

SEM0241 – ELEMENTOS DE MÁQUINAS I TENSÃO ADMISSÍVEL À FADIGA

PROFESSOR: JONAS DE CARVALHO

ALUNO: MARCOS PAULO GONÇALVES PEDROSO

TENSÃO ADMISSÍVEL À FADIGA

A tensão limite de fadiga é obtida através de ensaios com corpos de prova com características normalizadas. Para uma peça real, a tensão limite de fadiga deve ser corrigida, pois existem diferenças entre a peça real e o corpo de prova:

- Dimensões
- Solicitações
- Acabamento superficial
- Temperatura
- Confiabilidade

FATORES DE CORREÇÃO

Equação de Marin (Shigley):

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

onde:

S_e = limite de resistência a fadiga para a peça

S'_e = limite de resistência do corpo de prova em ensaio rotativo ($k=\infty$)

k_a = fator de modificação de condição de superfície;

k_b = fator de modificação de tamanho;

k_c = fator de modificação de carga;

k_d = fator de modificação de temperatura;

k_e = fator de confiabilidade;

k_f = fator de modificação por efeitos variados

FATORES DE CORREÇÃO

Segundo Norton:

$$S_e = C_{carreg} C_{tamanho} C_{superf} C_{temp} C_{conf} S'_e$$

onde:

S_e = limite de resistência a fadiga para a peça

S'_e = limite de resistência do corpo de prova em ensaio rotativo ($k=\infty$)

C_{superf} = fator de modificação de condição de superfície;

$C_{tamanho}$ = fator de modificação de tamanho;

C_{carreg} = fator de modificação de carga;

C_{temp} = fator de modificação de temperatura;

C_{conf} = fator de confiabilidade;

FATOR DE SUPERFÍCIE

k_a , C_{superf} :

Considera o fato de que os corpos de prova tem a superfície polida com um acabamento espelhado e as peças reais apresentam os mais diversos acabamentos.

Segundo Norton e Shigley:

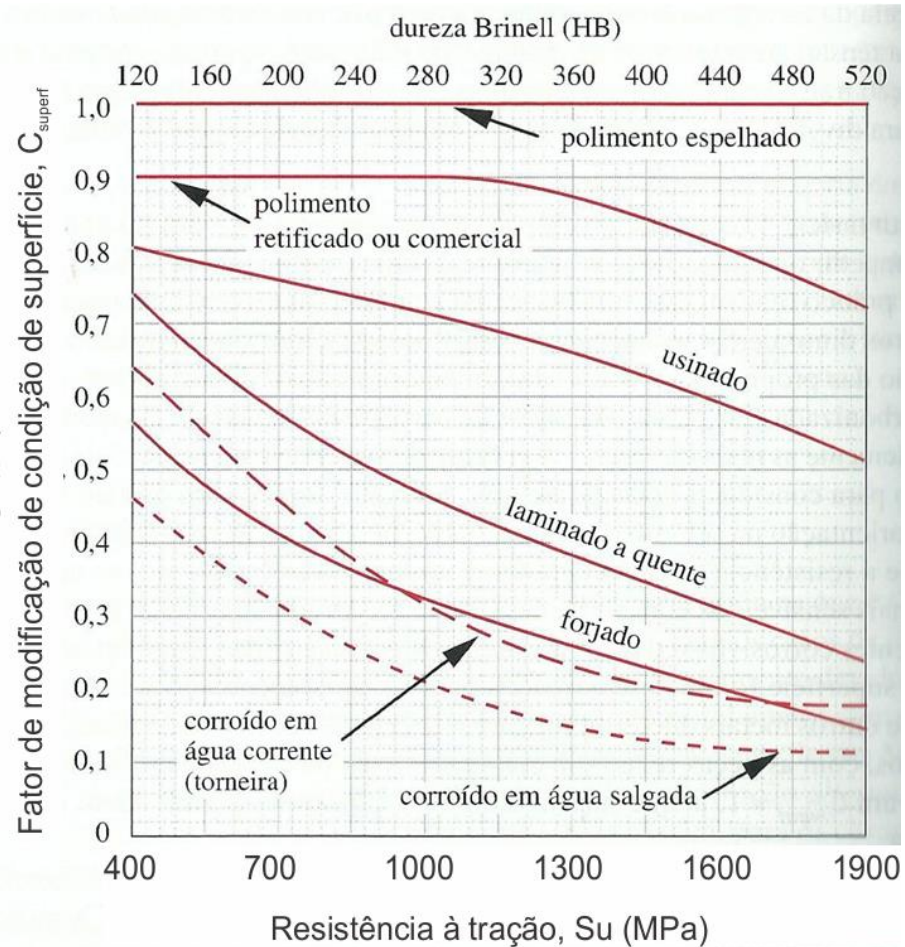
Acabamento superficial	A	b
Retificado	1,58	-0,085
Usinado ou estirado à frio	4,51	-0,265
Laminado à quente	57,7	-0,718
Forjado	272	-0,995

