

MANCAIS DE ROLAMENTOS

Prof. Dr. Julio César de Almeida

ROLAMENTOS



MANCAIS DE ROLAMENTOS



Como é feito um rolamento

<https://www.youtube.com/watch?v=27Uoth8RCb0>

Como montar e desmontar rolamentos, manuseio e manutenção de rolamentos a quente e a frio. NTN-SNR

<https://www.youtube.com/watch?v=7JRdX-EjYII>

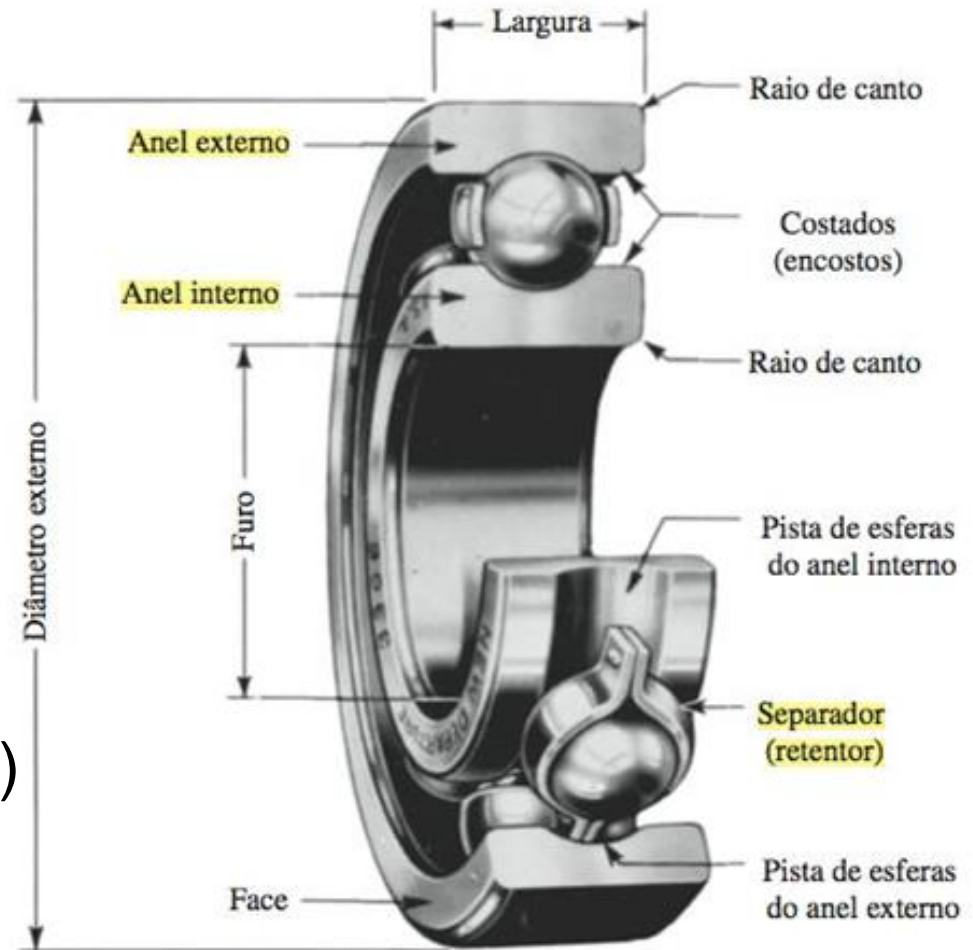
GENERALIDADES

- menor atrito na partida;
- pequena variação do coeficiente de atrito;
- permitem esforços radiais e axiais;
- exigem pequena manutenção;
- mais ruidosos e caros;
- vida útil limitada (fadiga);
- padronização;
- liberdade para escolha do material do eixo; e
- etc.

PRINCIPAIS COMPONENTES

Figura 11-1

Nomenclatura de um mancal de esferas.
(General Motors Corp.
Reproduzida com
autorização, GM Media
Archives.)



- Anel (pista) interno
- Anel (pista) externo
- Corpo rolante (esferas ou rolos)
- Gaiola (separador)
- Vedação (o'ring)

PRINCIPAIS COMPONENTES

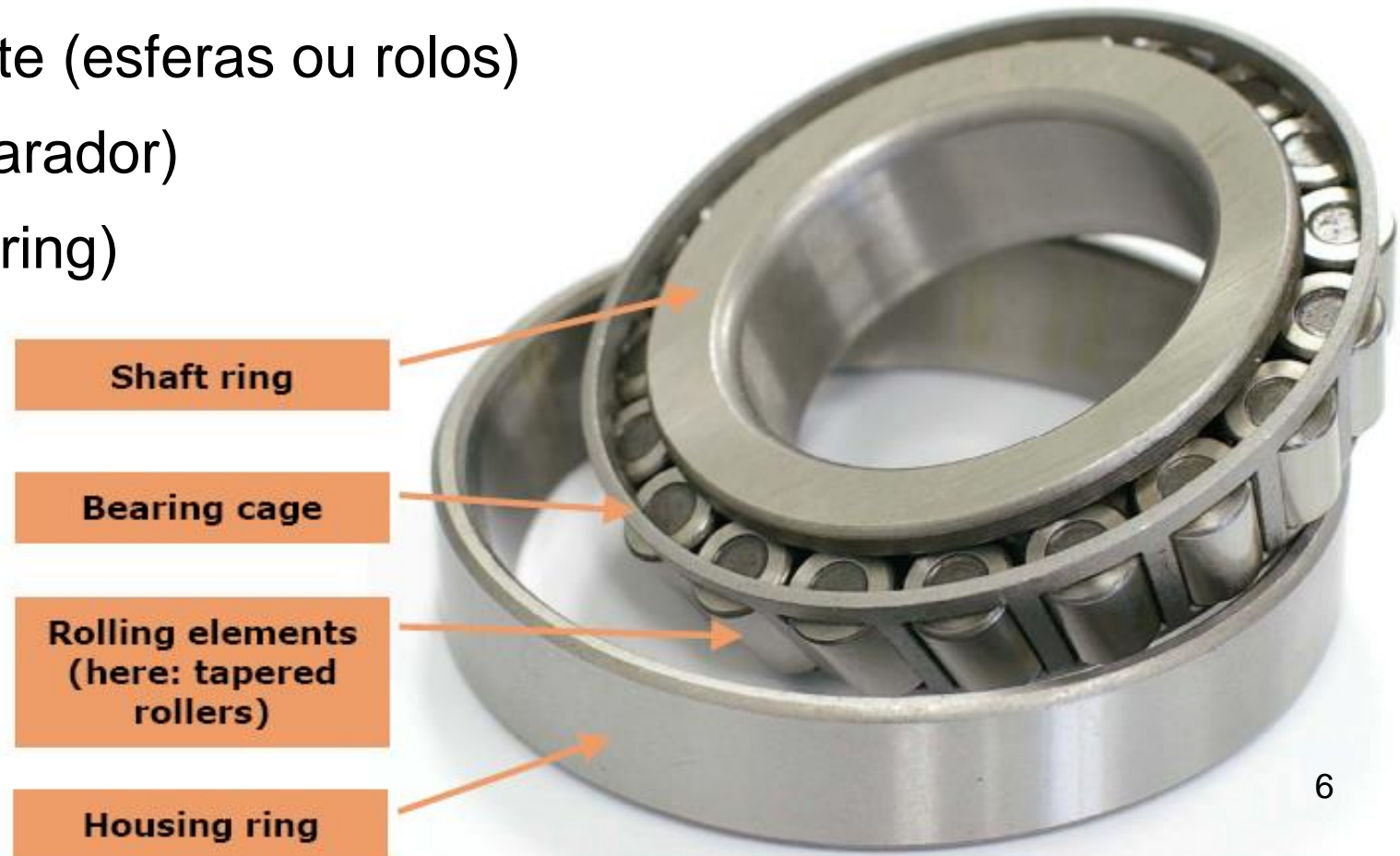
Anel (pista) interno

Anel (pista) externo

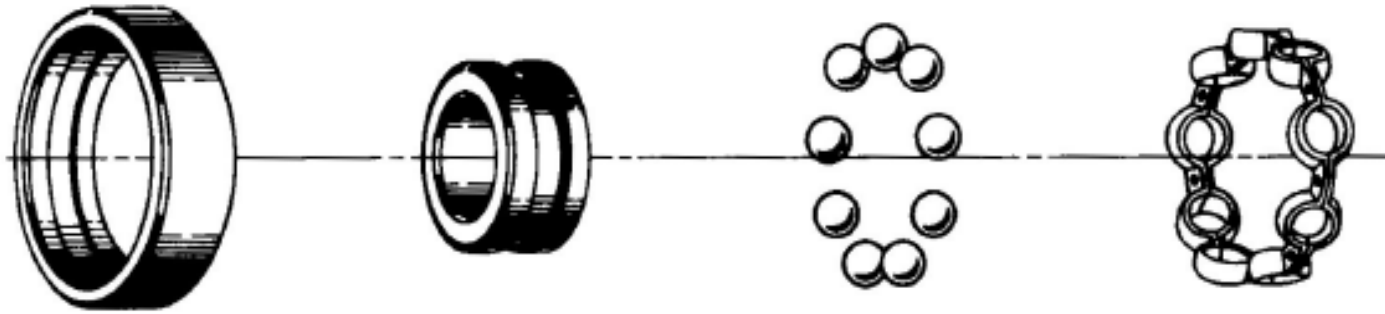
Corpo rolante (esferas ou rolos)

Gaiola (separador)

Vedação (o'ring)



