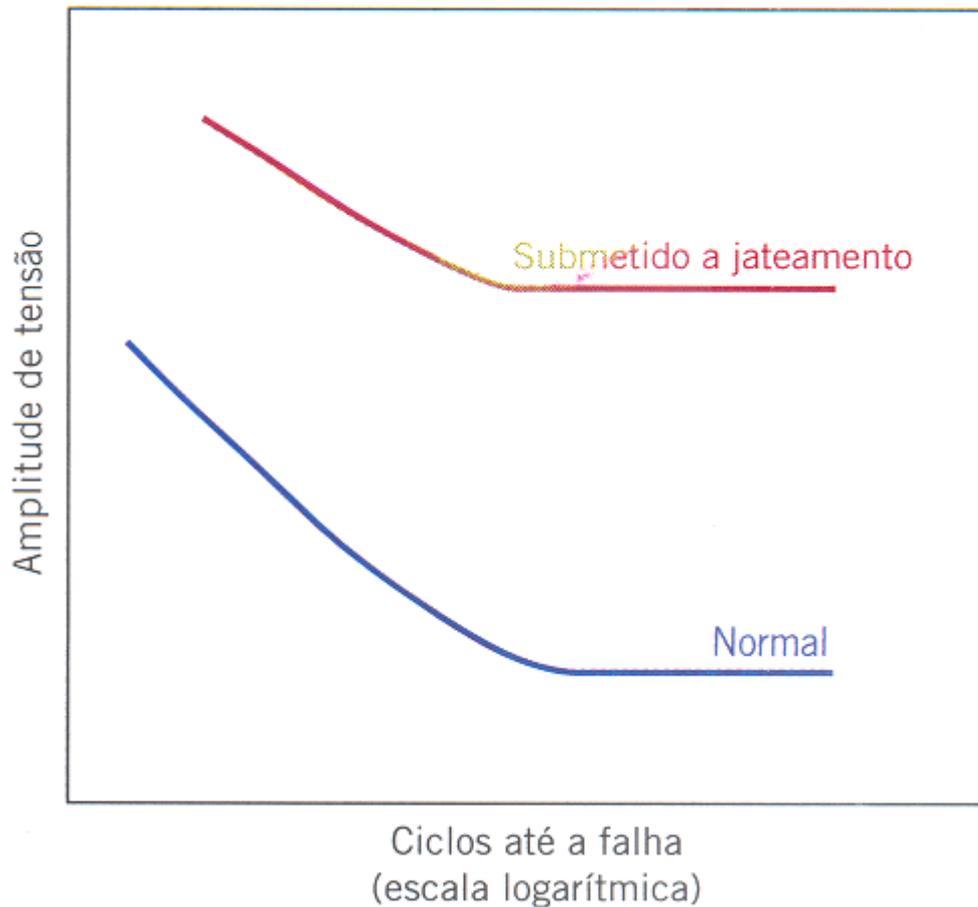
(a)



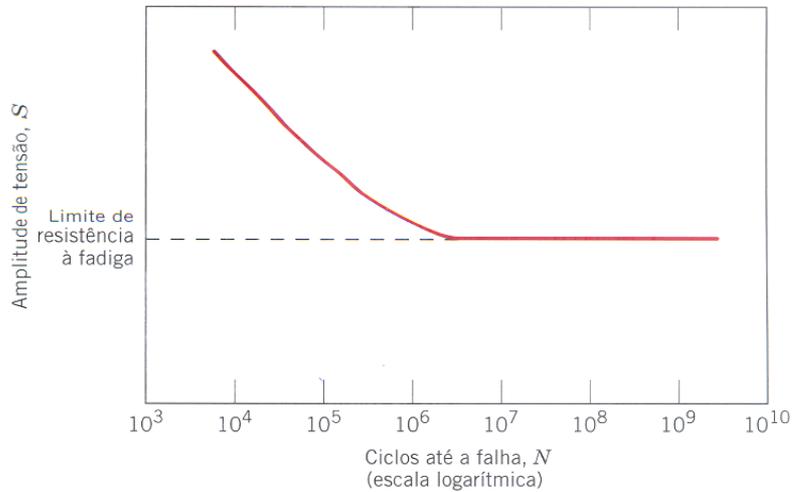
(b)