$$C_{\text{superf}} = A \cdot (S_{ut})^b$$

S_{ut} em MPa 5

FATOR DE SUPERFÍCIE

k_a , C_{superf} :



FATOR DE TAMANHO

C_{tamanho} :

Considera o fato de que as peças reais tem dimensões diferentes dos corpos de prova.

Quanto maior a peça, maior a probabilidade de defeitos.

Conforme Norton:

para $d \leq 8 \text{ mm}$:

$$C_{\text{tamanho}} = 1$$

para $8 \text{ mm} \leq d \leq 250 \text{ mm}$:

$$C_{\text{tamanho}} = 1,189 \cdot d^{-0,097}$$

para $d \geq 250$:

$$C_{\text{tamanho}} = 0,6$$

FATOR DE TAMANHO

k_b :

Conforme Shigley:

para $2,79 \text{ mm} \leq d \leq 51 \text{ mm}$:

$$k_b = 1,24 \cdot d^{-0,107}$$

para $51 \text{ mm} < d \leq 254 \text{ mm}$:

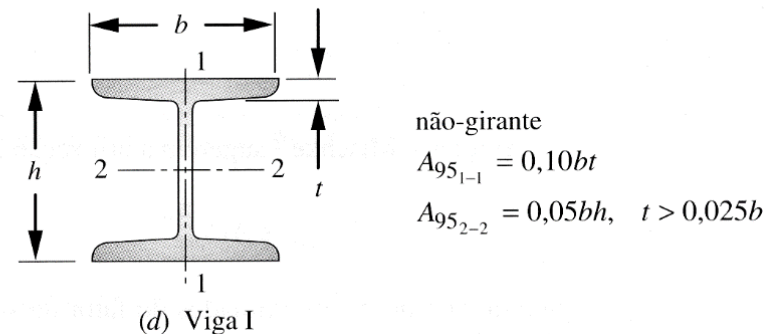
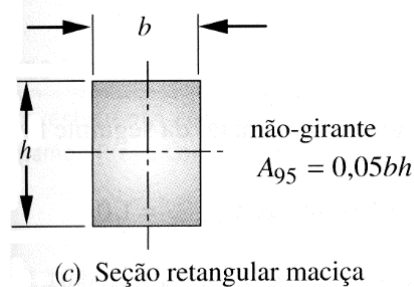
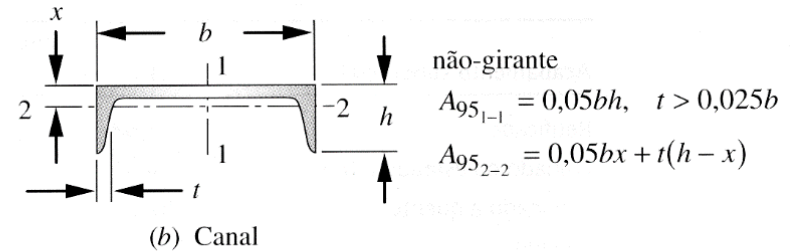
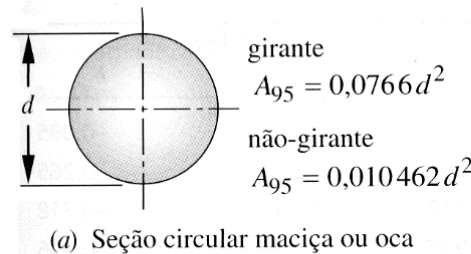
$$k_b = 1,51 \cdot d^{-0,157}$$