PRINCIPAIS COMPONENTES

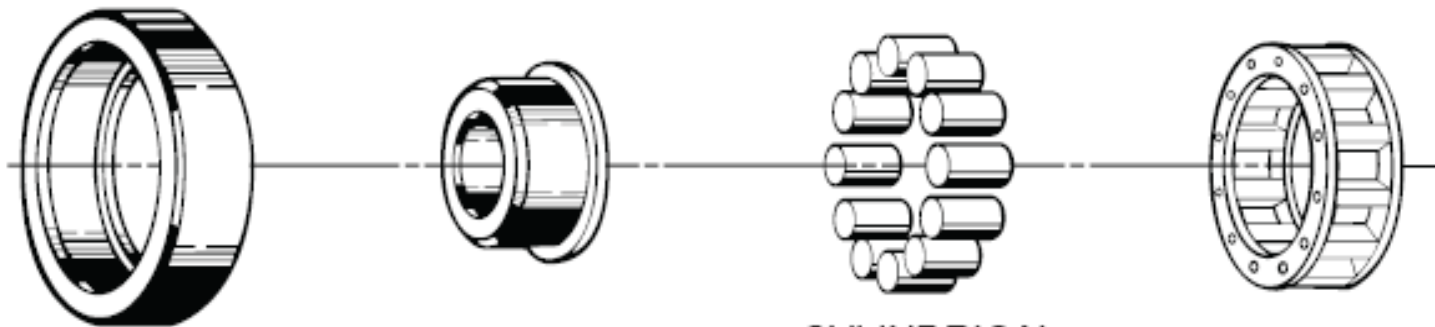


ANEL EXT

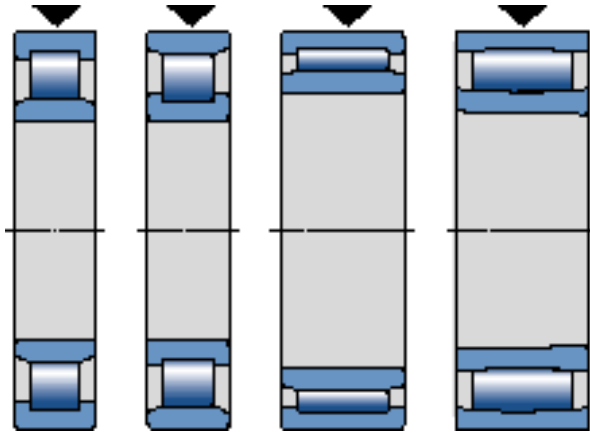
ANEL INT

CORPO ROL

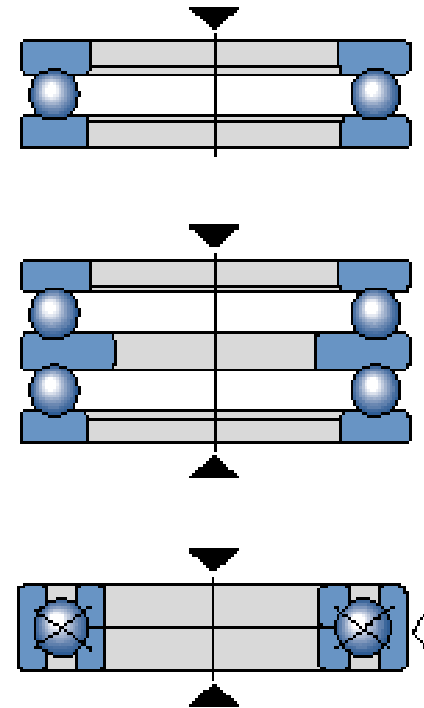
GAIOLA



CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM A CARGA APLICADA

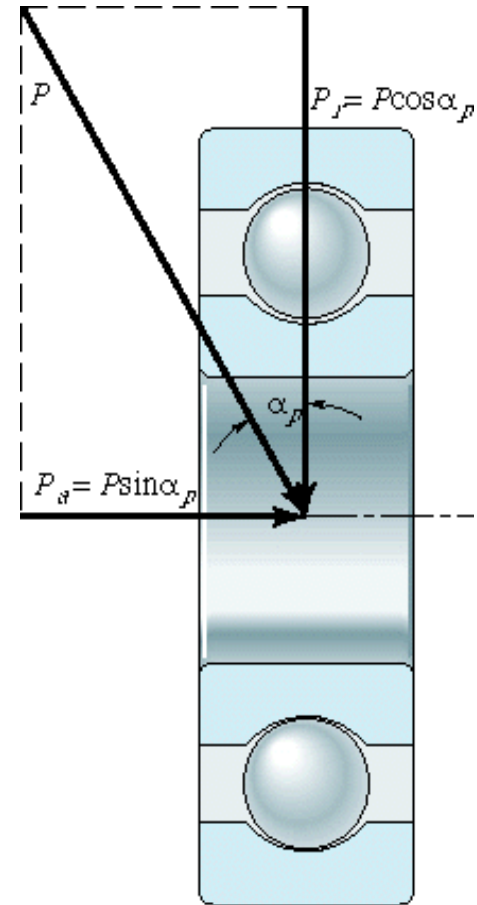
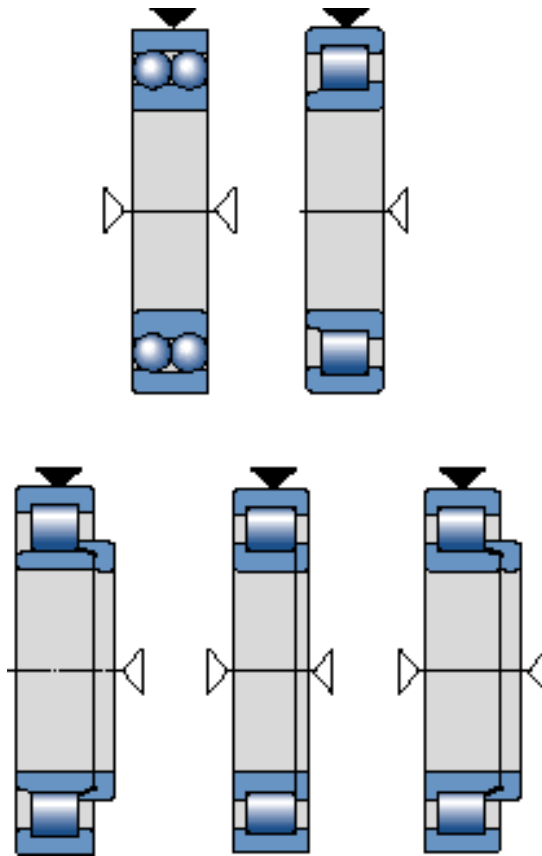


RADIAIS



AXIAIS

CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM A CARGA APLICADA

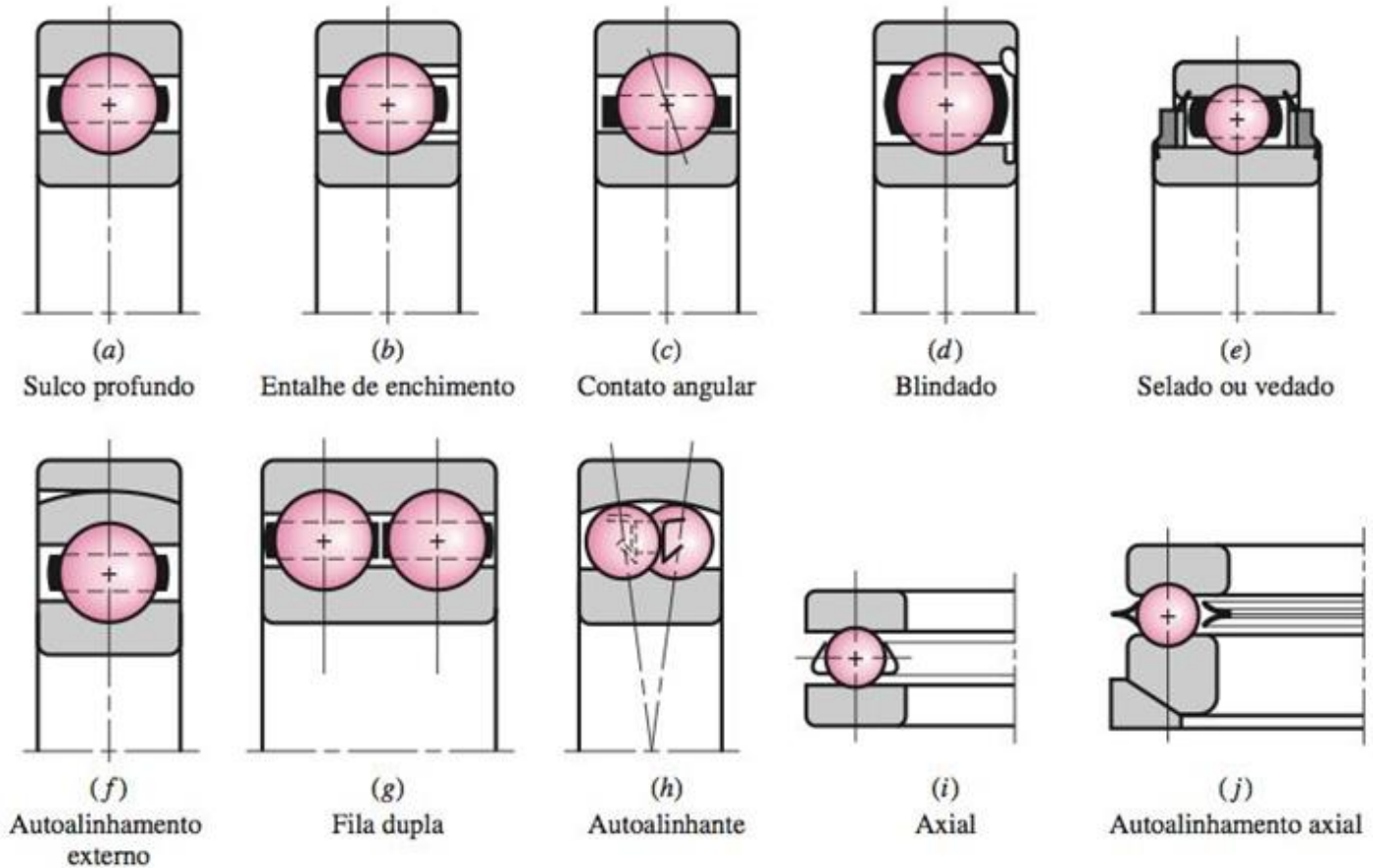


CARGAS COMBINADAS

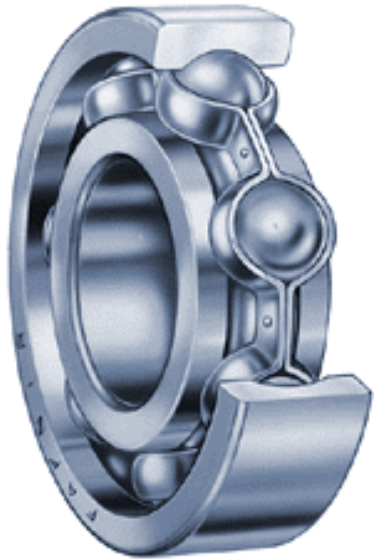
PRINCIPAIS TIPOS

Figura 11-2

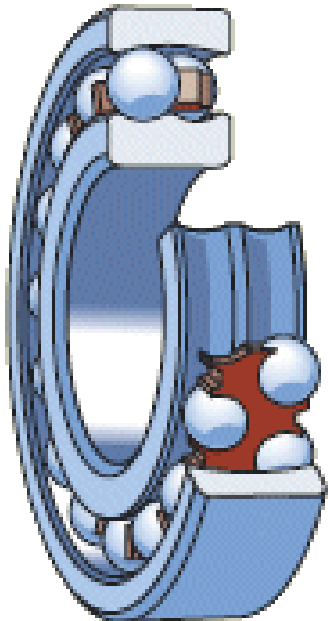
Vários tipos de mancais de esferas.



PRINCIPAIS TIPOS DE ROLAMENTOS DE ESFERAS

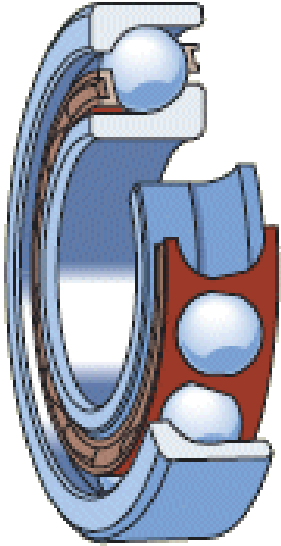


Rígidos (fixos) de esferas – ponto de partida de projeto, por serem os mais comuns, suportarem cargas combinadas e permitirem elevadas rotações.

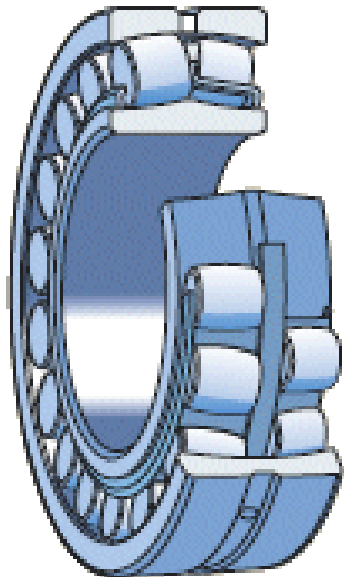


Autocompesadores de esferas – similares ao fixo de esferas, mas próprios para eixos longos e situações de desalinhamentos.

PRINCIPAIS TIPOS DE ROLAMENTOS DE ESFERAS



Contato angular – permite cargas combinadas, com a parcela de carga axial num único sentido, motivo pelo qual são normalmente utilizados aos pares.

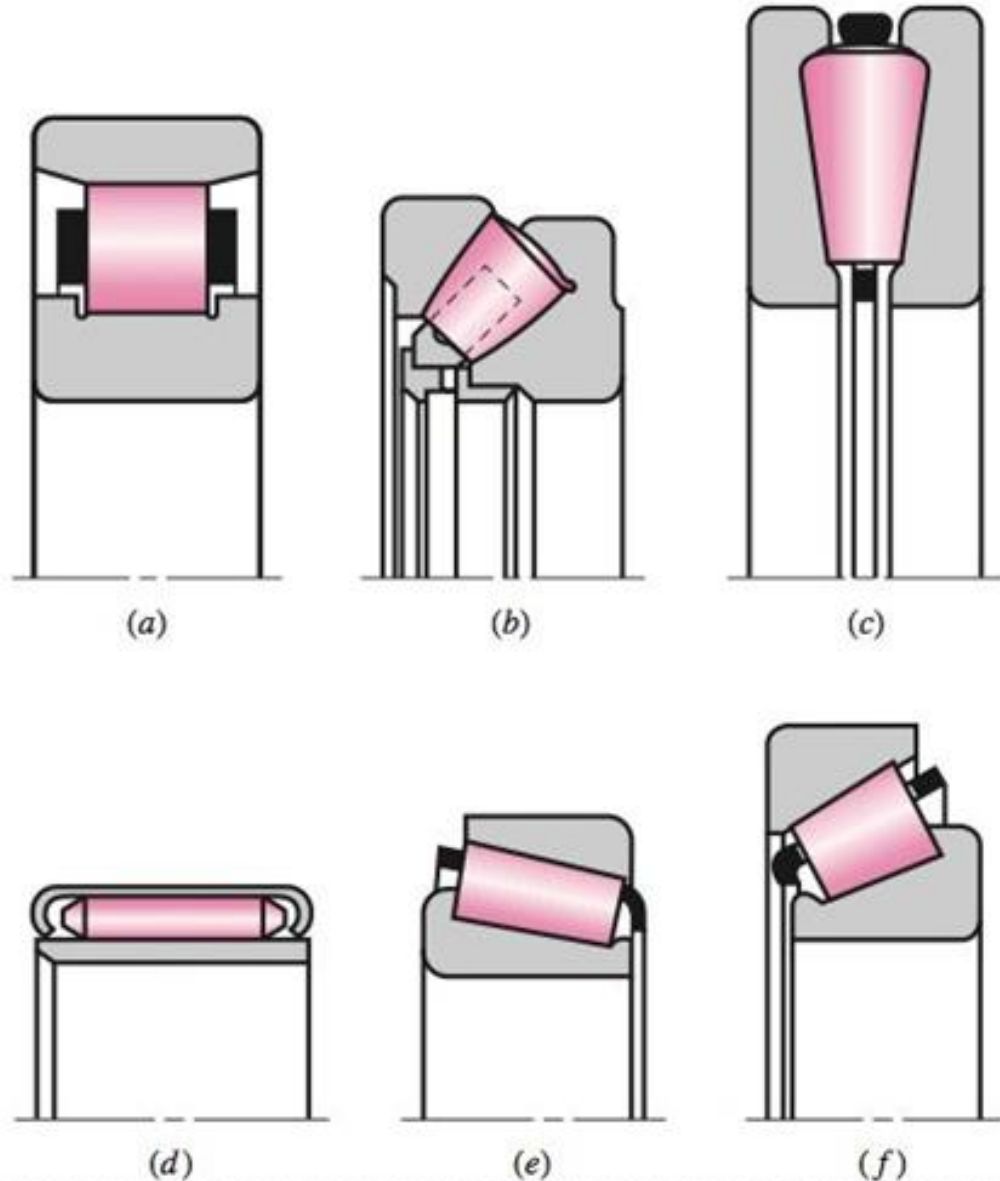


Autocompensador de rolos – próprio para situações de desalinhamentos e grandes carregamentos.