Fatores que Influenciam a Vida em Fadiga

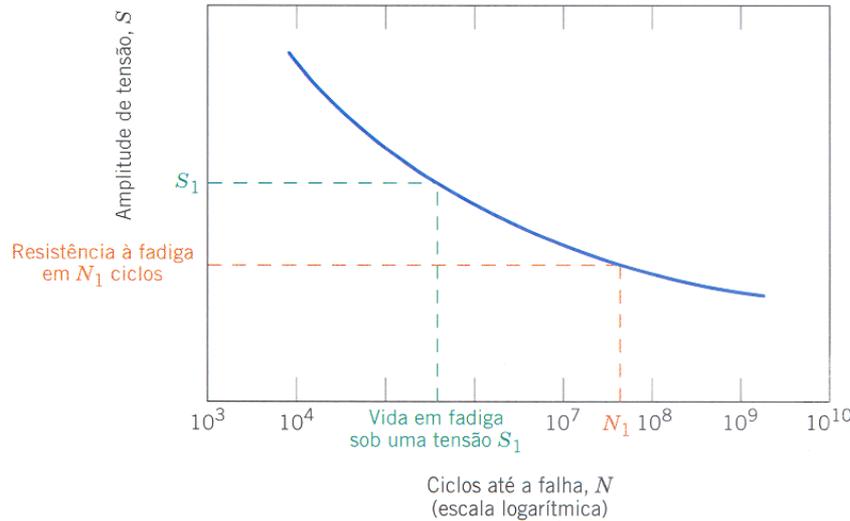
- Tratamento de Superfície



Curva S-N

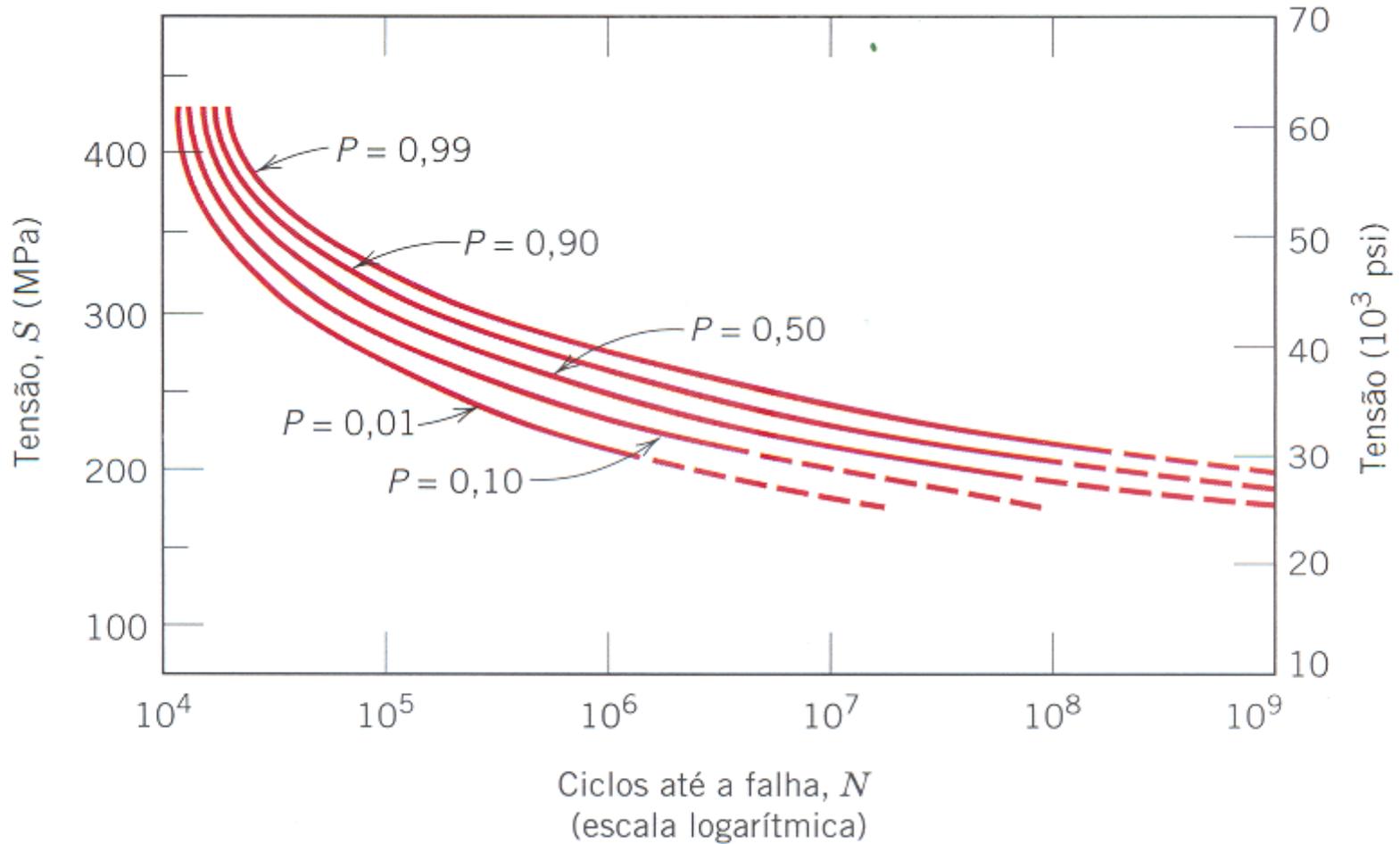


(a)