FATOR DE TAMANHO

k_b, C_{tamanho} :

Para peças com seção transversal não circular, conforme Kuguel:

$$d_{\text{equiv}} = \sqrt{\frac{A_{95}}{0,0766}}$$



FATOR DE TAMANHO

k_b, C_{tamanho} :

Para efeito de comparação, fazendo $d = 65$ mm:

- Norton:

$$C_{\text{tamanho}} = 1,189 \cdot d^{-0,097} = 1,189 \cdot 65^{-0,097} = 0,7931$$

- Shigley:

$$k_b = 1,51 \cdot d^{-0,157} = 1,51 \cdot 65^{-0,157} = 0,7841$$

FATOR DE SOLICITAÇÃO

C_{carreg} :

Considera o fato de que a maioria dos dados disponíveis sobre a resistência à fadiga se referem a ensaios de flexão rotativa.

Segundo Norton:

Flexão:	$C_{\text{carreg}} = 1$
Força normal:	$C_{\text{carreg}} = 0,7$
Torção pura:	$C_{\text{carreg}} = 1$

FATOR DE SOLICITAÇÃO

k_c :

Segundo Shigley:

Flexão	$k_c = 1$
Força Normal	$k_c = 0,85$
Torção pura	$k_c = 0,59$

FATOR DE TEMPERATURA

C_{temp} :

Considera o fato de que o limite de fadiga na curva S x N desaparece a altas temperaturas.

Conforme Norton:

$$\begin{array}{ll} \text{Para } T \leq 450^{\circ} \text{ C:} & C_{temp} = 1 \\ \text{Para } 450^{\circ} \text{ C} < T < 550^{\circ} \text{ C:} & C_{temp} = 1 - 0,0058.(T - 450) \end{array}$$

FATOR DE TEMPERATURA

k_d :

Conforme Shigley:

$$k_d = 0.975 + 0.432(10^{-3})T_F - 0.115(10^{-5})T_F^2 + 0.104(10^{-8})T_F^3 - 0.595(10^{-12})T_F^4$$

$$70 \leq T_F \leq 1000^\circ F$$

FATOR DE TEMPERATURA

C_{temp} , k_d :

Para efeito de comparação, para $T = 60^\circ\text{C} = 140^\circ\text{F}$:

- Norton:

$$C_{temp} = 1$$

- Shigley:

$$k_d = 1,0156$$

FATOR DE CONFIABILIDADE

k_e , C_{conf} :

Considera a dispersão existente nos ensaios realizados com o mesmo material sob condições semelhantes.

Conforme Norton e Shigley:

Confiabilidade (%):	C_{conf}
50	1,000
90	0,897
99	0,814
99,9	0,753
99,99	0,702
99,999	0,659

FATOR POR EFEITOS VARIADOS

k_f :

Considera a influência de todos os outros fatores no limite de resistência da peça.

