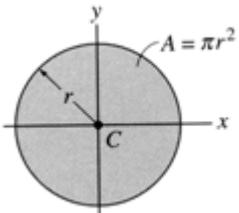
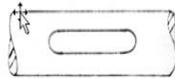


**ELEMENTOS DE MÁQUINAS - FORMULÁRIO BÁSICO - EIXOS**

 $J_T = \frac{\pi d^4}{32} \quad W_T = \frac{\pi d^3}{16}$ $J_x = \frac{\pi d^4}{64} \quad W_{fx} = \frac{\pi d^3}{32}$	<p><b>Flexão e torção combinadas (Pré-dimensionamento):</b></p> $\bar{d} = 2,173 \sqrt[3]{\frac{M_{eq}}{\sigma_{adm}}} \quad M_{eq} = \sqrt{M_{fr}^2 + \frac{3}{4} M_t^2} \quad d = 1,1 \sim 1,3 \bar{d}$ <p><b>Dinâmico:</b></p> <p><u>Caso particular onde</u> <math>k_f = \infty</math> e <math>k_t = 1</math></p> $\sigma^* = \sqrt{\sigma_{máx}^2 + H^2 \tau^2}$ $H = \frac{\sigma_{Faf} \beta_{kt}}{\tau_e \beta_{kaf}} \quad \tau_e \cong 0,577 \cdot \sigma_e$
--	--

$\sigma^* \leq \sigma_{adm}$		
$\sigma^*$	<b>Solicitação Estática</b>	$\sigma^* = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$
	<b>Solicitação Dinâmica</b>	$\sigma^* = \sqrt{(\sigma_{max} \cdot \beta_{kf})^2 + H^2 (\tau_{max} \cdot \beta_{kt})^2}$
$\sigma_{adm}$	<b>Solicitação Estática</b>	$\sigma_{adm} = \frac{\text{tensão limite}}{S}$ <p>Também usado para pré-dimensionamento</p>
	<b>Solicitação Dinâmica</b>	$\sigma_{adm} = S_{Fadm} = S_F \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot b_3}{\beta_k \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5}$

Flexão alternada simétrica:

A) RASGOS COM FRESA DE TOPO	VALORES DE $\beta$ ( $\beta_k$ )	
	EIXO AÇO CARBONO	EIXO AÇO CARBONO TRATADO OU AÇO-LIGA
	1,6	2,0

Torção alternada simétrica:

A)  QUALQUER TIPO DE RASGO EXCETO AMERICANA	VALORES DE $\beta$	
	EIXO AÇO CARBONO	EIXO AÇO CARBONO TRATADO OU AÇO-LIGA
	1,3	1,6