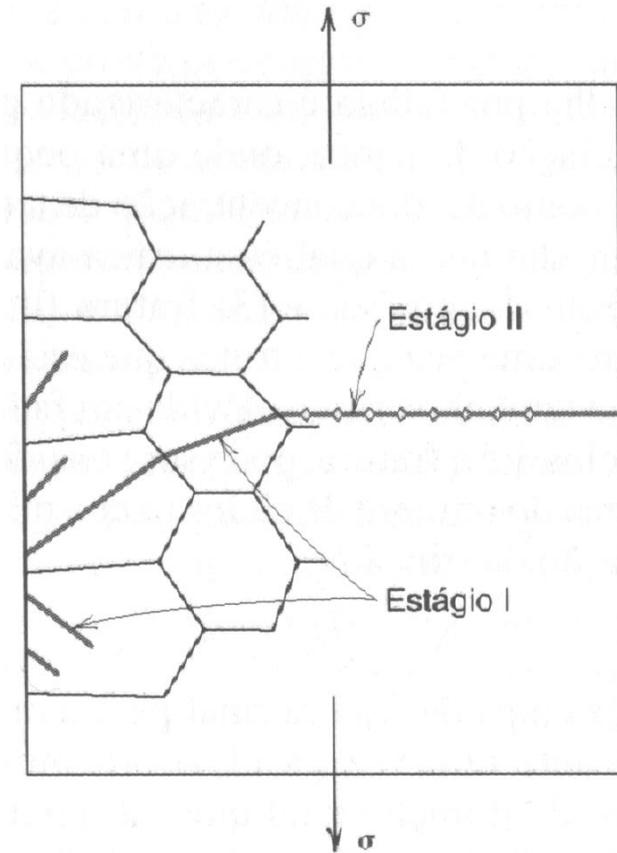
(b)