Alguns exemplos, conforme Shigley:

- Corrosão – *fretting* $0,24 < k_f < 0,90$
- Deposição eletrolítica $k_f \sim 0,50$
- *Metal spraying* $k_f \sim 0,86$

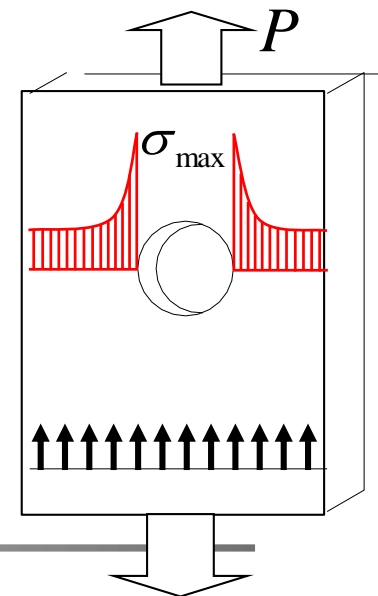
FATOR DE CONCENTRAÇÃO DE TENSÃO TEÓRICO (ESTÁTICO)

Entalhe: qualquer contorno geométrico que interrompe o “fluxo de forças” pela peça.

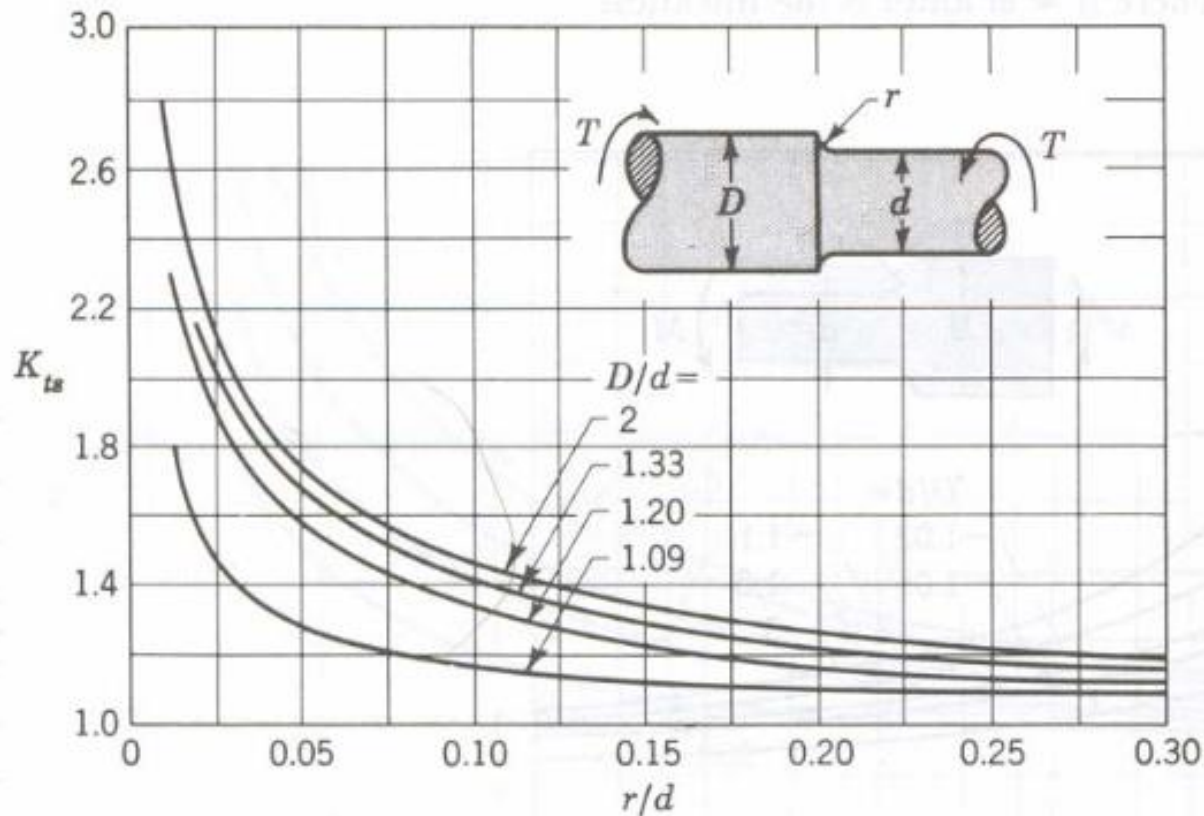
Exemplos: furo, ranhura, chanfro, mudança abrupta na seção transversal.