PRINCIPAIS TIPOS

Figura 11-3

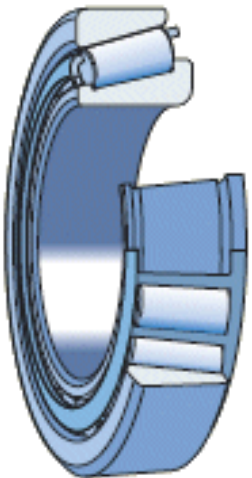
Tipos de mancais de rolos:
 (a) rolos retos; (b) rolo esférico, axial;
 (c) rolo cônico, axial; (d) agulha;
 (e) rolo cônico; (f) rolo cônico de ângulo íngreme.



PRINCIPAIS TIPOS DE ROLAMENTOS DE ROLOS

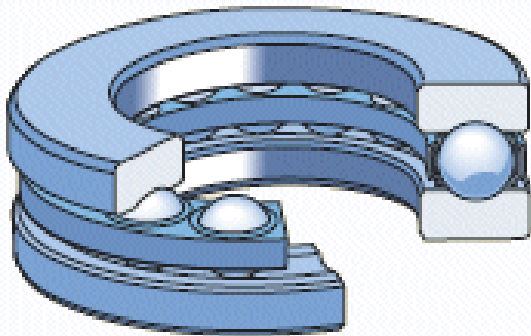


Rolos cilíndricos – para grandes cargas radiais e nenhuma carga axial.

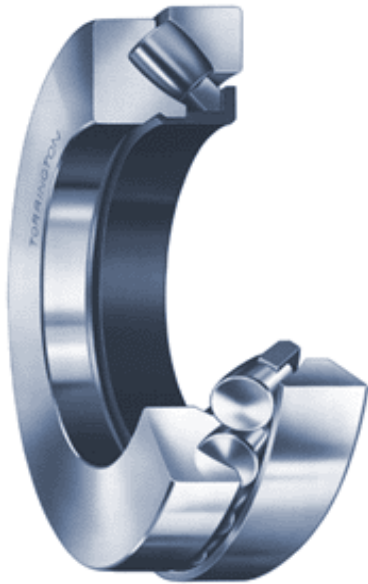


Rolos cônicos – permitem grandes cargas axiais, são desmontáveis e normalmente utilizados aos pares. A inclinação do rolo pode ser uma restrição ao carregamento.

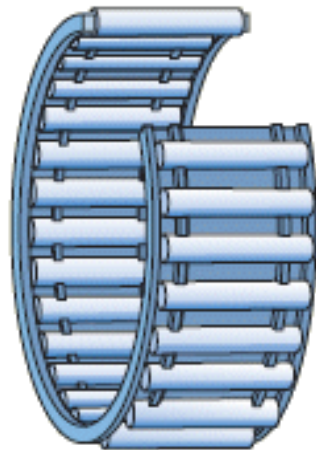
PRINCIPAIS TIPOS



Axiais de esferas de escora simples – não suportam cargas radiais, não suportam altas rotações e exigem um bom posicionamento do eixo.



Axial autocompesador de rolos – similares aos axiais de esferas, mas com cargas axiais num único sentido.



Agulhas – para restrições de dimensões no sentido radial, cargas bruscas e baixas rotações.

ALGUNS FABRICANTES DE ROLAMENTOS



FAG **TIMKEN** **NSK**



MBS

NTN



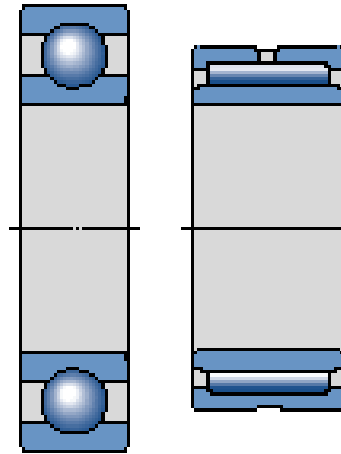
BGL



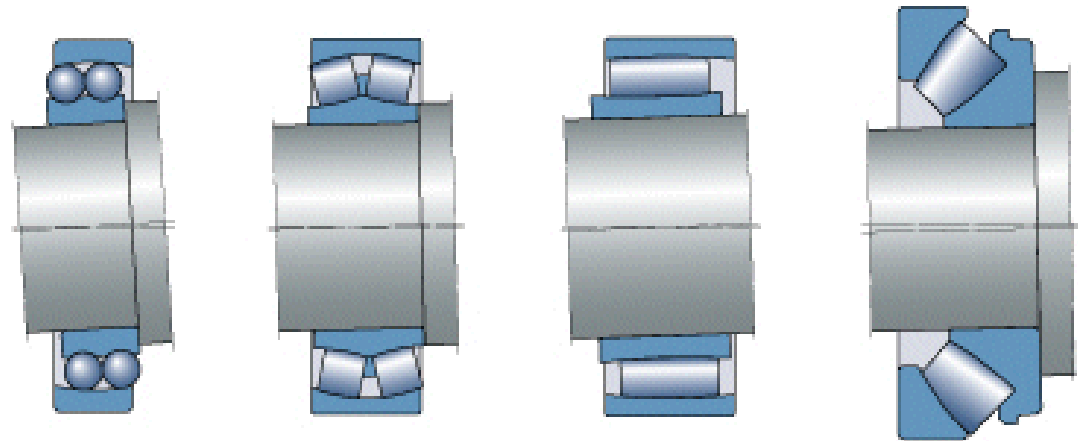
Koyo **NACHI**

SELEÇÃO DO TIPO

- Espaço disponível



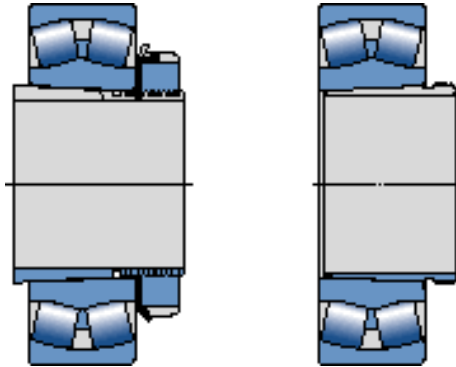
- Desalinhamento
do eixo



- Velocidade - f(temperatura funcionamento)

SELEÇÃO DO TIPO



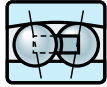


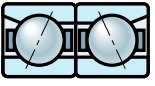
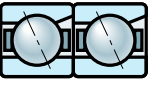

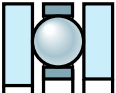
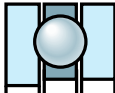


- Montagem e desmontagem



- Blindagem



CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS RELATIVAS

Bearing Type	Examples	Approximate maximum diameter, mm	Radial capacity	Axial capacity	Combined load	Moment load	Speed	Stiffness	Quiet running	Misalignment compensation	Allowable axial displacement	Typical Applications
Radial Ball												
Deep groove	  Conrad Filling notch	1000	2	2	2	1	2	2	4	1	0	Textiles, power tools, pumps, gearboxes
Self-aligning	  Internal External	120	2	1	1	0	4	1	3	4	0	Fans, paper making machinery
Angular contact	 Single row	320	2	2	3	1	3	2	3	1	0	Pumps, compressors, centrifuges
Duplex	  Back-to-back Tandem	320	3	2	3	2	2	3	2	0	0	Pumps, compressors, centrifuges
Two-directional	 Split-ring	110	1	3	2	2	3	2	2	0	0	Compressors
Thrust Ball	  Flat race Grooved race	1000	0	2	0	0	1	2	1	1	0	Plastic extruder tools, crane hooks
Cylindrical Roller	  Separable inner ring Separable outer ring	500	3	0	0	0	3	3	3	1	4	Traction motors, electric motors, gearboxes

0: Unsuitable, 1: Poor, 2: Fair, 3: Good, 4: Excellent.

^a Dual-row only, otherwise 0.

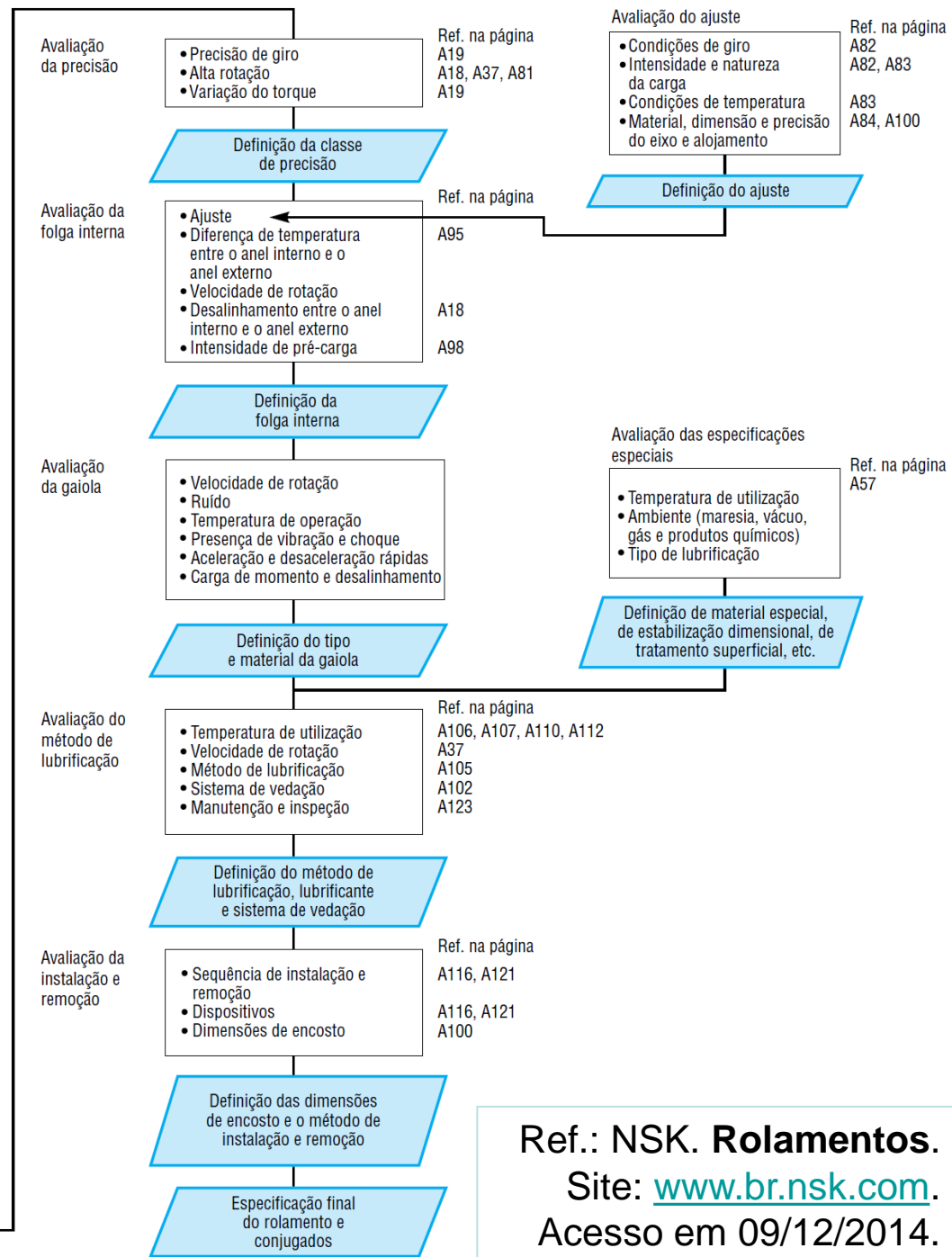
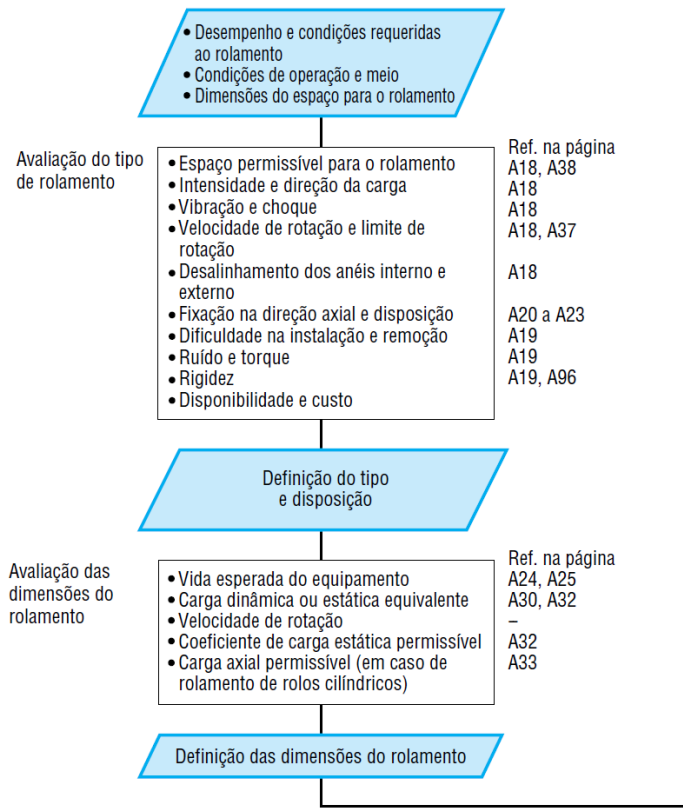
CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS RELATIVAS

