

⇒ Continuação para 2ª verif. do proj. de Elemento
de máquinas III (1ª sem/2020) (06/05/2020)

(*) O programa de engrenagens deve utilizar-se
para cada par (subconj. de engrenamento com
eixo/mancais/lubrificação)

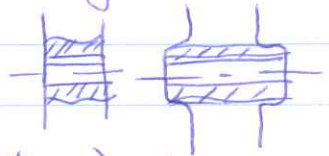
↳ Par de entrada $\eta_1; N_1$ (Potência nominal)
↳ rotas e ω no eixo

↳ Par 1: estágio $\eta'_1; N'_1$ (redutido em base de
3% perda por estáb)
↳ vem do eixo i_1, \dots, i_n

↳ Par n estágio (in)
(cálculo cinemático)

↳ uso dos coef. se referem aos vultos de resistência
de flexão no pé dente e contab superficial.

⇒ Obs. sobre largura do dente e larg. da chaveta.



(*) Presist. cinemática
(contab. eng. no cálculo da chaveta
podem-se estender cubos de

Lista de descrição dos parâmetros do
 Programa para dimensionamento de ECD/H
 (Método de Lewis/Stein modificada) Elementos III

r_f (raio no pé do dente)	[mm] (entada)
d_b (diâmetro de base)	[mm] (calculado)
d_e (diâmetro externo)	[mm] (")
d_r (diâmetro de raiz)	[mm] (")
E_c (relação de engrenamento)	[.] (")
l (largura nominal dos dentes)	[mm]
E_s (relação de eng. frontal) ou transversal	[mm]
v (velocidade tangencial)	[m/s] (")

Geometria cinemática

m_t, Q (fator tangencial médio); Q^* (fator tangencial efetivo)	[N.m] [N]	L_y [.] → coef. de sobrecarga (relação entre potência e carga de trabalho)
l_e (largura efetiva)	[mm]	
L_p para efeito de carregamento (dente)		

μ (constante de rigidez de flexão, para aço e materiais ferrosos) - [N/mm]
 $L_p K(\mu) = 5 \cdot 10^6$ N/mm

χ (cilindricidade do "blank") [mm/mm]

- K_e (coef. de distribuição de carga) [.]
- K_f (coef. de distribuição (concentração) no pé do dente) [.]
- K_a (fator de aplicação de carga) [.]
- C_v (fator de velocidade) [.]
- L_{ft} (fator de vida) [.]

Verificação da tensão de flexão a fonte

Tabela 2.18. Coeficientes de correção, γ_p e γ_{fl} .

Ângulo de hélice	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
γ_p	1,0	1,11	1,22	1,31	1,40	1,47	1,54	1,60	1,66	1,71
γ_{fl}	1,0	1,20	1,28	1,30	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27

D. Método de Trier

O Método de Trier [20] foi muito utilizado no projeto de caixa de velocidades. Este uso intenso justifica-se pela sua formulação simples que permite o cálculo manual com uso de calculadora ou mesmo com o uso de régua de cálculo, o que ocorreu por muitos anos. Aliada a esta simplicidade o método produzia resultados confiáveis nesta área de aplicação.

Este método veio ser posteriormente substituído por outros mais completos, porém agora através do uso de computadores.

O equacionamento proposto por Trier permite o dimensionamento de engrenagens cilíndricas retas e helicoidais. Necessita-se inicialmente adotar um módulo normal e calcular a geometria básica e velocidade tangencial no diâmetro primitivo do par de engrenagens para, a seguir, verificar a resistência à flexão no pé do dente e a resistência à pressão superficial no flanco do dente.

Verificação da tensão à flexão no pé do dente

As Eqs 2.33 e 2.34 permitem comparar a tensão de flexão no pé do dente de uma engrenagem de geometria já conhecida com as tensões admissíveis dos materiais disponíveis (Tab. 2.21):

Tabela 2.23. Fator de aplicação da transmissão, K_a .

MAQUINA MOTORA	MAQUINA ACIONADA		
	uniforme	choques moderados	choques severos
uniforme	1,00	1,25	1,75
choques pequenos	1,10	1,35	1,80
choques médios	1,25	1,50	1,85

(*) se a vida humana estiver em risco (ex. elevadores), o valor de K_a deverá ser multiplicado por 2.