$$\beta_k = 1 + \eta_k (\alpha_k - 1)$$

Coefficiente de sensibilidade ao entalhe

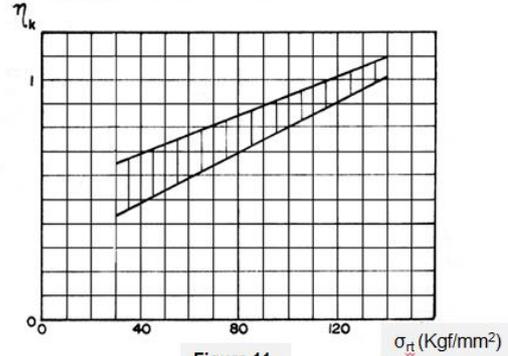
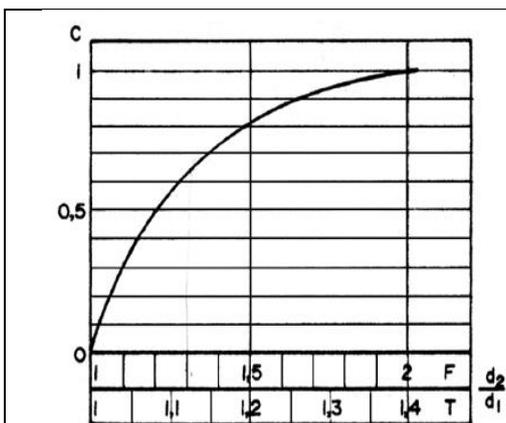
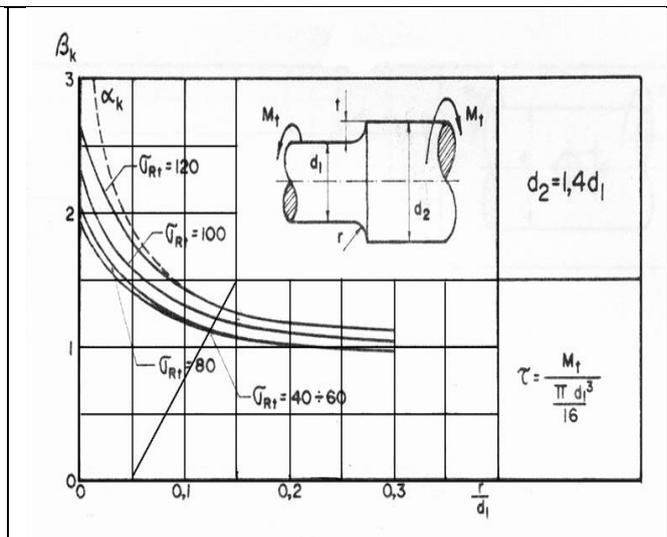
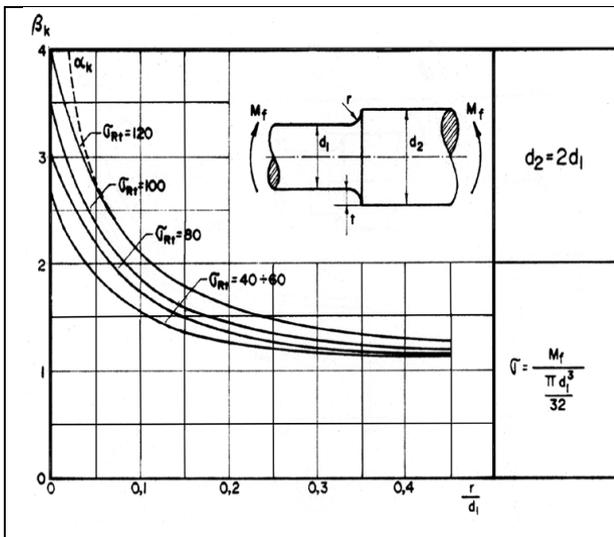


Figura 11



Para  $\frac{d_2}{d_1} \neq 2 \Rightarrow \beta_k = 1 + c \left( \beta_k \frac{d_2}{d_1} - 1 \right)$

$\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4, \eta_5$  : Coeficientes de Segurança

- $\eta_1$  : Leva em conta as incertezas de dados metalúrgicos e tratamentos térmicos  $1,0 \leq \eta_1 \leq 1,2$
- $\eta_2$  : Hipóteses simplificadoras  $1,25 \leq \eta_2 \leq 1,5$   $1,1 \leq \eta_2 \leq 1,25$  Incertezas quanto ao  $\beta_k$ , Incertezas de solicitação, modelo, carga e vínculos.
- $\eta_3$  : Importância da falha da peça  $1,0 \leq \eta_3 \leq 1,25$
- $\eta_4$  : Incerteza da determinação do valor das cargas  $1,0 \leq \eta_4 \leq 1,2$
- $\eta_5$  : Leva em conta choques e sobrecargas

Grupo	Tipo de Choque	$\eta_5$
I	Leves	1,0 a 1,1
II	Médios	1,2 a 1,5
III	Fortes	1,5 a 2,0
IV	Muito Fortes	2,0 a 3,0

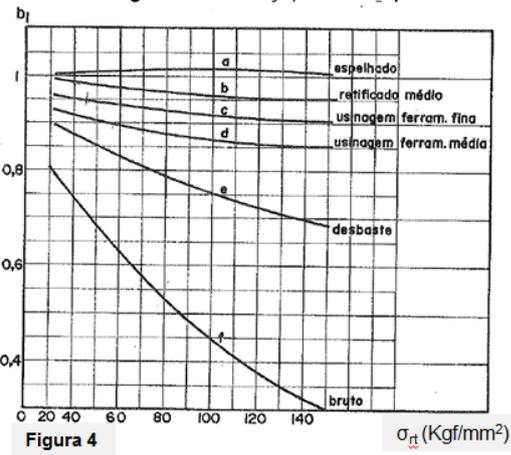


Figura 4

$\sigma_{rt}$  (Kg/mm<sup>2</sup>)