Tipos de Rolamentos		Fixos de Uma Carreira de Esferas	Magneto	Uma Carreira de Esferas de Contato Angular	Duas Carreiras de Esferas de Contato Angular	Combinados	Esferas de Quatro Pontos de Contato	Autocompensadores de Esferas	Rolos Cilíndricos	Duas Carreiras de Rolos Cilíndricos	Rolos Cilíndricos com Rebordo em um Lado	Rolos Cilíndricos com Anel de Encosto	Rolos Agulha	Rolos Cônicos	Duas e Múltiplas Carreiras de Rolos Cônicos	Autocompensadores de Rolos	Axiais de Esferas	Axiais de Esferas com Contraplaca Esférica	Duas Carreiras de Esferas de Contato Angular	Axiais de Rolos Cilíndricos	Axiais de Rolos Cônicos	Axiais Autocompensadores de Rolos	Referência na Página		
Capacidade de Carga	Carga Radial																							—	
	Carga Axial																							—	
	Carga Combinada																							—	
Alta Velocidade																								A18 A37	
Alta Precisão																								A19 A58 A81	
Baixo Torque e Ruído																								A19	
Rigidez																								A19 A96	
Desalinhamento Permissível																								A18 No Preambulo de Cada Tipo	
Ação de Compensação																								A18	
Separação dos Anéis																								A19 A20	
Rolamento Lado Fixo																								A20 A21	
Rolamento Lado Livre																								A20 a A27	
Furo Cônico																								A80 A118 A122	
Observação			Usa-se duas peças contrapostas	Ângulo de contato de 15°, 25° ou 40°. Duas peças contrapostas, a folga deve ser ajustada.		Além desta, existem 35 combinações DF e DT, mas não permitem o uso no lado livre.	O ângulo de contato é de 35°		Inclui o tipo N	Inclui o tipo NNU	Inclui o tipo NF	Inclui o tipo NUP			Usa-se duas peças contrapostas, a folga deve ser ajustada.	Além desta, existem os tipos KH e KV, mas igualmente não permitem o uso no lado livre.									
Referência na Página		B5 B31	B5 B28	B47	B47 B70	B47	B47 B72	B77	B85	B85 B110	B85	B85	—	B115	B115 B176 B299	B183	B207	B207	B235	B207 B224	—	B207 B228			

Muito Bom
 Bom
 Regular
 Precário
 Inviável
 Somente em um sentido
 Dois sentidos

☆ Aplicável
 ★ Aplicável, porém deve permitir a dilatação ou contração do eixo na superfície de ajuste do rolamento

PROCESSO DE SELEÇÃO DE UM MANCAL DE ROLAMENTO



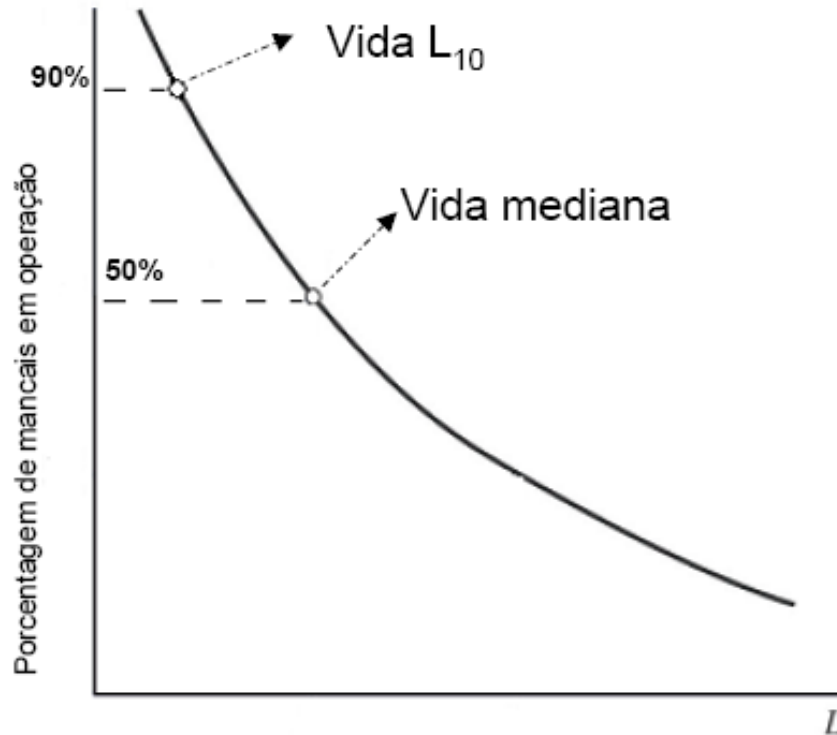
Ref.: NSK. Rolamentos.
 Site: www.br.nsk.com.
 Acesso em 09/12/2014.

FALHAS

- se houver lubrificante em quantidade e qualidade adequada, a falha ocorrerá apenas por **fadiga superficial**;
- **ruído e vibração** darão indícios do início da falha;
- as falhas seguirão a distribuição de Weibull;

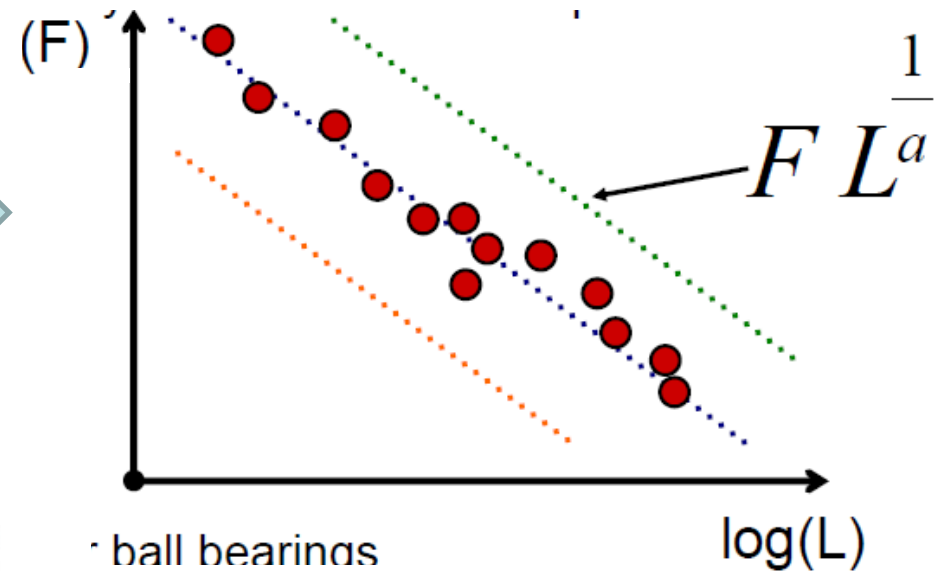
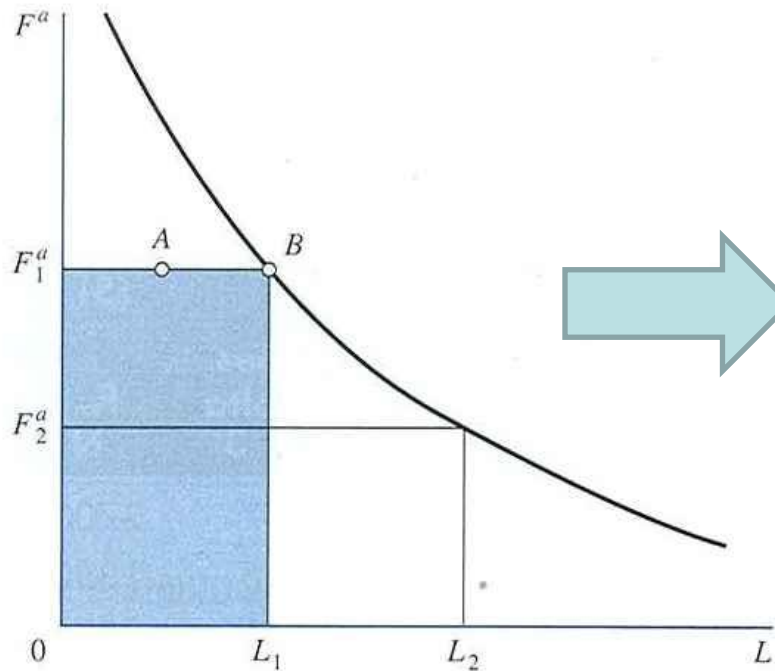


VIDA DO MANCAL



Vida do mancal = número total de revoluções (ou horas de funcionamento) em operação (carga constante) até que o critério de falha seja desenvolvido.

CARGA E VIDA



$$\frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{F_2}{F_1} \right)^a$$

$a = 3$ – para mancais de esferas
 $a = 10/3$ – para mancais de rolos

$$F.L^{1/a} = \text{cte.}$$

CAPACIDADE DE CARGA DINÂMICA

Capacidade de Carga Dinâmica (C_{10}) - valor que expressa a carga (do fabricante) que permitirá ao rolamento atingir 1 milhão de revoluções (ISO 281/I-1977).

$$C_{10}(L_{10})^{1/a} = F(L)^{1/a}$$

$$C_{10} = F \cdot \left(\frac{L}{L_{10}} \right)^{1/a}$$

CAPACIDADE DE CARGA DINÂMICA

$$C_{10} = F \cdot \left(\frac{L}{L_{10}} \right)^{1/a}$$

$$L = 60 \cdot n \cdot Lh$$

F = carga radial no rolamento

L = vida esperada (em revoluções)

n = rotação do eixo (rpm)

Lh = vida esperada (em horas)

$$C_{10} = F \cdot \left(\frac{60 \cdot n \cdot Lh}{60 \cdot n_{10} \cdot Lh_{10}} \right)^{1/a} = F \cdot \left(\frac{60 \cdot n \cdot Lh}{10^6} \right)^{1/a}$$

EXEMPLO 11-1

Considere a SKF que classifica seus mancais a 1 milhão de revoluções, de modo que a vida L_{10} é $L_R n_R = 10^6$ revoluções. O produto $L_R n_R 60$ produz um número similar. Timken, por exemplo, utiliza $90(10^6)$ revoluções. Se você desejar uma vida de 500 h a 1 725 rev/min com uma carga de 2 kN com confiabilidade de 90%, qual classificação procuraria no catálogo da SKF?

Solução

Da Equação (11-3),

$$C_{10} = F_D \left(\frac{L_D n_D 60}{L_R n_R 60} \right)^{1/a} = 2 \left[\frac{500 (1\,725) 60}{10^6} \right]^{1/3} = 7,45 \text{ kN}$$

Se um fabricante de mancal classificar mancais a 500 h sob $33\frac{1}{3}$ rev/min com confiabilidade de 0,90, então $L_R n_R 60 = 500(33\frac{1}{3})60 = 10^6$ revoluções. A tendência é substituir 10^6 no lugar de $L_R n_R 60$ na Equação (11-3). Embora seja verdade que os termos 60 na Equação (11-3), como mostrado, cancelem-se algebricamente, vale a pena mantê-los, porque, em algum ponto na sequência de teclas da sua calculadora de mão, o número mágico do fabricante (10^6 ou algum outro número) aparecerá para lembrá-lo da base de classificação e daqueles catálogos de fabricante aos quais você está limitado. Evidentemente, se você avaliar a quantidade entre colchetes na Equação (11-3) alternando entre entradas de numerador e denominador, o número mágico não aparecerá e você terá perdido uma oportunidade de verificação.

CARGAS COMBINADAS

$$P = X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

P – carga equivalente

V – fator de rotação

$V = 1$ – anel interno rotativo

$V = 1,2$ – anel externo rotativo

X, Y – fatores radial e axial, respectivamente.

Dependem da geometria do rolamento e indicam a habilidade do mancal acomodar cargas radiais e axiais

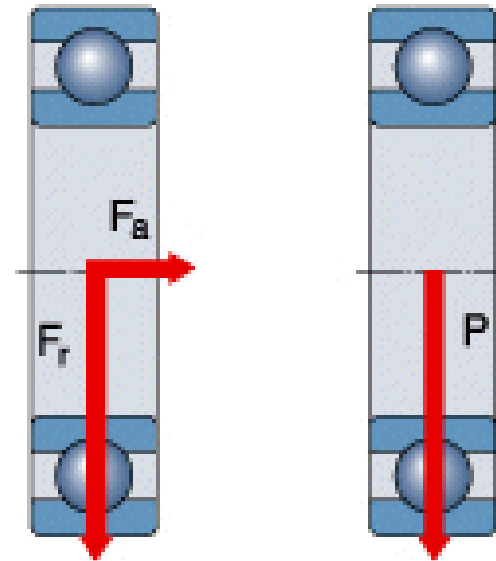
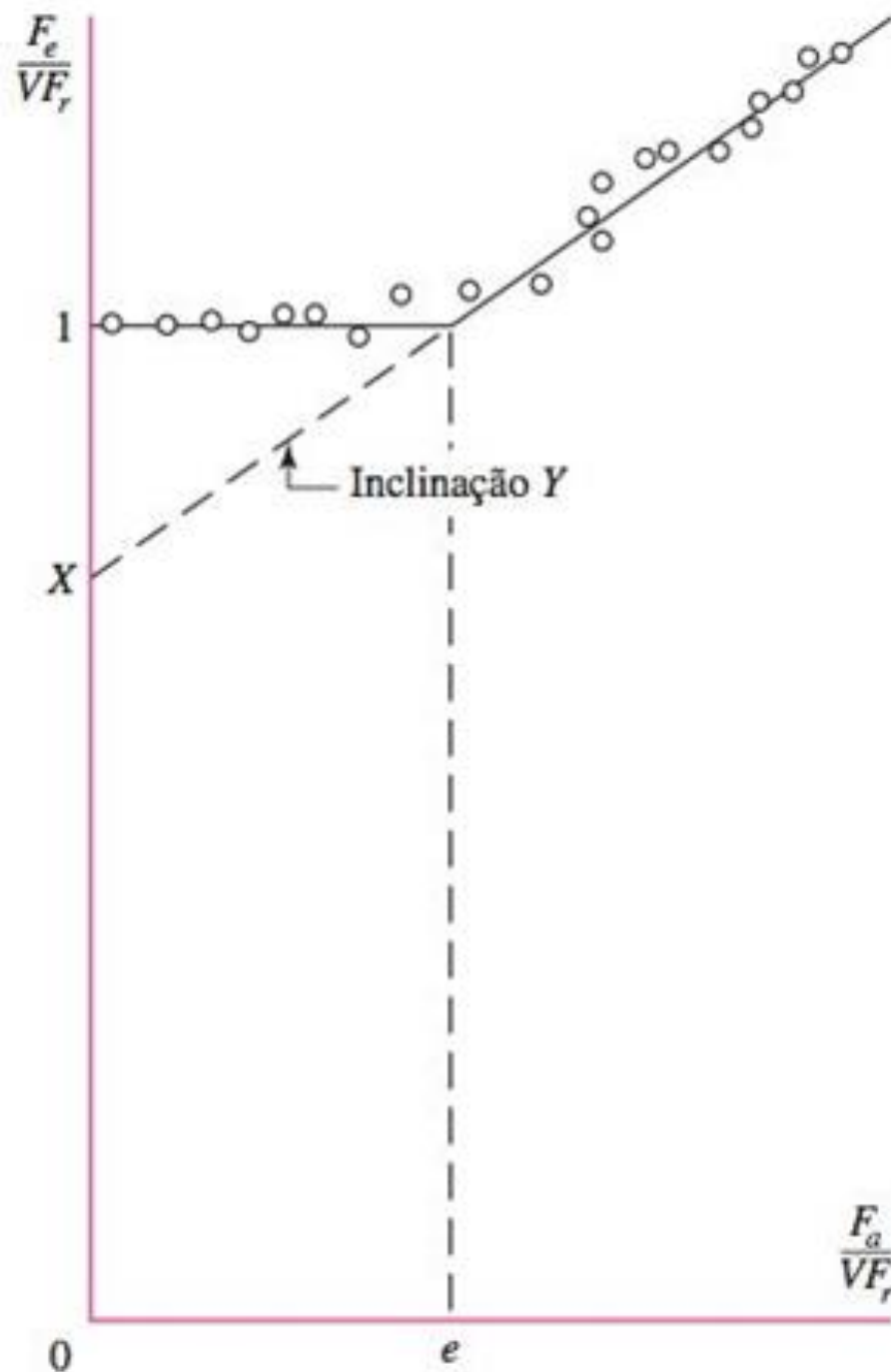