Tabela 2.24. Tensão de flexão admissível no pé do dente, σ_{tada} , e pressão superficial admissível no flanco do dente, σ_{cada} .

Material	Dureza Brinell	Tensão de flexão σ_{tada} (kgf/cm ²)	Pressão superficial σ_{cada} (kgf/cm ²)
FoFo	160-200	350	3.500
FoFo nodular	210-245	500	4.200
Aço	160-200	1.400	4.200
Aço	210-245	1.550	4.900
Aço beneficiado	311-353	2.250	7.000
Aço temperado	455-525	2.500	11.200
Aço cementado	615-706	3.900	14.000

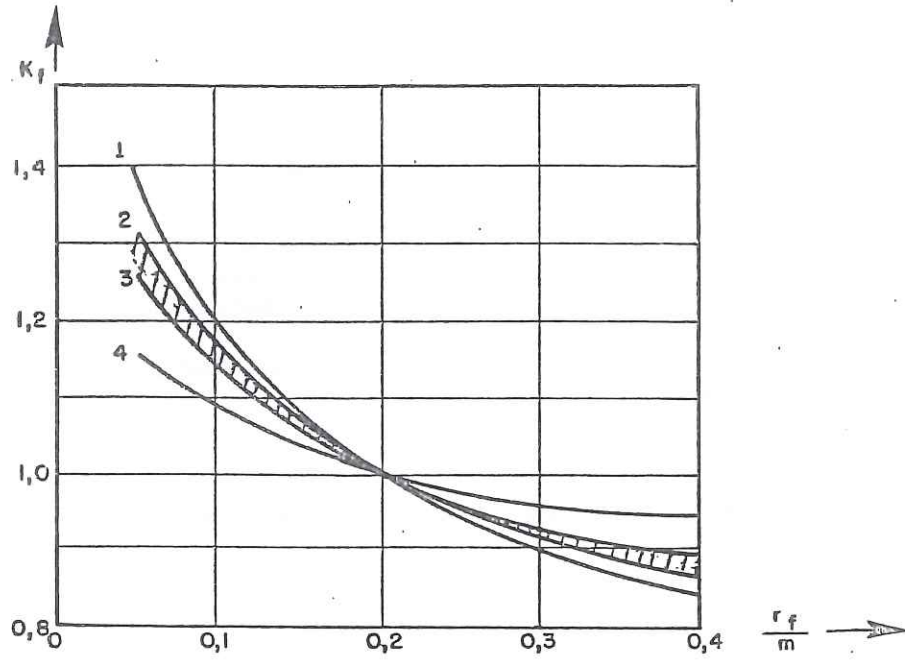
Tabela 2.25. Fator de vida, L_{fc} , para pressão superficial no flanco do dente.

Número de ciclos	Fator de vida L_{fc}
10 ³	1,40
10 ⁵	1,40
10 ⁶	1,25
10 ⁷	1,10
10 ⁸	1,00
10 ⁹	0,90

2.3.3. NORMAS TÉCNICAS

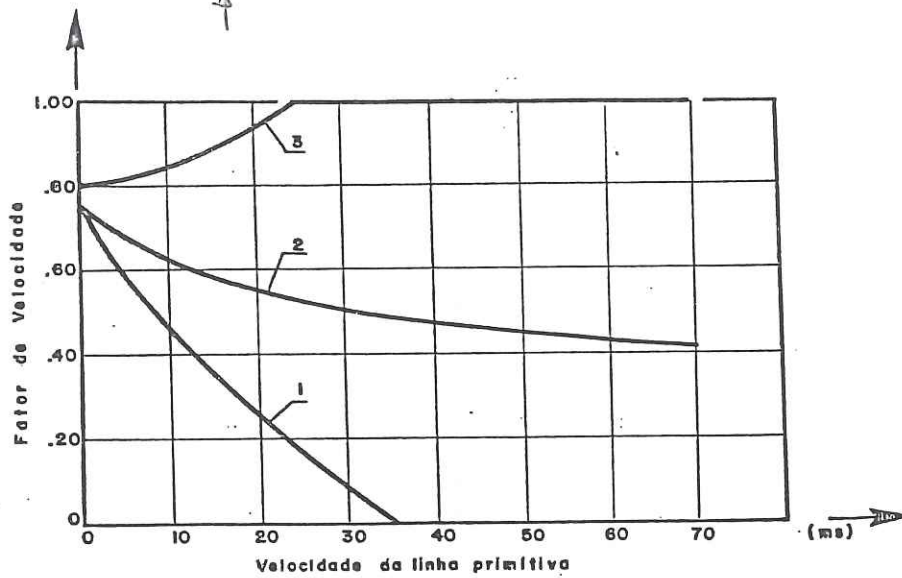
Os métodos de dimensionamento de engrenagens mais