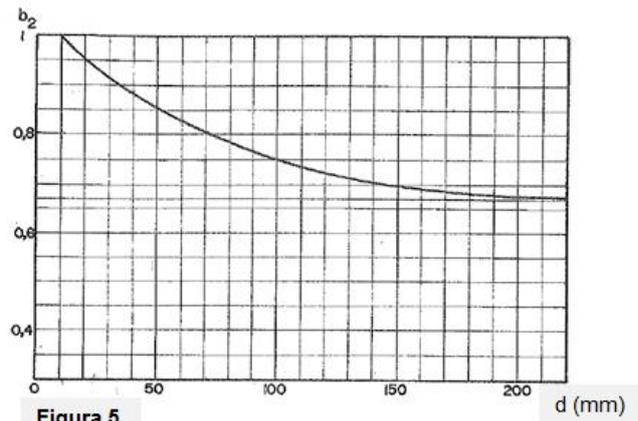


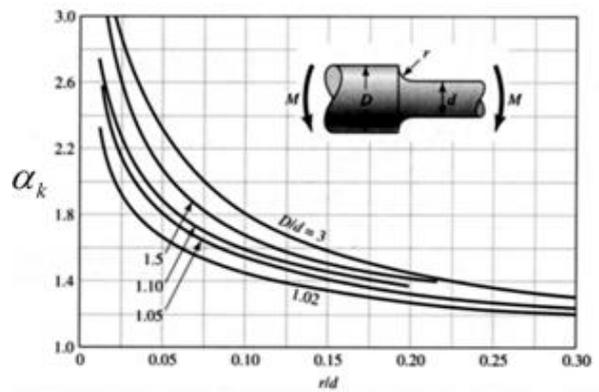
Figura 5

d (mm)

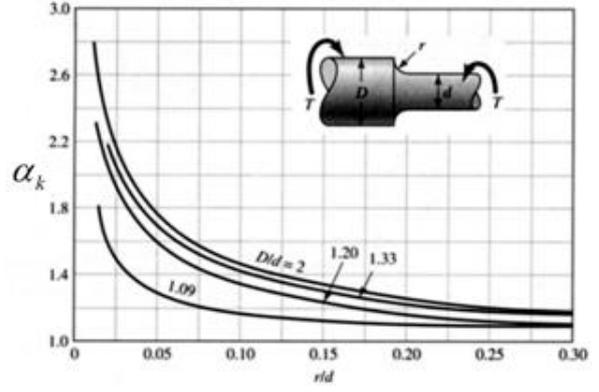
Um equacionamento para calcular  $b_2$  é proposto por Shigley e Mitchell\*

Assume-se  $b_3 = 1$  para secção circular.

para $d \leq 8 \text{ mm}$ :	$b_2 = 1$
para $8 \text{ mm} \leq d \leq 250 \text{ mm}$ :	$b_2 = 1,189 \cdot d^{-0,097}$
para $d \geq 250$ :	$b_2 = 0,6$