Figura 11-6

Relação dos grupos adimensionais $F_e/(VF_r)$ e $F_a/(VF_r)$ e os segmentos de linha reta representando os dados.



CARGAS COMBINADAS

Tabela 11-1

Fatores de carga equivalente radial para mancais de esferas.

F_a/C_0	e	$F_a/(VF_r) \leq e$		$F_a/(VF_r) > e$	
		X_1	Y_1	X_2	Y_2
0,014*	0,19	1,00	0	0,56	2,30
0,021	0,21	1,00	0	0,56	2,15
0,028	0,22	1,00	0	0,56	1,99
0,042	0,24	1,00	0	0,56	1,85
0,056	0,26	1,00	0	0,56	1,71
0,070	0,27	1,00	0	0,56	1,63
0,084	0,28	1,00	0	0,56	1,55
0,110	0,30	1,00	0	0,56	1,45
0,17	0,34	1,00	0	0,56	1,31
0,28	0,38	1,00	0	0,56	1,15
0,42	0,42	1,00	0	0,56	1,04
0,56	0,44	1,00	0	0,56	1,00

* Use 0,014 se $F_a/C_0 < 0,014$.

CAPACIDADE DE CARGA ESTÁTICA

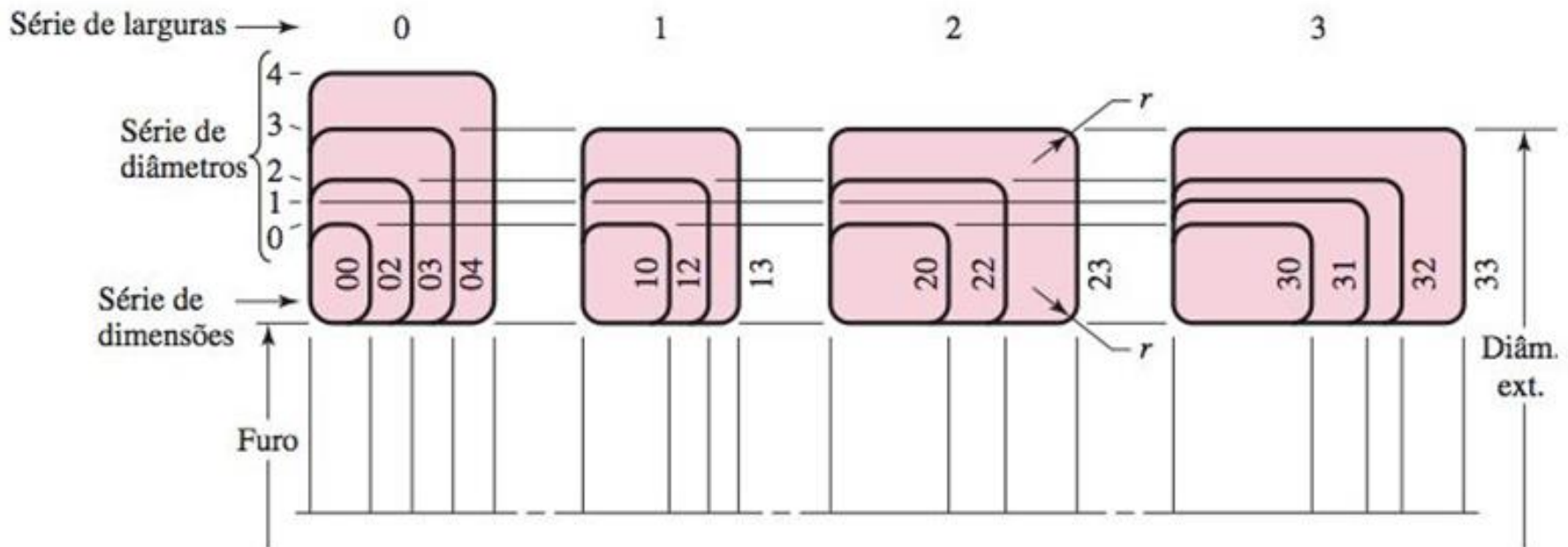
Capacidade de Carga Estática (C_0) - valor que expressa a carga que causará uma deformação permanente total do corpo rolante e das pistas, correspondente a 0,0001 do diâmetro do corpo rolante.

SÉRIES DE DIMENSÕES

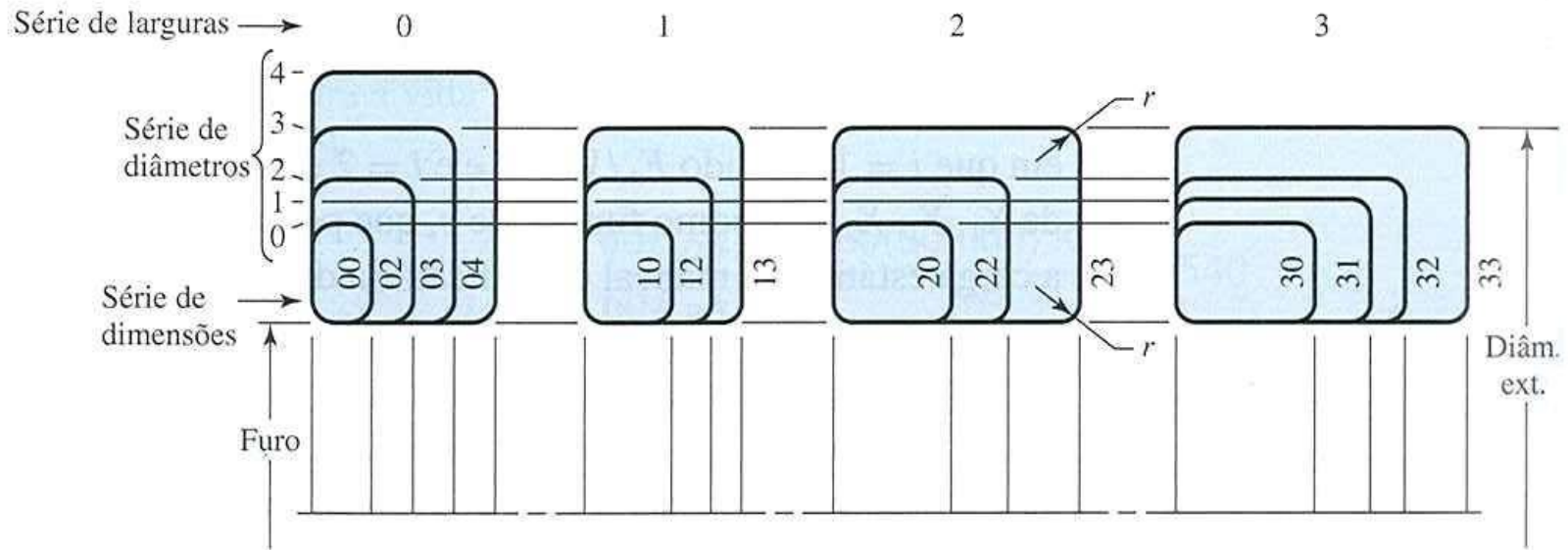
Figura 11-7

O plano básico ABMA para dimensões de contorno. Estas se aplicam a mancais de esferas, mancais de rolos retos e de rolos esféricos, mas não a mancais de esferas de série em polegadas ou

de rolos cônicos. O contorno do canto não é especificado. Pode ser arredondado ou chanfrado, porém deve ser pequeno o suficiente para deixar passar o raio de filete especificado nos padrões.



DIMENSÕES PADRONIZADAS



Dimensões padronizadas: diâmetro interno, largura, diâmetro externo e tamanho dos filetes nos ressaltos (eixo e encaixe).

YY-XXXXX-WWW

CODIFICAÇÃO

YY-**X**XXXX**X**-WWW

YY – prefixos (letras) – designação complementar dada a um rolamento. Ex. L = anel interno ou externo removível.

Primeiro dígito = tipo do rolamento.

Segundo dígito = série de larguras – 0,1,2,3,4,5 e 6

Terceiro dígito = série de diâmetros externo – 8,9,0,1,2,3 e 4
49 combinações de largura para cada diâmetro de eixo!!

Dois últimos dígitos = $1/5$ do diâmetro do furo (há exceções).

WWW – sufixos (letras) – designação complementar dada a um rolamento.

Ex. F – gaiola usinada em aço ou F.F.,

Z – rolamento blindado em um dos lados.

CODIFICAÇÃO



Tabela 11-2

Dimensões e cargas nominais de mancais de esferas de sulco profundo da série O2 com carreira única e mancais de contato angular.

Orifício, mm	Diâmetro externo, mm	Largura, mm	Raio de filete, mm	Diâmetro de encosto, mm		Capacidade de carga, kN			
				d_s	d_H	Sulco profundo		Contato angular	
						C_{10}	C_0	C_{10}	C_0
10	30	9	0,6	12,5	27	5,07	2,24	4,94	2,12
12	32	10	0,6	14,5	28	6,89	3,10	7,02	3,05
15	35	11	0,6	17,5	31	7,80	3,55	8,06	3,65
17	40	12	0,6	19,5	34	9,56	4,50	9,95	4,75
20	47	14	1,0	25	41	12,7	6,20	13,3	6,55
25	52	15	1,0	30	47	14,0	6,95	14,8	7,65
30	62	16	1,0	35	55	19,5	10,0	20,3	11,0
35	72	17	1,0	41	65	25,5	13,7	27,0	15,0
40	80	18	1,0	46	72	30,7	16,6	31,9	18,6
45	85	19	1,0	52	77	33,2	18,6	35,8	21,2
50	90	20	1,0	56	82	35,1	19,6	37,7	22,8
55	100	21	1,5	63	90	43,6	25,0	46,2	28,5
60	110	22	1,5	70	99	47,5	28,0	55,9	35,5
65	120	23	1,5	74	109	55,9	34,0	63,7	41,5
70	125	24	1,5	79	114	61,8	37,5	68,9	45,5
75	130	25	1,5	86	119	66,3	40,5	71,5	49,0
80	140	26	2,0	93	127	70,2	45,0	80,6	55,0
85	150	28	2,0	99	136	83,2	53,0	90,4	63,0
90	160	30	2,0	104	146	95,6	62,0	106	73,5
95	170	32	2,0	110	156	108	69,5	121	85,0

(Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.)