Curva S-N



Iniciação e Propagação de Trincas

1. Iniciação da trinca
2. Propagação da trinca
 - Estágio I
 - Estágio 2
3. Fratura final

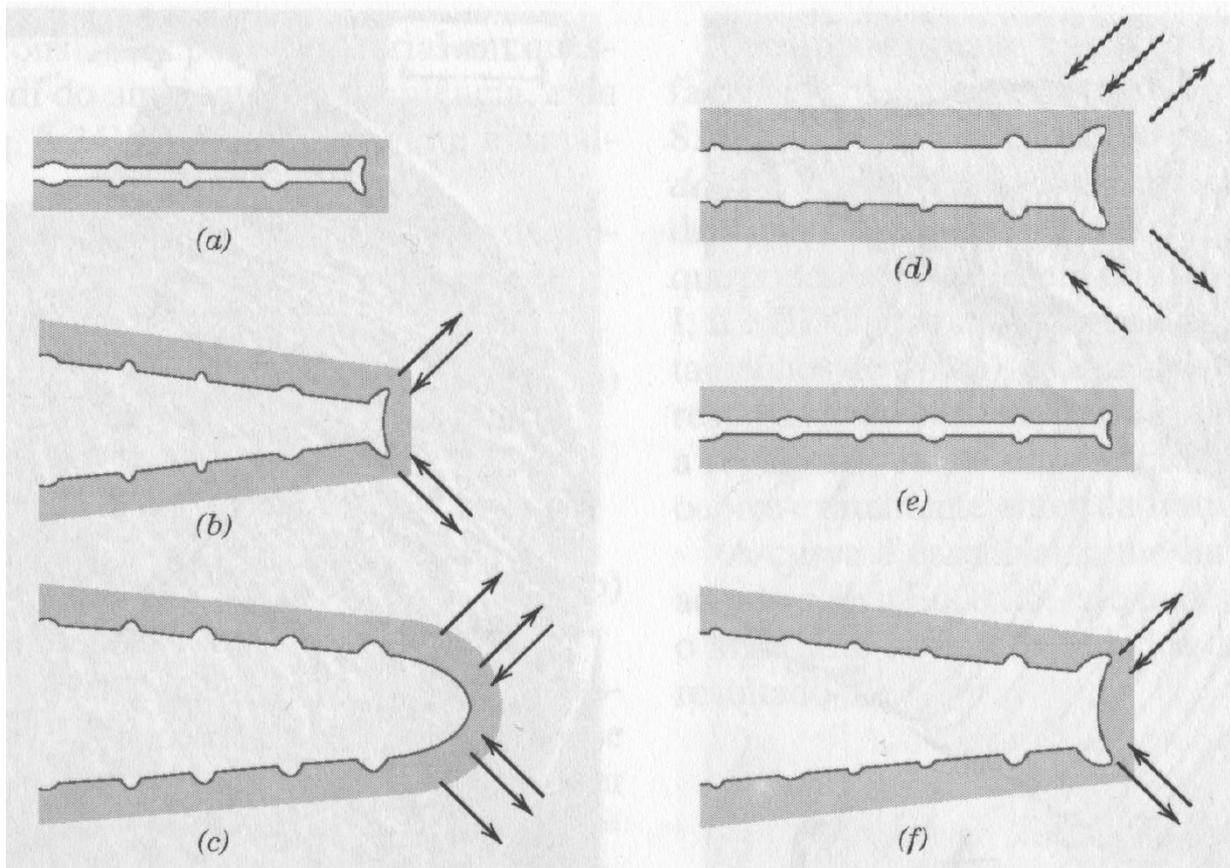


$$N_f = N_i + N_p$$

i: iniciação

p: propagação

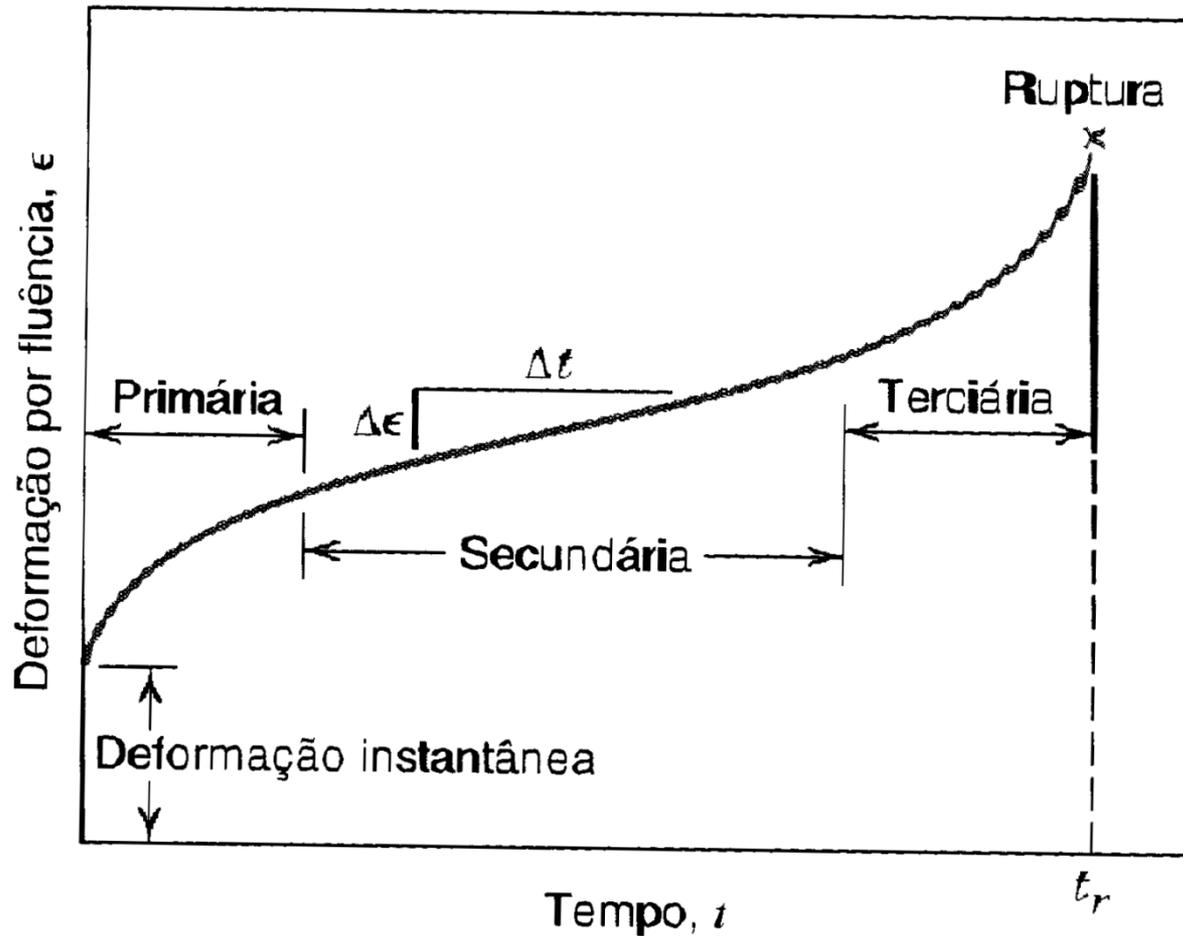
Mecanismo de Propagação de Trincas por Fadiga



Fluência

- Deformação permanente e dependente do tempo, quando estes são submetidos a uma carga ou tensão constante.
- É observada em todos os tipos de materiais.
- Nos metais, a fluência se torna importante quando $T = 0,4.T_f$.