K_t : medida da concentração de tensões

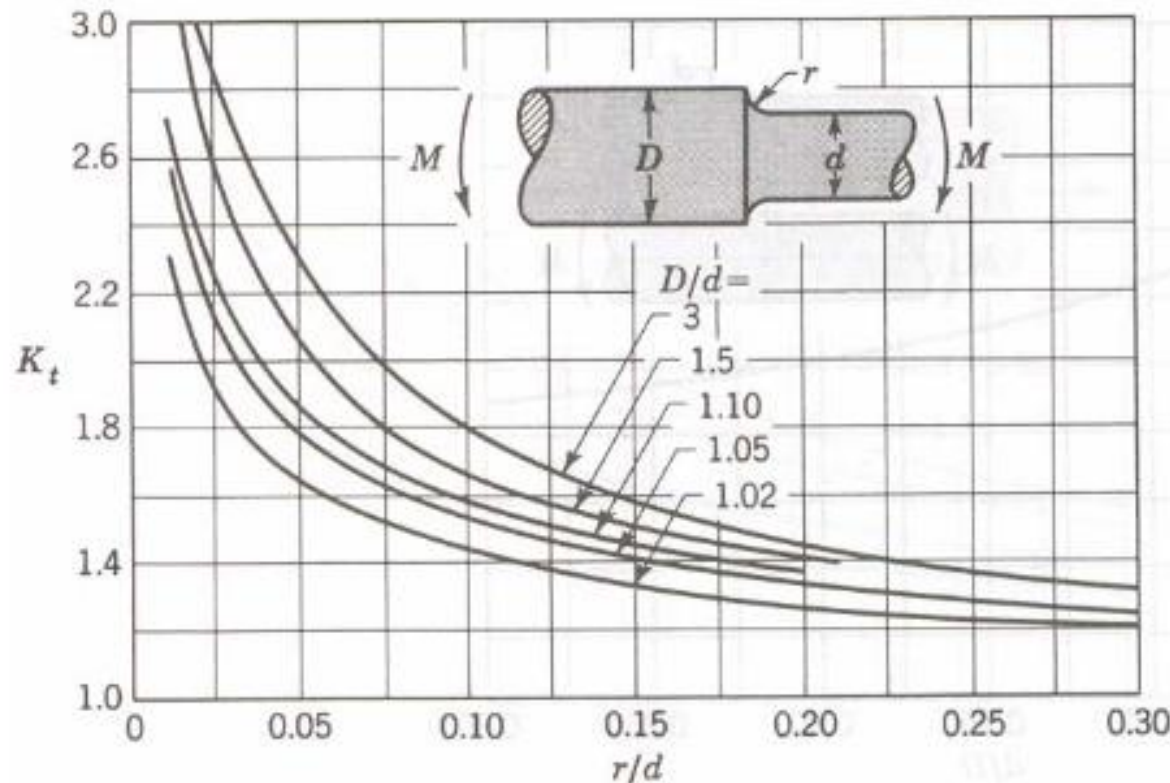
$$K_t = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_m}$$



FATOR DE CONCENTRAÇÃO DE TENSÃO TEÓRICO (ESTÁTICO)



FATOR DE CONCENTRAÇÃO DE TENSÃO TEÓRICO (ESTÁTICO)



FATOR DE CONCENTRAÇÃO DE TENSÃO EM FADIGA (DINÂMICO)