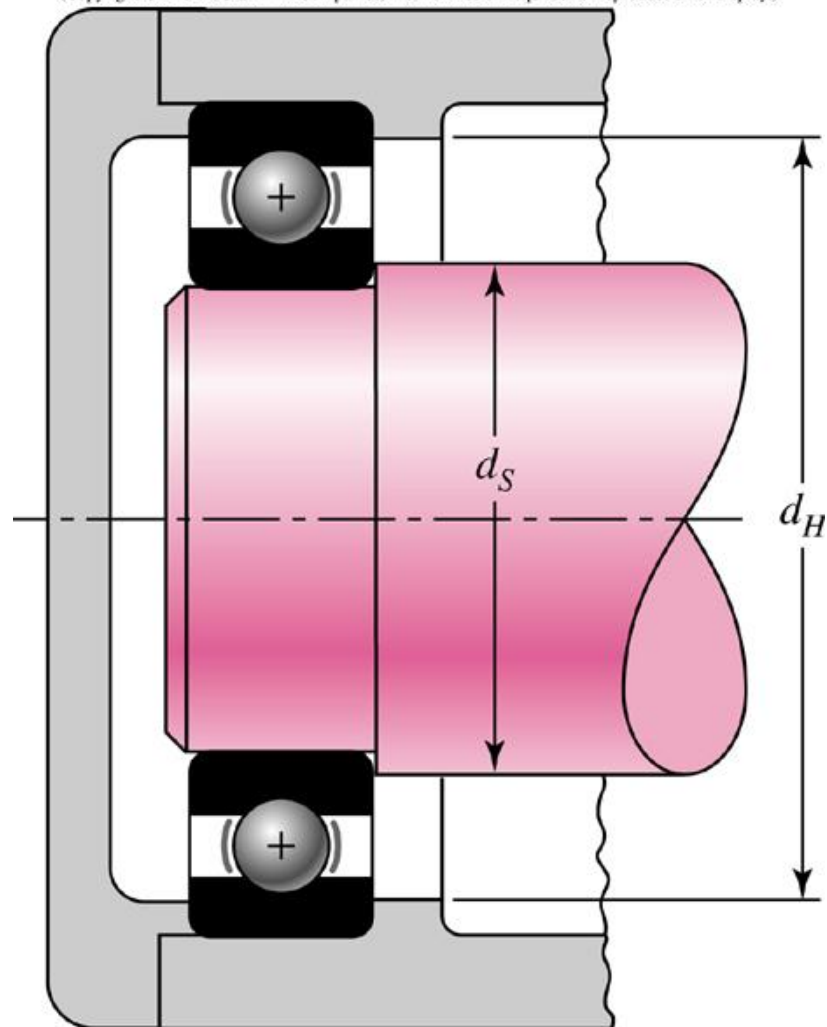


Tabela 11-3

Dimensões e capacidade básica de carga para mancais de rolos cilíndricos.

Orifício, mm	Diâmetro externo, mm	Série 02			Série 03			
		Largura, mm	Capacidade de carga, kN		Largura, mm	Capacidade de carga, kN		
			C ₁₀	C ₀		C ₁₀	C ₀	
25	52	15	16,8	8,8	62	17	28,6	15,0
30	62	16	22,4	12,0	72	19	36,9	20,0
35	72	17	31,9	17,6	80	21	44,6	27,1
40	80	18	41,8	24,0	90	23	56,1	32,5
45	85	19	44,0	25,5	100	25	72,1	45,4
50	90	20	45,7	27,5	110	27	88,0	52,0
55	100	21	56,1	34,0	120	29	102	67,2
60	110	22	64,4	43,1	130	31	123	76,5
65	120	23	76,5	51,2	140	33	138	85,0
70	125	24	79,2	51,2	150	35	151	102
75	130	25	93,1	63,2	160	37	183	125
80	140	26	106	69,4	170	39	190	125
85	150	28	119	78,3	180	41	212	149
90	160	30	142	100	190	43	242	160
95	170	32	165	112	200	45	264	189
100	180	34	183	125	215	47	303	220
110	200	38	229	167	240	50	391	304
120	215	40	260	183	260	55	457	340
130	230	40	270	193	280	58	539	408
140	250	42	319	240	300	62	682	454
150	270	45	446	260	320	65	781	502

Tabela 11-4

Recomendações acerca da vida de mancais para várias classes de maquinaria.

Tipo de aplicação	Vida, kh
Instrumentos e aparatos de uso não frequente	Até 0,5
Motores de aeronaves	0,5-2
Máquinas para operação curta, ou intermitente, em que a interrupção do serviço é de importância menor	4-8
Máquinas para serviço intermitente em que a confiabilidade de operação é de grande importância	8-14
Máquinas para serviço de 8 h que não são utilizadas de maneira plena	14-20
Máquinas para serviço de 8 h que são utilizadas de maneira plena	20-30
Máquinas para serviço contínuo de 24 h	50-60
Máquinas para serviço de 24 h em que a confiabilidade é de importância extrema	100-200

Tabela 11-5

Fatores de aplicação de carga.

Tipo de aplicação	Fator de carga
Engrenagens de precisão	1,0-1,1
Engrenagens comerciais	1,1-1,3
Aplicações com vedação de mancais pobre	1,2
Maquinaria sem impacto	1,0-1,2
Maquinaria com impacto leve	1,2-1,5
Maquinaria com impacto moderado	1,5-3,0



EXEMPLO 11-4

Um mancal de esferas de contato angular SKF 6210 possui uma carga axial F_a de 1 780 N e uma carga radial F_r de 2 225 N, aplicada com o anel externo parado. A carga básica estática de classificação C_0 é de 19 800 N e a carga básica de classificação C_{10} vale 35 150 N. Estime a vida L_{10} a uma velocidade de 720 rev/min.

Solução

$V = 1$ e $F_a/C_0 = 1\,780/19\,800 = 0,090$. Interpole para e na Tabela 11-1:

F_a/C_0	e
0,084	0,28
0,090	e em que $e = 0,285$
0,110	0,30

$F_a/(VF_r) = 1\,780/[(1)2\,225] = 0,8 > 0,285$. Assim, interpole para Y_2 :

F_a/C_0	Y_2
0,084	1,55
0,090	Y_2 em que $Y_2 = 1,527$
0,110	1,45

Da Equação (11-9),

$$F_e = X_2VF_r + Y_2Fa = 0,56(1)2\,225 + 1,527(1\,780) = 3\,964 \text{ N}$$

Com $L_D = L_{10}$ e $F_D = F_e$, resolvendo a Equação (11-3) para L_{10} resulta

Resposta

$$L_{10} = \frac{60L_R n_R}{60n_D} \left(\frac{C_{10}}{F_e} \right)^a = \frac{10^6}{60(720)} \left(\frac{35\,150}{3\,964} \right)^3 = 16\,139,5 \text{ h}$$

Figura 11-20

Uma montagem comum de mancal.

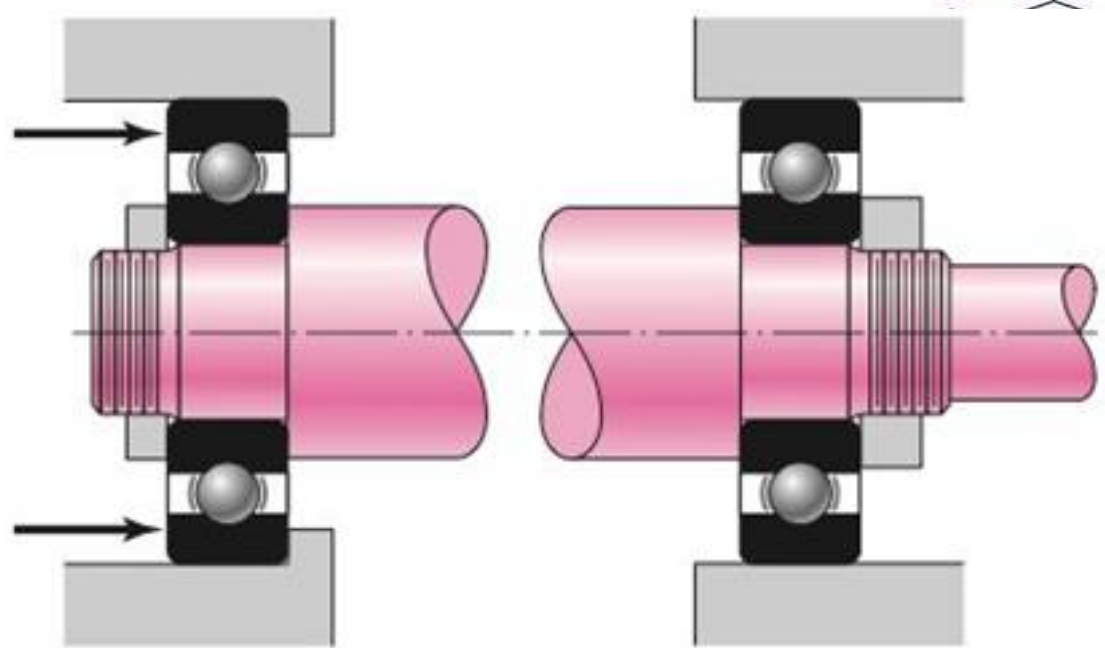


Figura 11-21

Uma montagem de mancal alternativa àquela da Figura 11-20.

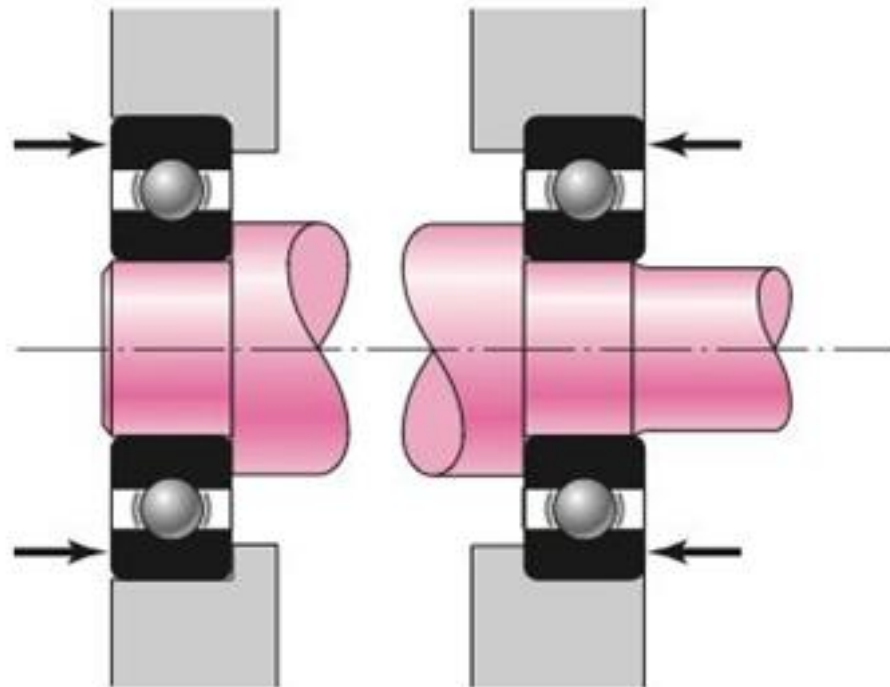
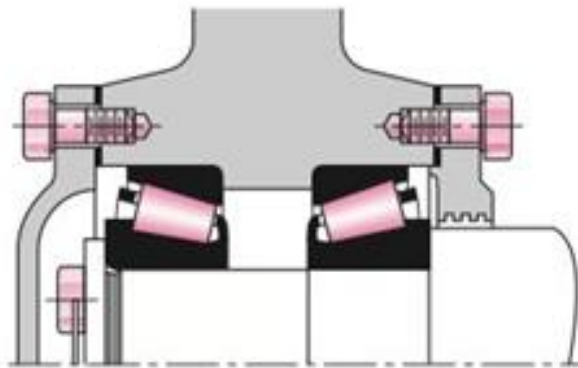
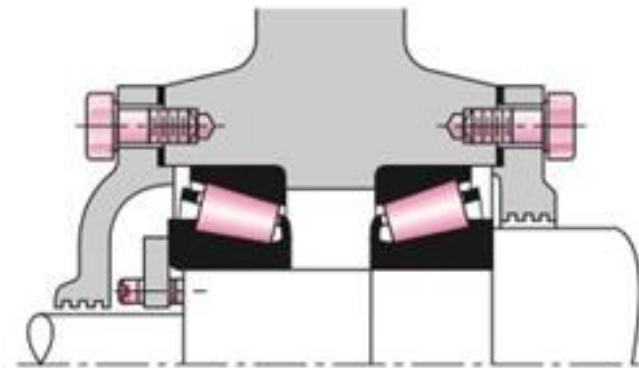


Figura 11-22

Montagem de dois mancais.
(Cortesia da The Timken Company.)



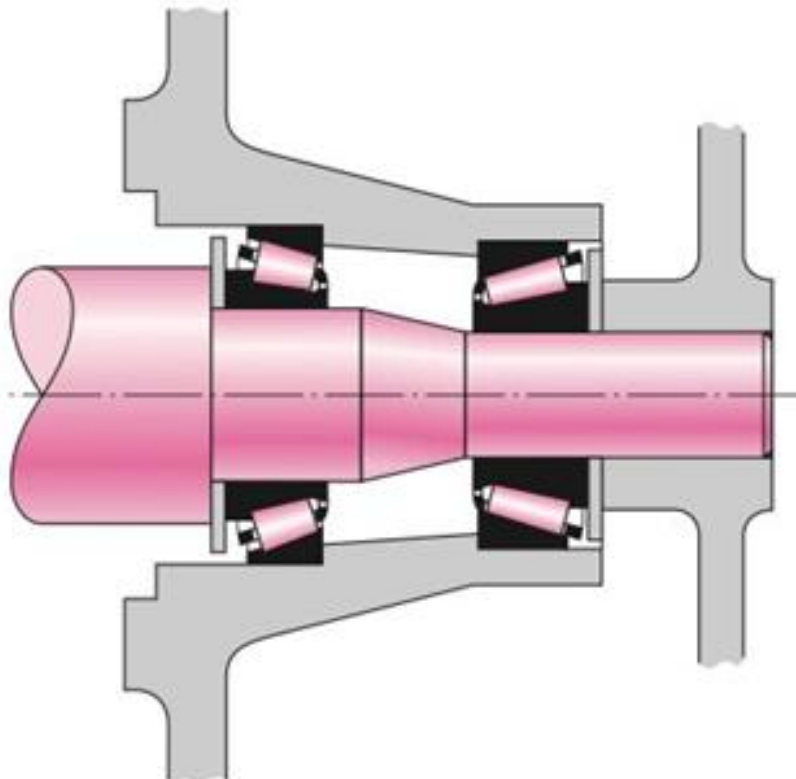
(a)



(b)

Figura 11-23

Montagem para um rotor de máquina de lavar.
(Cortesia da The Timken Company.)