Comportamento Geral da Fluência



Efeito da Tensão e da Temperatura

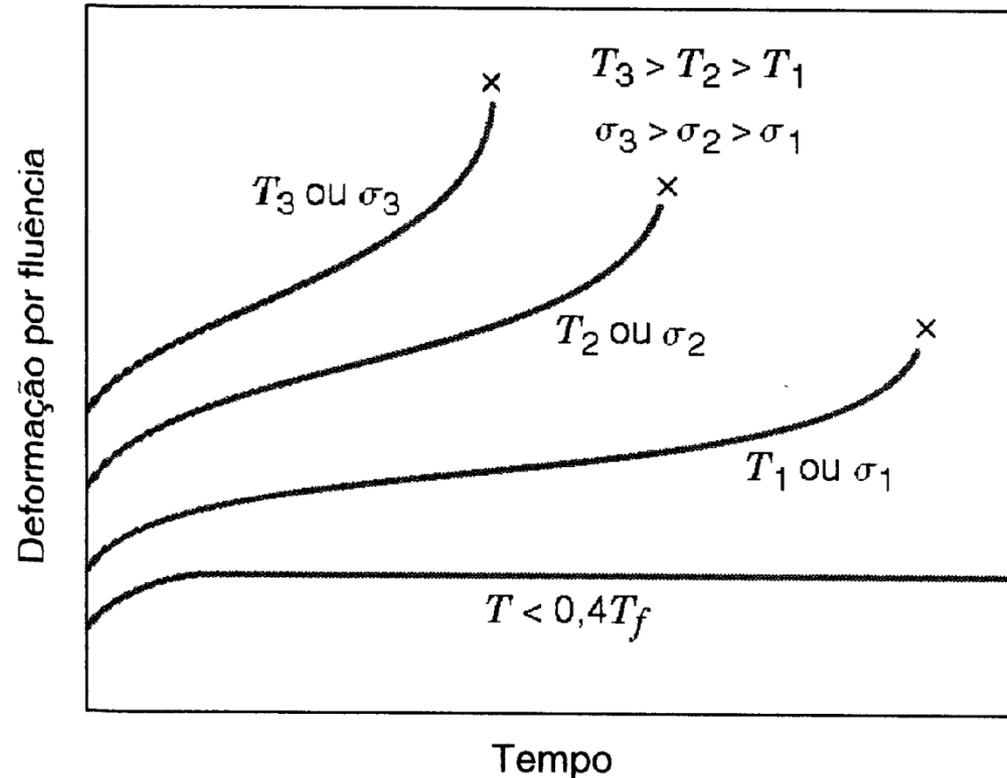


Fig. 8.37 Influência da tensão σ e da temperatura T sobre o comportamento em fluência.