Fator de concentração de tensão para eixo de secção circular sujeito à flexão



Fator de concentração de tensão para eixo de secção circular sujeito a torção

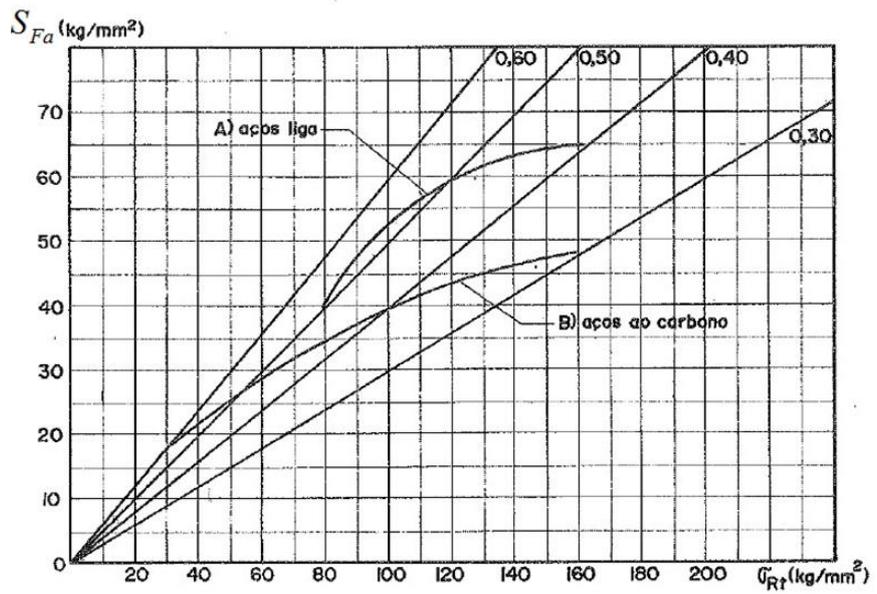
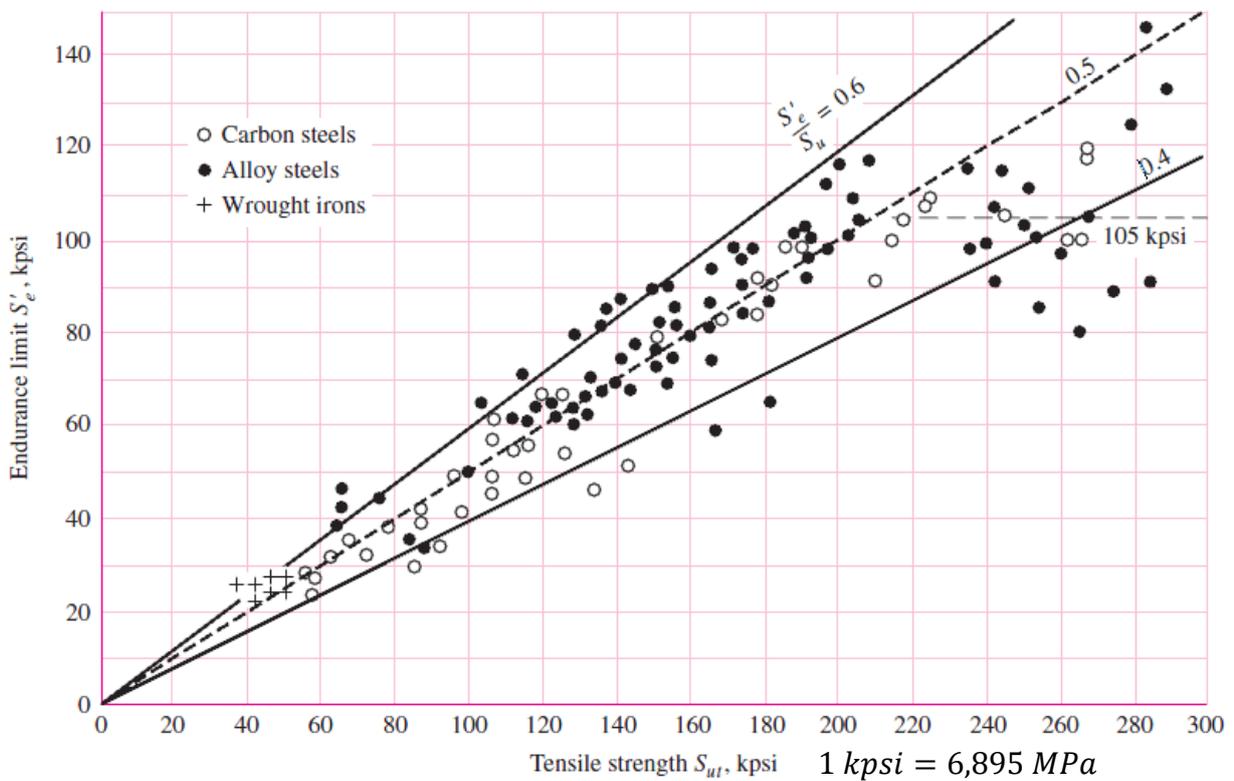