Montagem

Figura 11-24

Arranjos de mancais de esferas de contato angular.
(a) Montagem DF;
(b) montagem DB;
(c) montagem DT.
(Cortesia da The Timken Company.)

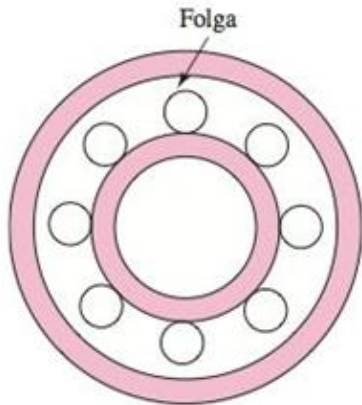
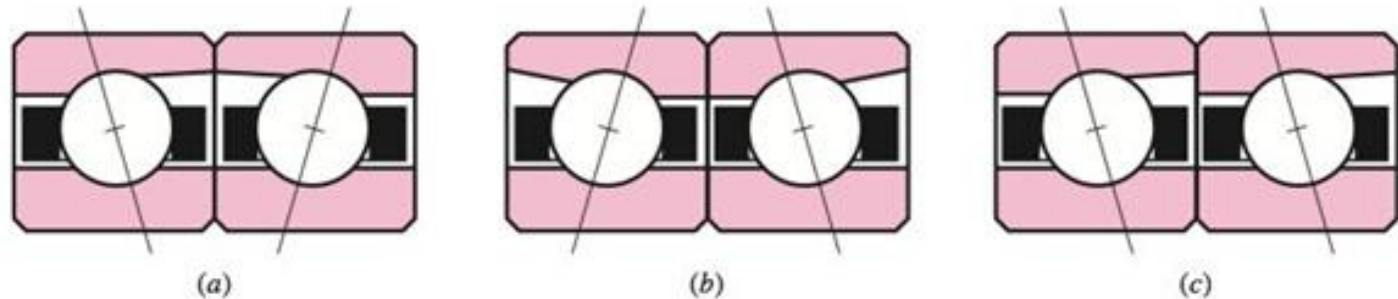


Figura 11-25

Folga de um mancal saído da prateleira; imagem exagerada por motivo de clareza.

Pré-carregamento

O objetivo do pré-carregamento é remover a folga interna, em geral encontrada em mancais, a fim de aumentar a vida de fadiga e diminuir a inclinação do eixo no mancal. A Figura 11-25 mostra um mancal típico no qual a folga foi exagerada por motivo de clareza.

Pré-carregamento de mancais de rolos retos pode ser obtido por:

- 1 Montagem do mancal num eixo cônico ou por uso de uma luva para expandir o anel interno.
- 2 Uso de um ajuste de interferência para o anel externo.
- 3 Compra de um mancal com o anel externo pré-encolhido sobre os rolos.

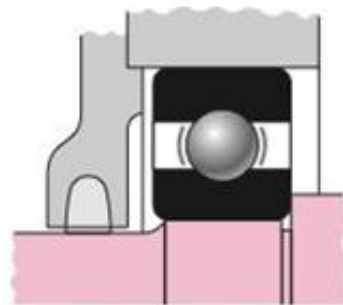
Mancais de esferas são geralmente pré-carregados pela carga axial gerada durante a montagem. Porém, os mancais da Figura 11-24a e b são pré-carregados na montagem por causa das diferenças de largura entre os anéis interno e externo.

É aconselhável seguir as recomendações do fabricante ao determinar a pré-carga, uma vez que o excesso levará a uma falha prematura.

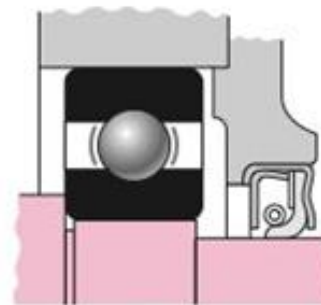
Montagem

Figura 11-26

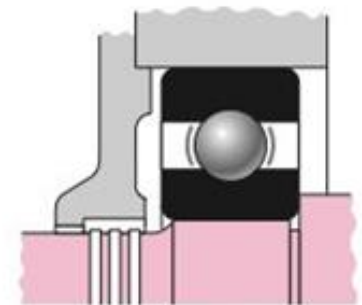
Métodos de vedação típicos.
(General Motors Corp.
Reproduzida com permissão,
GM Media Archives.)



(a) Vedação de feltro



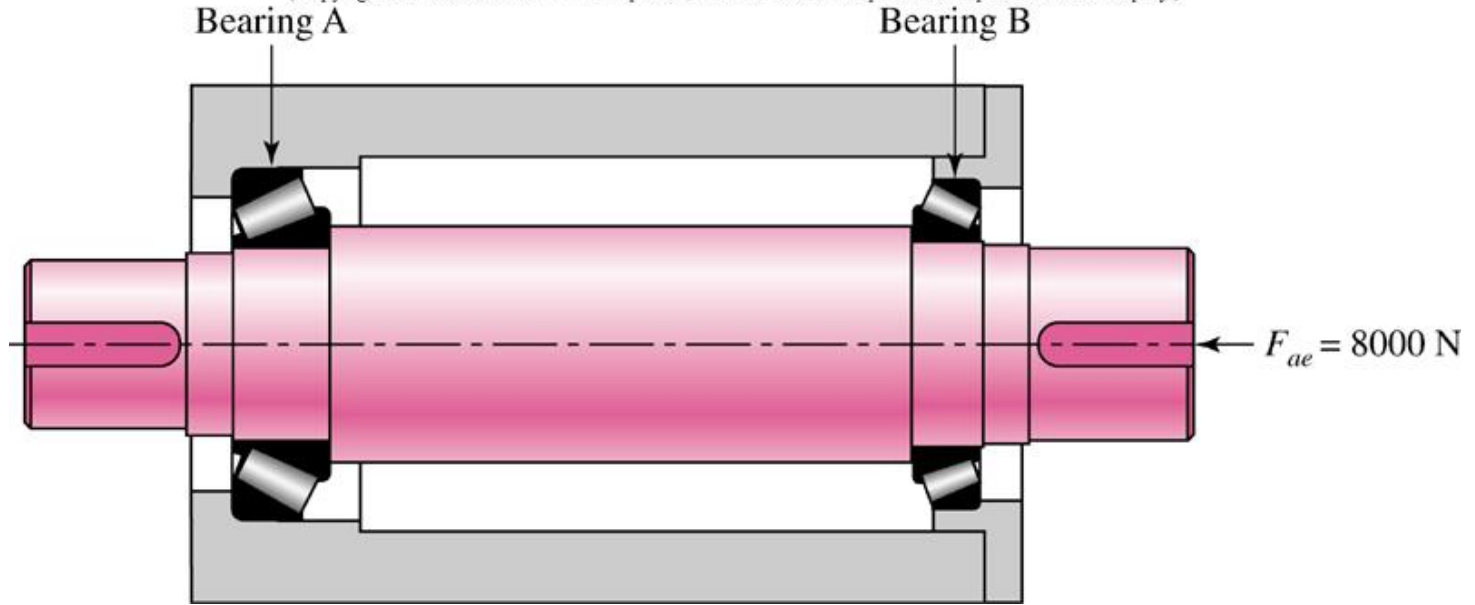
(b) Vedação comercial



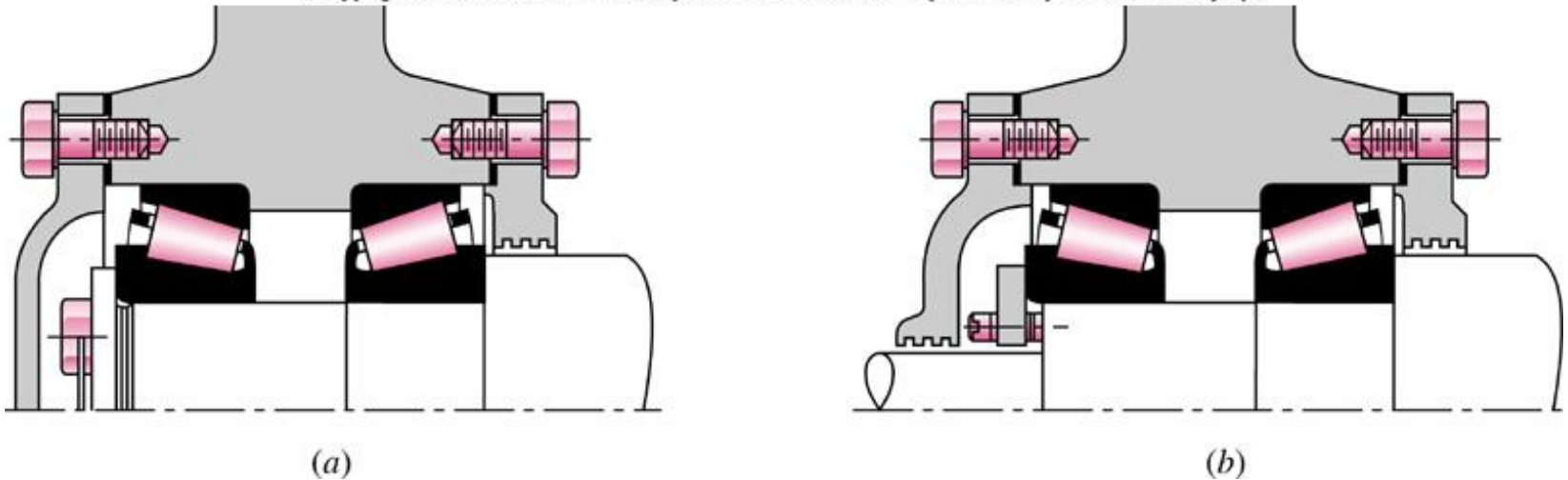
(c) Vedação de labirinto

Montagem

(Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.)



(Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.)



EXEMPLO 11-7

O segundo eixo de um conjunto redutor de velocidade de um guindaste de fundição de 18,7 kW contém uma engrenagem helicoidal com um diâmetro primitivo de 205 mm. Engrenagens helicoidais transmitem componentes de força nas direções tangencial, radial e axial (ver Capítulo 13). Na Figura 11-12, as componentes da força de engrenamento transmitidas ao segundo eixo também são mostradas no ponto *A*. Também são mostradas as reações de mancal em *C* e *D*, assumindo apoios simples. Um mancal de esferas deve ser selecionado para a localidade *C* de modo a aceitar o empuxo, e um mancal cilíndrico de rolos deve ser utilizado na localidade *D*. A meta de vida do redutor de velocidade é 10 kh, com um fator de confiabilidade para a montagem de todos os quatro mancais (ambos eixos) igual ou superior a 0,96 para os parâmetros de Weibull do Exemplo 11-3. O fator de aplicação deve ser de 1,2.

- Selecione o mancal de rolos para a localidade *D*.
- Selecione o mancal de esferas (contato angular) para a localidade *C*, considerando que o anel interno rode.

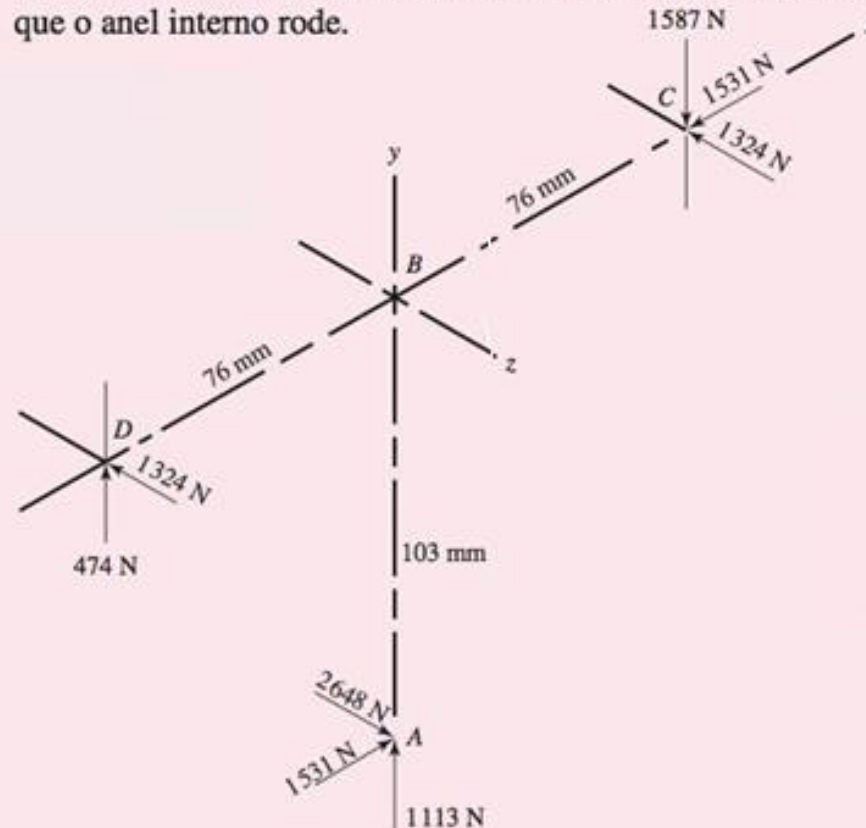


Figura 11-12

Forças em libras aplicadas ao segundo eixo do redutor de velocidade de engrenagem helicoidal do Exemplo 11-7.