Efeito da Tensão e da Temperatura

$$\dot{\epsilon}_r = K_1 \sigma^n$$

$\dot{\epsilon}_r$: taxa de fluência

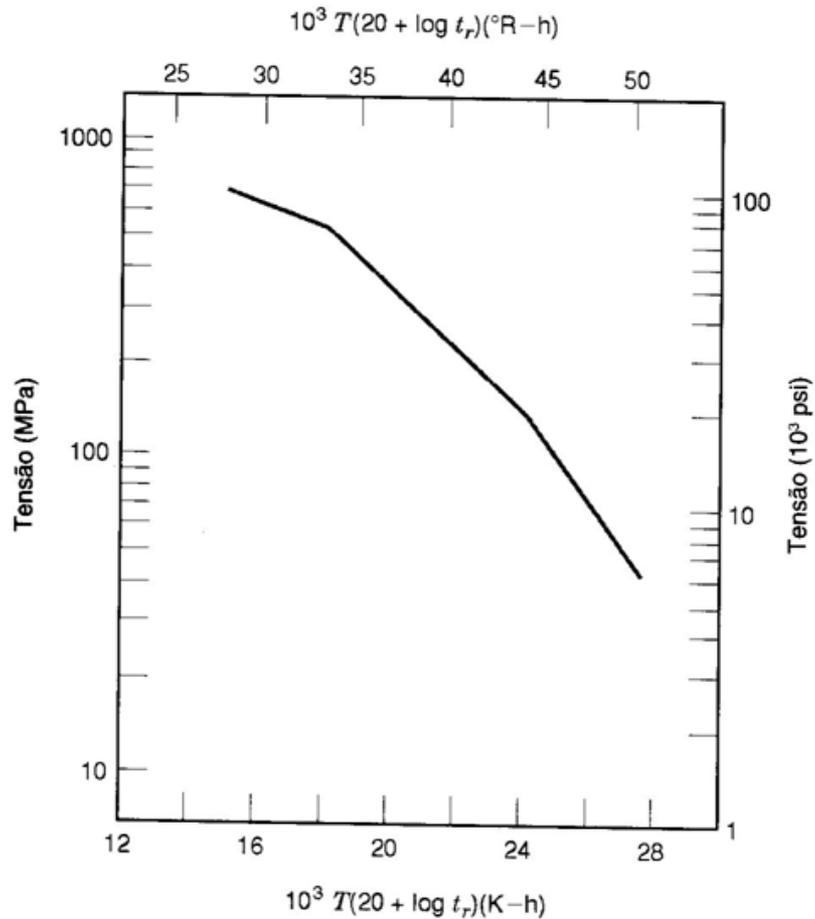
K_1 e n : constantes do material

$$\dot{\epsilon}_r = K_2 \sigma^n \exp\left(-\frac{Q_f}{RT}\right)$$

Q_f : energia de ativação para o processo de fluência

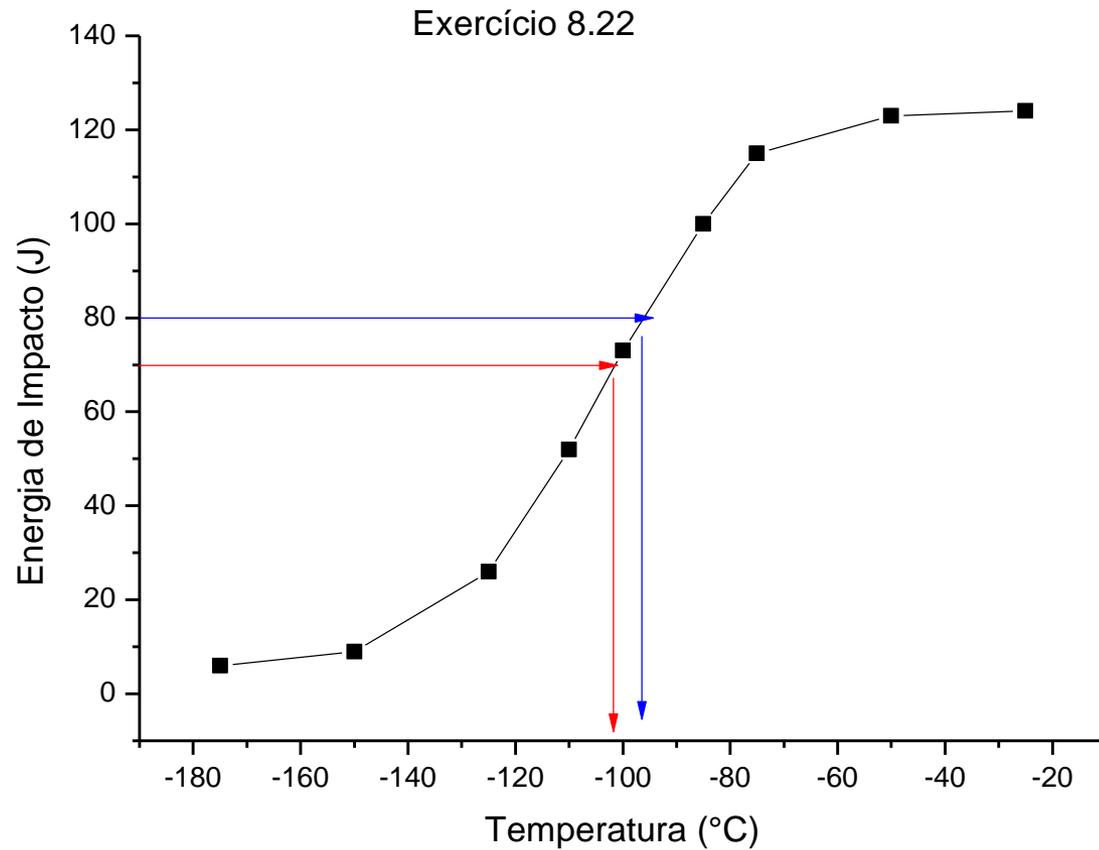
R : constante dos gases (8,31 J/(mol.K))

Parâmetro de Larson-Miller



8.40 Logaritmo da tensão em função do parâmetro de Larson-Mi-para um ferro S-590. (De F. R. Larson e J. Miller, *Trans. ASME*, 765, 1952. Reimpresso sob permissão da ASME.)