Os dois fatores são relacionados através do fator de sensibilidade ao entalhe q :

$$K_f = 1 + q \cdot (K_t - 1)$$

A tensão nominal dinâmica para qualquer situação é então multiplicada pelo fator K_f :

$$\sigma = K_f \cdot \sigma_{nom}$$

$$\tau = K_{fc} \cdot \tau_{nom}$$

FATOR DE SENSIBILIDADE AO ENTALHE

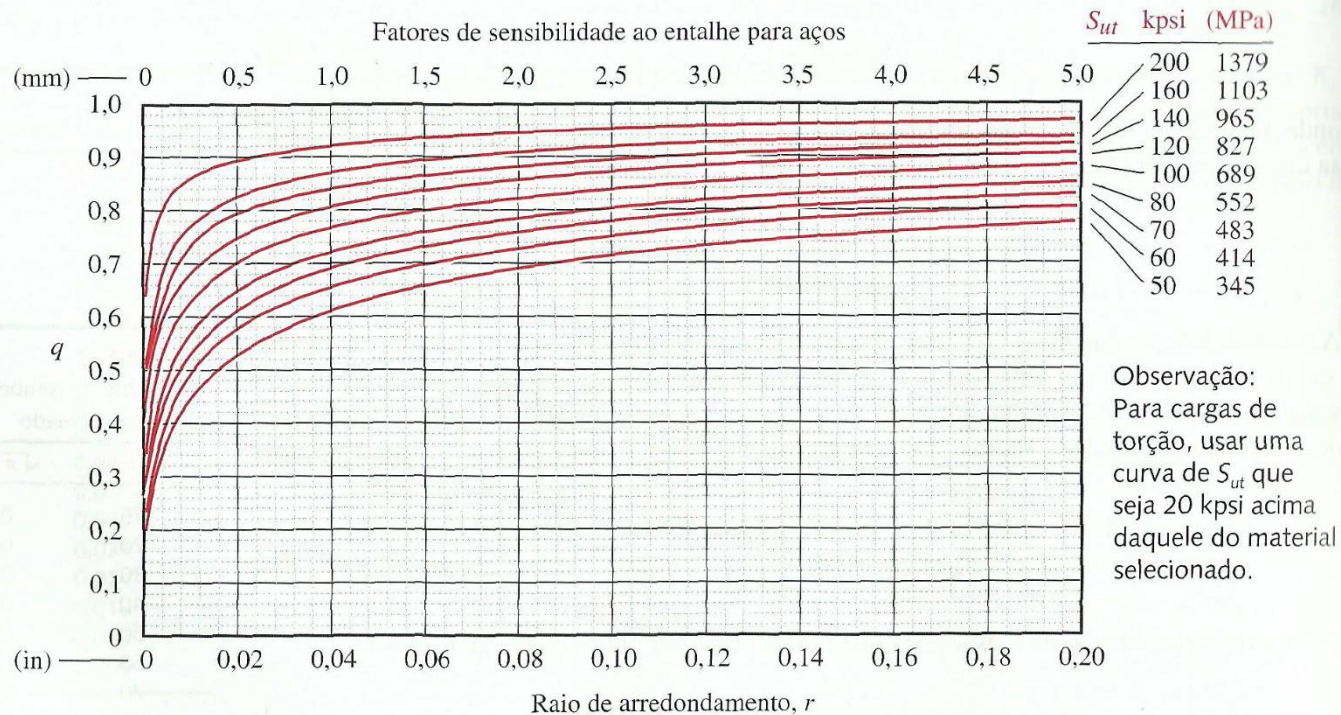


FIGURA 6-36 Parte 1

Curvas de sensibilidade ao entalhe para aços calculadas a partir da equação 6.13 com os dados da Figura 6-35, como originalmente proposto por R. E. Peterson em "Notch Sensitivity", Capítulo 13 em *Metal Fatigue* by G. Sines and J. Waisman, McGraw-Hill, New York, 1959.