ϵ_t - (.) - grau de recobrimento total;



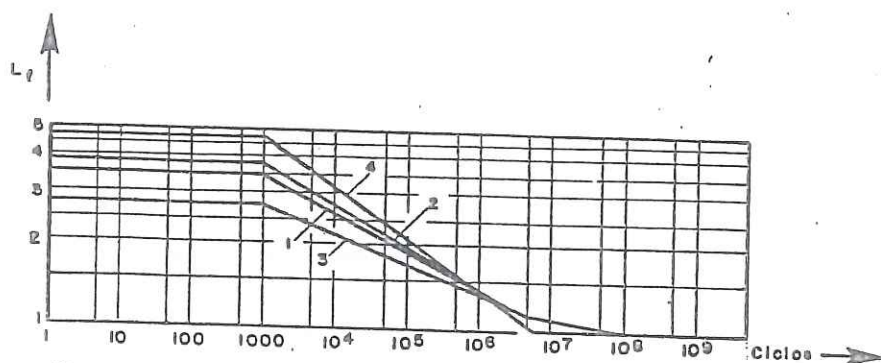
Curvas: 1 - aço beneficiado
2 a 3 - aço cementado
4 - St 60 não beneficiado

Figura 2.7. Coeficiente de concentração de tensões no pé do dente, K_f



Curvas: 1 - engrenagens retas de boa precisão comercial
2 - engrenagens helicoidais de média qualidade
3 - engrenagens retas e helicoidais de grande precisão; alta velocidade ou alta carga.

Figura 2.8. Fator de velocidade, C_v



Curvas: 1 - aço dureza Brinell 210 a 245
 2 - aço dureza Brinell 302 a 351
 3 - aço cementado Rockwell 58 a 63
 4 - aço de todas as durezas

Figura 2.9. Fator de vida, L_f , para verificação da resistência no pé do dente.

Tabela 2.22. Fator de Lewis, Y_t , para vários sist. de dentes.

Fator de Lewis, Y_t				
Z	14,5° composto e involuta	20° alt. total	engr. menor 20° alt. total	20° rebaixado
5	-	-	0,320	-
6	-	-	0,301	-
7	-	-	0,282	-
8	-	-	0,264	-
9	-	-	0,264	-
10	-	-	0,264	-
11	-	-	0,264	-
12	0,211	0,245	0,264	-
13	0,223	0,261	0,264	0,312
14	0,236	0,277	0,270	0,324
15	0,245	0,290	0,277	0,340
16	0,254	0,296	-	0,350
17	0,264	0,303	-	0,362
18	0,270	0,309	-	0,368
19	0,277	0,314	-	0,378
20	0,283	0,322	-	0,388
21	0,289	0,328	-	0,394
22	0,292	0,331	-	0,400
24	0,299	0,337	-	0,406
26	0,308	0,346	-	0,416
28	0,314	0,353	-	0,425
30	0,318	0,359	-	0,432
34	0,327	0,371	-	0,438
38	0,333	0,384	-	0,447
43	0,340	0,397	-	0,457
50	0,346	0,409	-	0,463
60	0,355	0,422	-	0,476
75	0,361	0,435	-	0,485
100	0,367	0,447	-	0,497
150	0,374	0,460	-	0,507
300	0,383	0,472	-	0,520
∞	0,390	0,485	-	0,535
				0,552