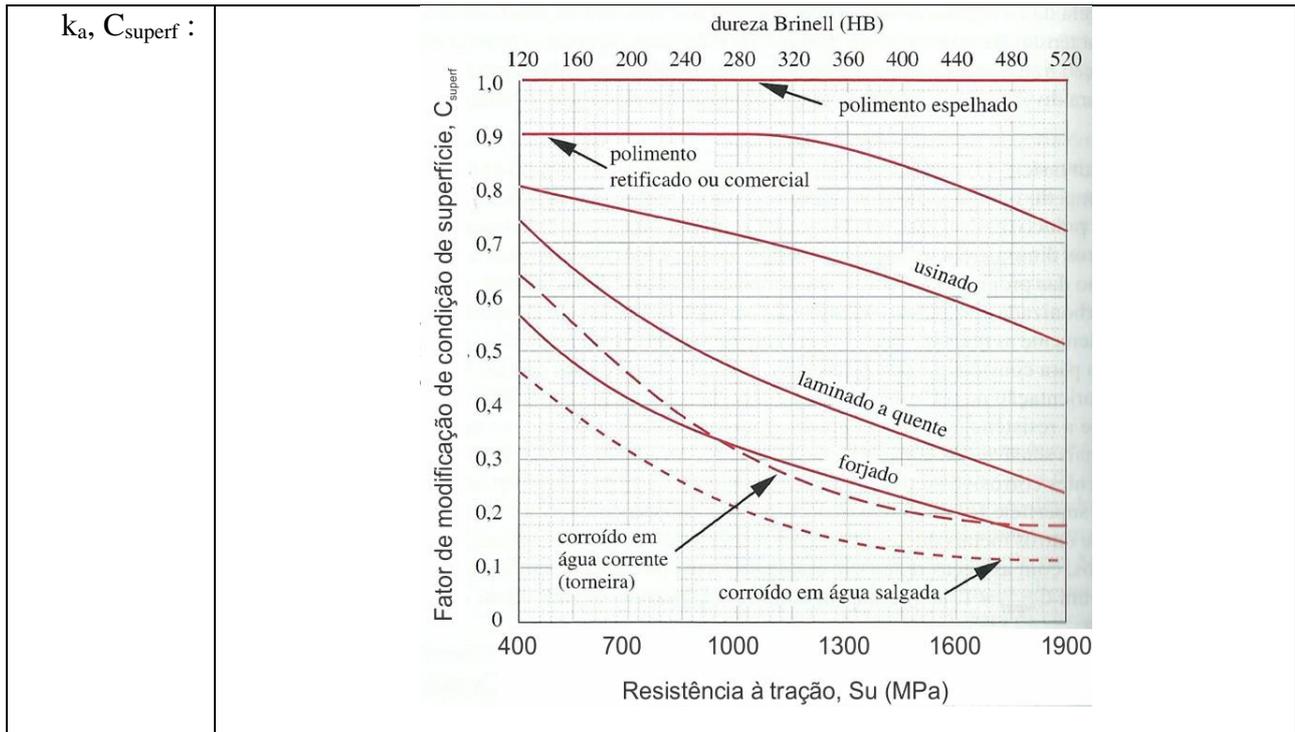
Figura 1 - Curvas do limite de resistência à fadiga alternada de FLEXÃO para aço em função da tensão de ruptura a Tração. ( Flexão pura e mista)

### Resolução - método 2 (Shigley/Norton)

$$\sigma^* \leq \sigma_{adm}$$

$\sigma^*$	Solicitação Estática	$\sigma^* = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$ $\sigma = \sigma_{max}$ $\tau = \tau_{max}$
	Solicitação Dinâmica	$\sigma^* = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$ $\sigma = K_{ff} \cdot \sigma_{max}$ $\tau = K_{ft} \cdot \tau_{max}$
$\sigma_{adm}$	Solicitação Estática	$\sigma_{adm} = \sigma_Y = \frac{\text{tensão limite}}{s}$
	Solicitação Dinâmica	$\sigma_{adm} = S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_f \cdot S'_e$





$k_b, C_{\text{tamanho}}$	<p>Norton: <math>C_{\text{tamanho}} = 1,189 \cdot d^{-0,097}</math></p> <p>Shigley: <math>k_b = 1,51 \cdot d^{-0,157}</math></p>
---------------------------	--