FATOR DE SENSIBILIDADE AO ENTALHE

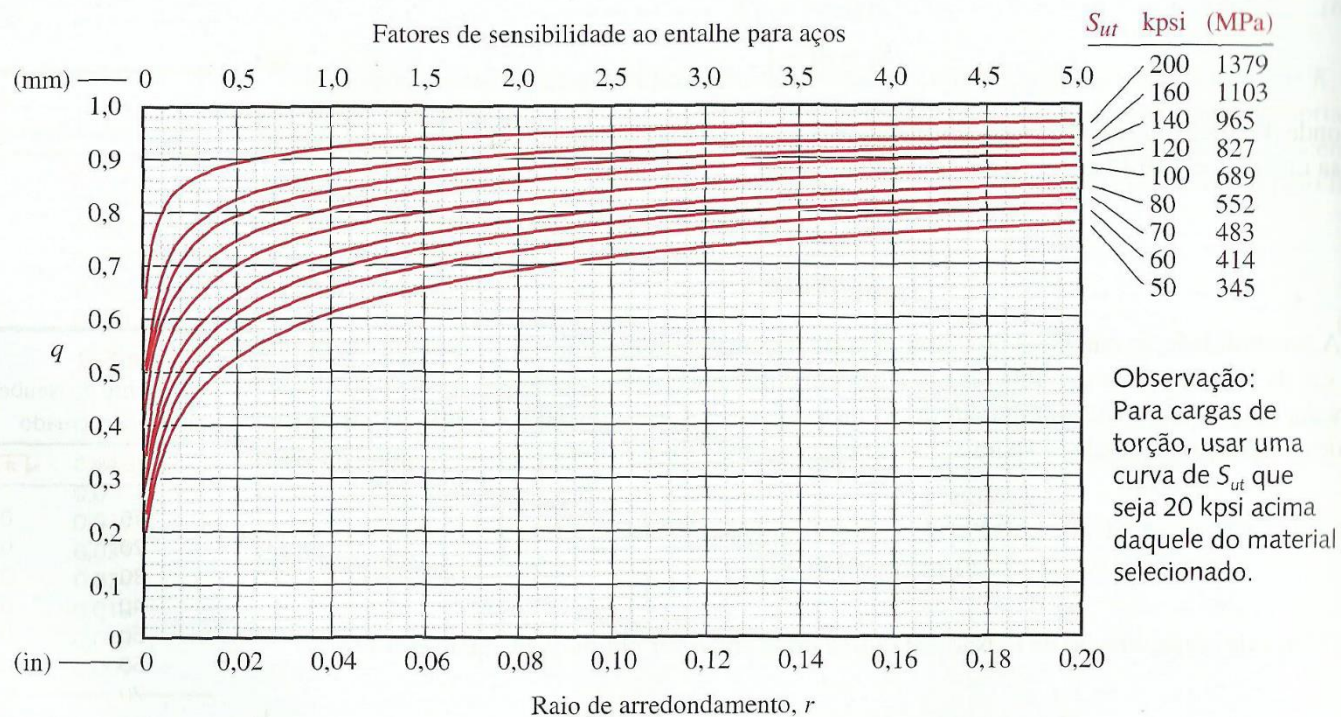


FIGURA 6-36 Parte 1

Curvas de sensibilidade ao entalhe para aços calculadas a partir da equação 6.13 com os dados da Figura 6-35, como originalmente proposto por R. E. Peterson em "Notch Sensitivity", Capítulo 13 em *Metal Fatigue* by G. Sines and J. Waisman, McGraw-Hill, New York, 1959.

PROCEDIMENTO GERAL

σ^*	Solicitação Estática	$\sigma^* = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau^2}$
	Solicitação Dinâmica	$\sigma^* = \sqrt{(\sigma_{\max} \cdot K_{ff})^2 + 3(\tau_{\max} \cdot K_{ft})^2}$
σ_{adm}	Solicitação Estática	$\sigma_{adm} = \sigma_Y$ <p>Também usado para pré-dimensionamento</p>
	Solicitação Dinâmica	$S_e = C_{\text{superf}} C_{\text{tamanho}} C_{\text{carreg}} C_{\text{temp}} C_{\text{conf}} S_e'$