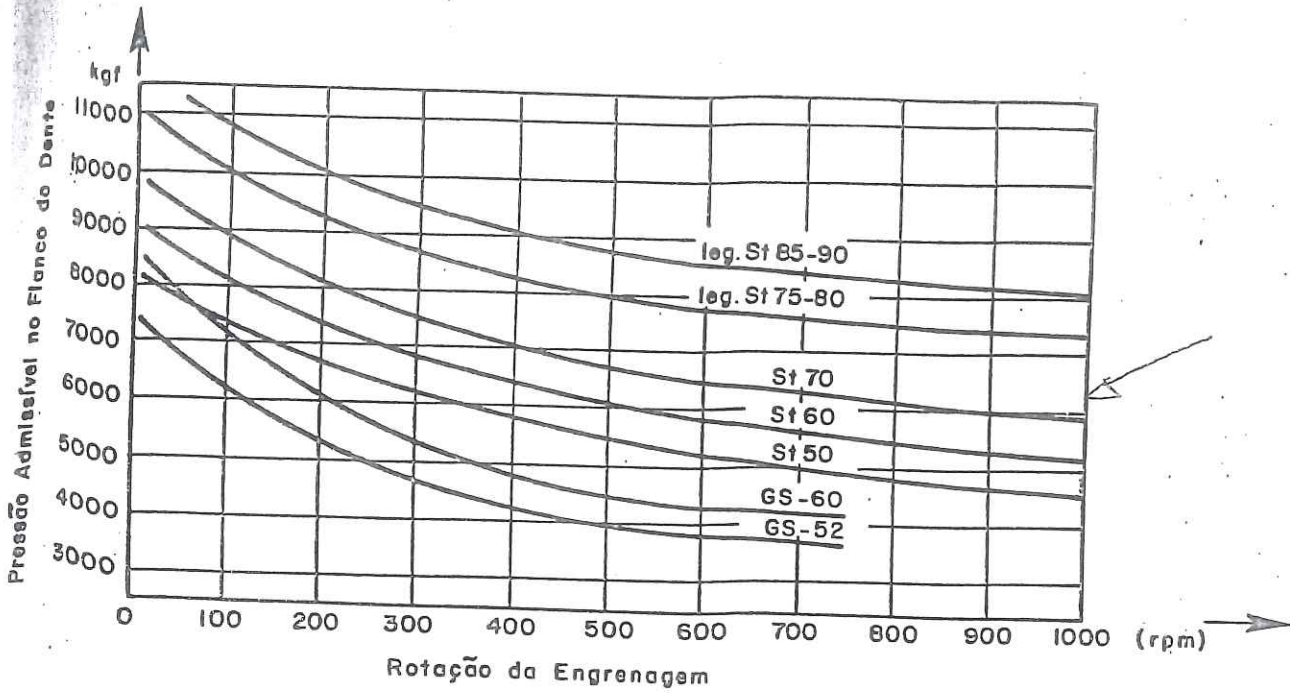


Figura 2.6. Pressão específica admissível no flanco do dente em função da rotação da engrenagem.

Tabela 2.16. Coeficiente geométrico, q, para dentes retos com ângulo de pressão 20°.

Engrenagem externa																			
Z	10	11	12	13	14	15	16	17	18	21	24	28	34	40	50	65	80	100	∞
q	52	49	46	44	41	39	38	36	35	33	32	31	30	29	28	27	26	25	25

Engrenagem interna									
Z	∞	200	100	70	50	38	30	24	20
q	25	24	23	22	21	20	19	18	17

Tabela 2.17. Tensão admissível, σ_{ada} .

Material	σ_{ada} (kgf/cm ²)
o fundido $\sigma_r = 52$ kgf/mm ²	900
o fundido $\sigma_r = 60$ kgf/mm ²	1000
o carbono St 50.11	1000
o carbono St 60.11	1200
o carbono St 70.11	1350
o liga $\sigma_r = 75$ a 80 kgf/mm ²	1550
o liga $\sigma_r = 85$ a 95 kgf/mm ²	1700