$K_c, C_{\text{solicitação}}$	<table border="0"> <tr> <td>Norton:</td> <td colspan="2">Shigley:</td> </tr> <tr> <td>Flexão:</td> <td><math>C_{\text{carreg}} = 1</math></td> <td>Flexão <math>k_c = 1</math></td> </tr> <tr> <td>Força normal:</td> <td><math>C_{\text{carreg}} = 0,7</math></td> <td>Força Normal <math>k_c = 0,85</math></td> </tr> <tr> <td>Torção pura:</td> <td><math>C_{\text{carreg}} = 1</math></td> <td>Torção pura <math>k_c = 0,59</math></td> </tr> </table>	Norton:	Shigley:		Flexão:	$C_{\text{carreg}} = 1$	Flexão $k_c = 1$	Força normal:	$C_{\text{carreg}} = 0,7$	Força Normal $k_c = 0,85$	Torção pura:	$C_{\text{carreg}} = 1$	Torção pura $k_c = 0,59$
Norton:	Shigley:												
Flexão:	$C_{\text{carreg}} = 1$	Flexão $k_c = 1$											
Força normal:	$C_{\text{carreg}} = 0,7$	Força Normal $k_c = 0,85$											
Torção pura:	$C_{\text{carreg}} = 1$	Torção pura $k_c = 0,59$											

$K_d, C_{\text{temperatura}}$	<p>Norton:</p> <p>Para <math>T \leq 450^\circ \text{C}</math>: <math>C_{\text{temp}} = 1</math></p> <p>Para <math>450^\circ \text{C} &lt; T &lt; 550^\circ \text{C}</math>: <math>C_{\text{temp}} = 1 - 0,0058 \cdot (T - 450)</math></p> <p>Shigley:</p> $k_d = 0,975 + 0,432(10^{-3})T_F - 0,115(10^{-5})T_F^2 + 0,104(10^{-8})T_F^3 - 0,595(10^{-12})T_F^4$ <p style="text-align: center;"><math>70 \leq T_F \leq 1000^\circ \text{F}</math></p>
-------------------------------	---

$K_e, C_{\text{conf}}$	<p>Norton e Shigley:</p> <table border="0" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Confiabilidade (%):</td> <td><math>C_{\text{conf}}</math></td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td>90</td> <td>0,897</td> </tr> <tr> <td>99</td> <td>0,814</td> </tr> <tr> <td>99,9</td> <td>0,753</td> </tr> <tr> <td>99,99</td> <td>0,702</td> </tr> <tr> <td>99,999</td> <td>0,659</td> </tr> </table>	Confiabilidade (%):	$C_{\text{conf}}$	50	1,000	90	0,897	99	0,814	99,9	0,753	99,99	0,702	99,999	0,659
Confiabilidade (%):	$C_{\text{conf}}$														
50	1,000														
90	0,897														
99	0,814														
99,9	0,753														
99,99	0,702														
99,999	0,659														