Exercício 8.22



Exercício 8.26

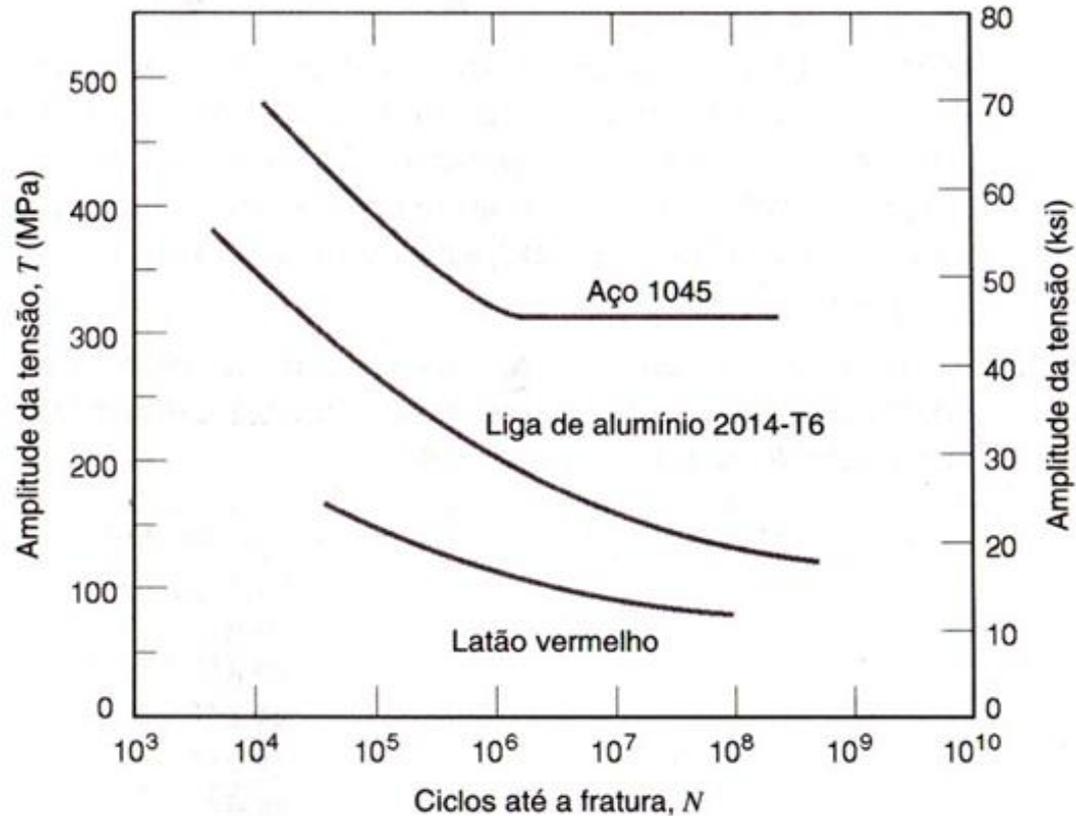
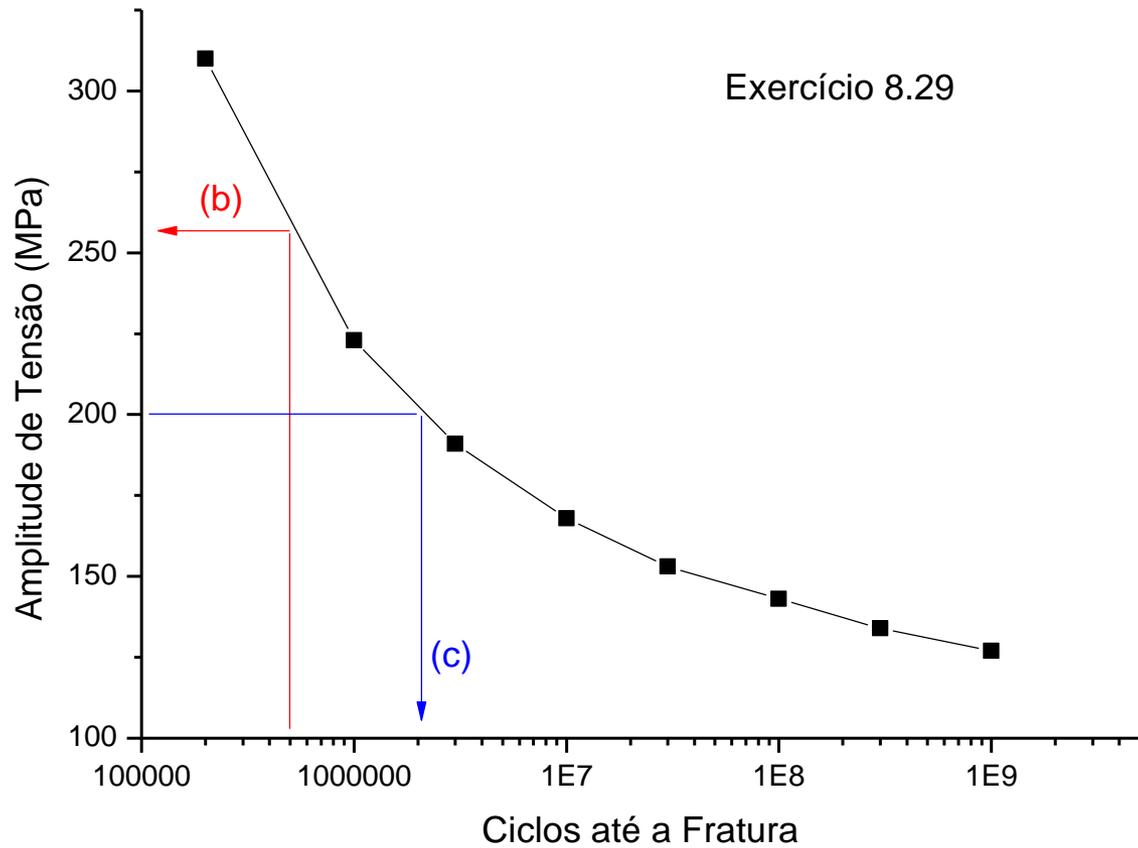
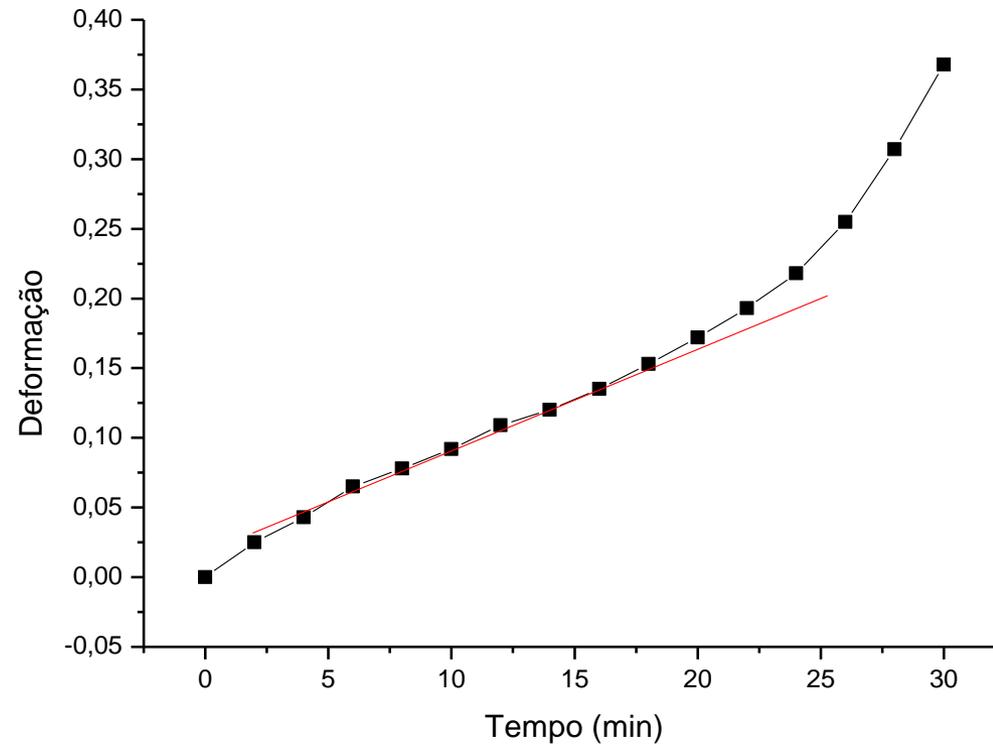


Fig. 8.42 Magnitude da tensão, σ , em função do logaritmo do número de ciclos, N , até a falha por fadiga para o latão vermelho, uma liga de alumínio, e um aço carbono comum. (Adaptado de H. W. Hayden, W.

Exercício 8.29



Exercício 42



Exercício 9