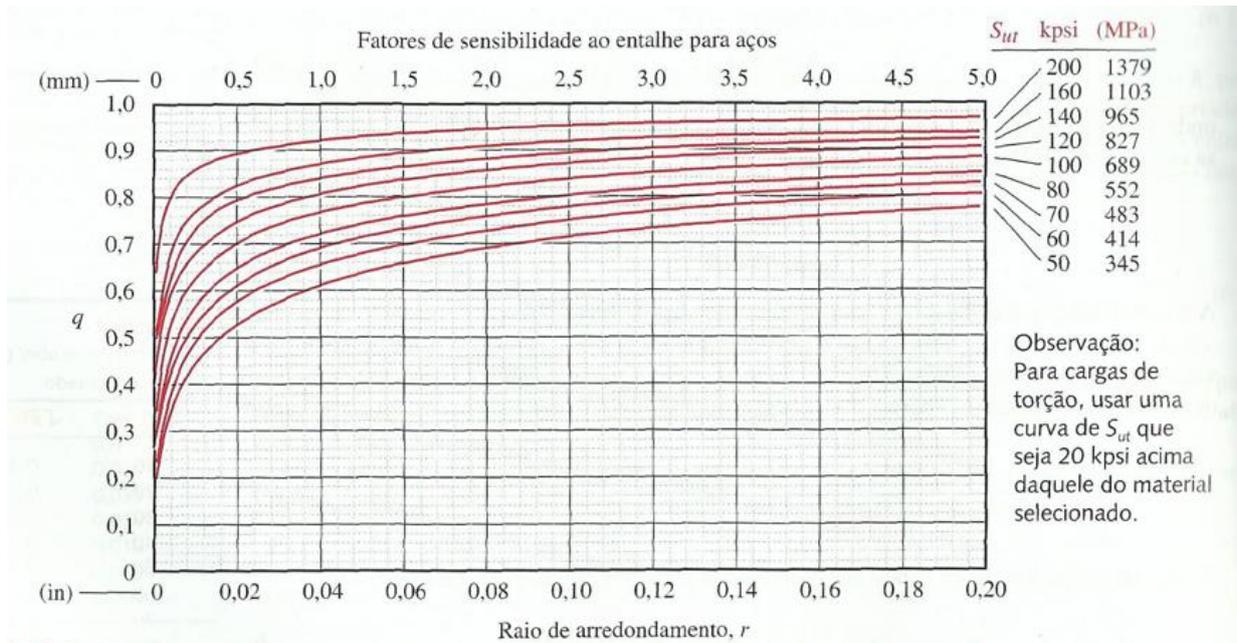
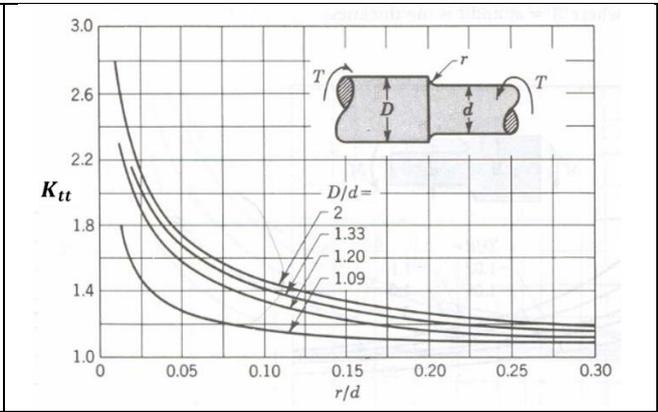
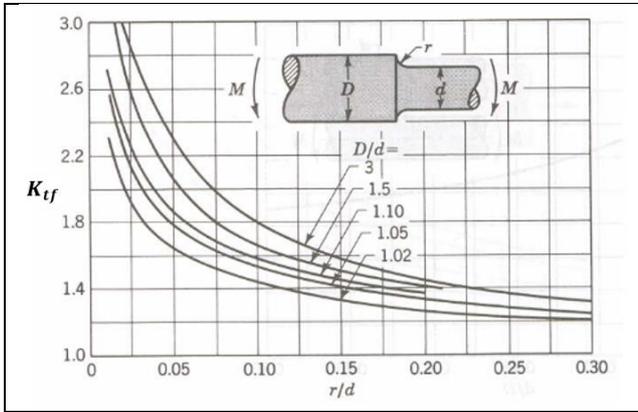
$K_f$ , efeitos variados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosão – <i>fretting</i> <math>0,24 &lt; k_f &lt; 0,90</math></li> <li>• Deposição eletrolítica <math>k_f \sim 0,50</math></li> <li>• <i>Metal spraying</i> <math>k_f \sim 0,86</math></li> </ul>
--------------------------	--

$$K_{ff} = 1 + q \cdot (K_{tf} - 1)$$

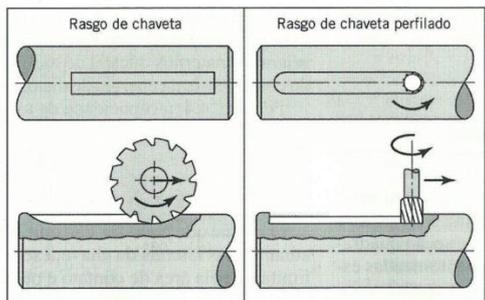
$$K_{ft} = 1 + q \cdot (K_{tt} - 1)$$

$$\sigma = K_{ff} \cdot \sigma_{max}$$

$$\tau = K_{ft} \cdot \tau_{max}$$



Coefficiente de entalhe para solicitações dinâmicas para rasgos de chaveta:



Aço	Fator de concentração de tensão para fadiga, $K_f$			
	Flexão	Torção	Flexão	Torção
Recozido (menos de 200 Bhn)	1,3	1,3	1,6	1,3
Resfriado rapidamente e estirado (acima de 200 Bhn)	1,6	1,6	2,0	1,6