Solução

O torque transmitido é $T = 2,648(0,103) = 0,2727 \text{ kN} \cdot \text{m}$. A velocidade na potência de classificação, nominal, dada pela Equação (3-41) é

$$n_D = \frac{9,55H}{T} = \frac{9,55(18,7)}{0,2727} = 655,4 \text{ rev/min}$$

A carga radial em D é $(1324^2 + 474^2)^{0,5} = 1406 \text{ N}$, e a carga radial em C é $(1587^2 + 1324^2)^{0,5} = 2067 \text{ N}$. As confiabilidades individuais dos mancais, se idênticas, devem ser de pelo menos $\sqrt[4]{0,96} = 0,98985 = 0,99$. A vida adimensional de desenho para ambos os mancais é

$$x_D = \frac{L}{L_{10}} = \frac{60L_D n_D}{60L_R n_R} = \frac{60(10\,000)655}{10^6} = 393$$

(a) Da Equação (11-7), dos parâmetros de Weibull do Exemplo 11-3, do fator de aplicação de 1,2 e $a = 10/3$ para o mancal de rolos em D , a potência nominal de catálogo deve ser igual a ou maior que

$$\begin{aligned} C_{10} &= a_f F_D \left[\frac{x_D}{x_0 + (\theta - x_0)(1 - R_D)^{1/b}} \right]^{1/a} \\ &= 1,2(1406) \left[\frac{393}{0,02 + 4,439(1 - 0,99)^{1/1,483}} \right]^{3/10} = 16,0 \text{ kN} \end{aligned}$$

Resposta

A ausência de uma componente axial torna o procedimento de seleção simples. Escolha um mancal cilíndrico de rolos série 02-25 mm, ou 03-25 mm, da Tabela 11-3.

(b) O mancal de esferas em C envolve uma componente de empuxo. Este procedimento de seleção requer um procedimento iterativo. Assumindo $F_a/(VF_r) > e$,

- 1 Escolha Y_2 da Tabela 11-1.
- 2 Encontre C_{10} .
- 3 Como tentativa, identifique um mancal adequado na Tabela 11-2, anote C_0 .
- 4 Utilizando F_a/C_0 , entre na Tabela 11-1 para obter um novo valor de Y_2 .
- 5 Encontre C_{10} .
- 6 Se o mesmo mancal for obtido, pare.
- 7 Do contrário, tome o próximo mancal e volte ao passo 4.

Como uma primeira aproximação, tome a entrada intermediária da Tabela 11-1:

$$X_2 = 0,56 \quad Y_2 = 1,63$$

Da Equação (11-8b), com $V = 1$,

$$\frac{F_e}{VF_r} = X + \frac{Y}{V} \frac{F_a}{F_r} = 0,56 + 1,63 \frac{1531}{(1)2067} = 1,77$$

$$F_e = 1,77VF_r = 1,77(1)2067 = 3,66 \text{ kN}$$

Da Equação (11-7), com $a = 3$,

$$C_{10} = 1,2(3,66) \left[\frac{393}{0,02 + 4,439(1 - 0,99)^{1/1,483}} \right]^{1/3} = 53,4 \text{ kN}$$

Da Tabela 11–2, o mancal de contato angular 02-60 mm possui $C_{10} = 55,9$ kN. C_0 é 35,5 kN. O passo 4 se torna, com F_a em kN,

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{1,531}{35,5} = 0,0431$$

o que torna e da Tabela 11–1 aproximadamente 0,24. Agora $F_a/[VF_r] = 1531/[(1)2067] = 0,74$, que é maior que 0,24, de maneira que encontramos Y_2 por interpolação:

F_a/C_0	Y_2
0,042	1,85
0,043	Y_2
0,056	1,71

em que $Y_2 = 1,84$

Da Equação (11–8b),

$$\frac{F_e}{VF_r} = 0,56 + 1,84 \frac{1531}{2067} = 1,9$$

$$F_e = 1,92VF_r = 1,9(1)2067 = 3,93$$

O cálculo anterior para C_{10} muda apenas em F_e , assim

$$C_{10} = \frac{3,93}{3,66} 53,4 = 57,3 \text{ kN}$$

Da Tabela 11-2, um mancal de contato angular 02-65 mm possui $C_{10} = 63,7$ kN e C_0 de 41,5 kN. Novamente,

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{1,531}{41,5} = 0,0369$$

tornando e aproximadamente 0,23. A partir de então, $F_a/VF_r = 0,74$, que é maior que 0,23. Encontramos Y_2 novamente por interpolação:

F_a/C_0	Y_2
0,028	1,99
0,0369	Y_2 em que $Y_2 = 1,90$
0,042	1,85

Da Equação (11-8b),

$$\frac{F_e}{VF_r} = 0,56 + 1,90 \frac{1,531}{2067} = 1,967$$

$$F_e = 1,967 VF_r = 1,967(1)2067 = 4,065 \text{ kN}$$

O cálculo anterior para C_{10} muda apenas em F_e , portanto

$$C_{10} = \frac{4,07}{3,66} 53,4 = 59,4 \text{ kN}$$

Resposta

Da Tabela 11-2, um mancal de contato angular 02-65 mm segue selecionado, assim, a iteração está completa.

BIBLIOGRAFIA DE REFERÊNCIA

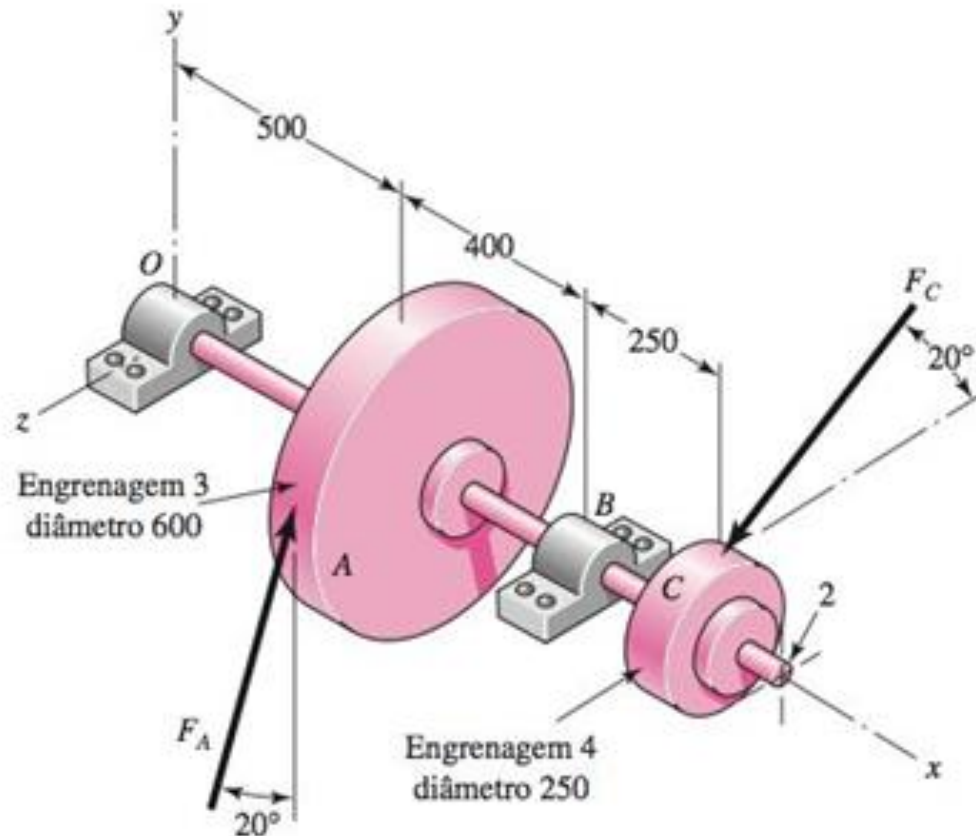
- **HAMROCK, Bernard J. – Elementos de Máquinas – McGraw-Hill;**
- **SHIGLEY, MISCHKE e BUDYNAS – Projeto de Engenharia Mecânica, editora Bookman; e**
- **site da SKF; e**
- **SHIGLEY, BUDYNAS-NISBETT – Mechanical Engineering Design, 8ª Ed. – Mc-Graw-Hill Primis.**

EXERCÍCIOS

11-10

A figura mostrada é a de um contraeixo de engrenagem com um pinhão em balanço em C . Selecione um mancal de esferas de contato angular da Tabela 11-2 para montagem em O e um mancal reto de rolos para montagem em B . A força na engrenagem A é $F_A = 2670 \text{ N}$, e o eixo deve rodar a uma velocidade de 480 rev/min . A solução do problema estático dá a força do mancal contra o eixo em O como sendo $\mathbf{R}_O = 1722\mathbf{j} + 2078\mathbf{k} \text{ N}$ e em B igual a $\mathbf{R}_B = 1406\mathbf{j} - 7187\mathbf{k} \text{ N}$. Especifique os mancais necessários, use um fator de aplicação de 1,4, uma vida desejada de 50000 h e uma meta de confiabilidade combinada de 0,90.

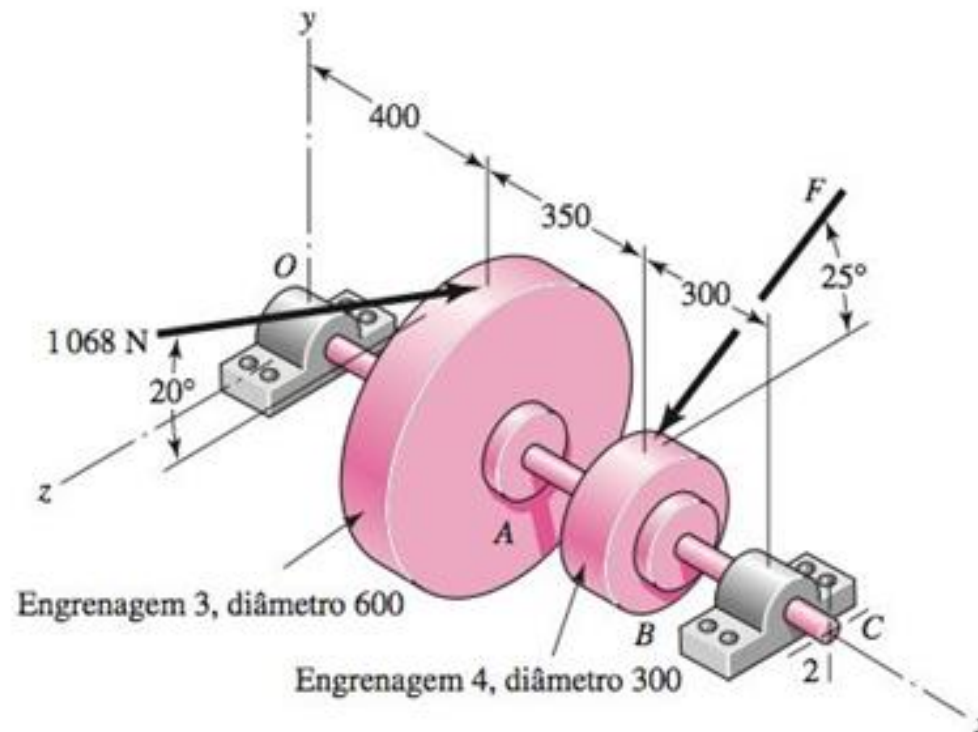
Problema 11-10
Dimensões em mm.



11-13

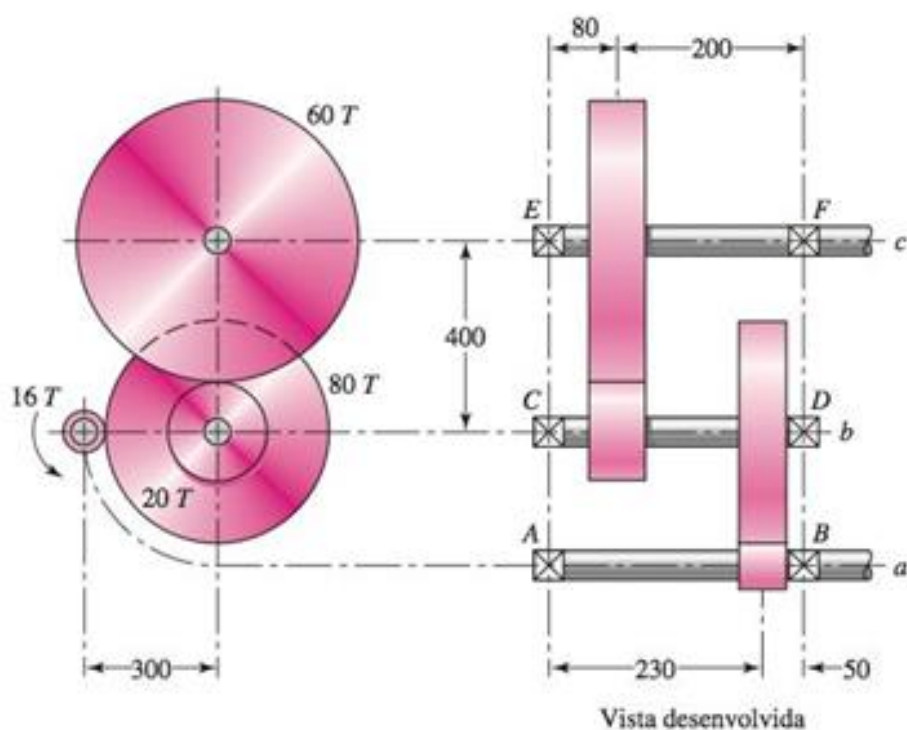
Uma unidade de redução por engrenagens utiliza o contraeixo mostrado na figura. Encontre as duas reações de mancal. Os mancais devem ser de esferas com contato angular, tendo uma vida desejada de 40 kh quando utilizados a 200 rev/min. Use 1,2 como fator de aplicação e uma meta de confiabilidade para o par de mancais de 0,95. Selecione os mancais na Tabela 11-2.

Problema 11-13
Dimensões em mm.

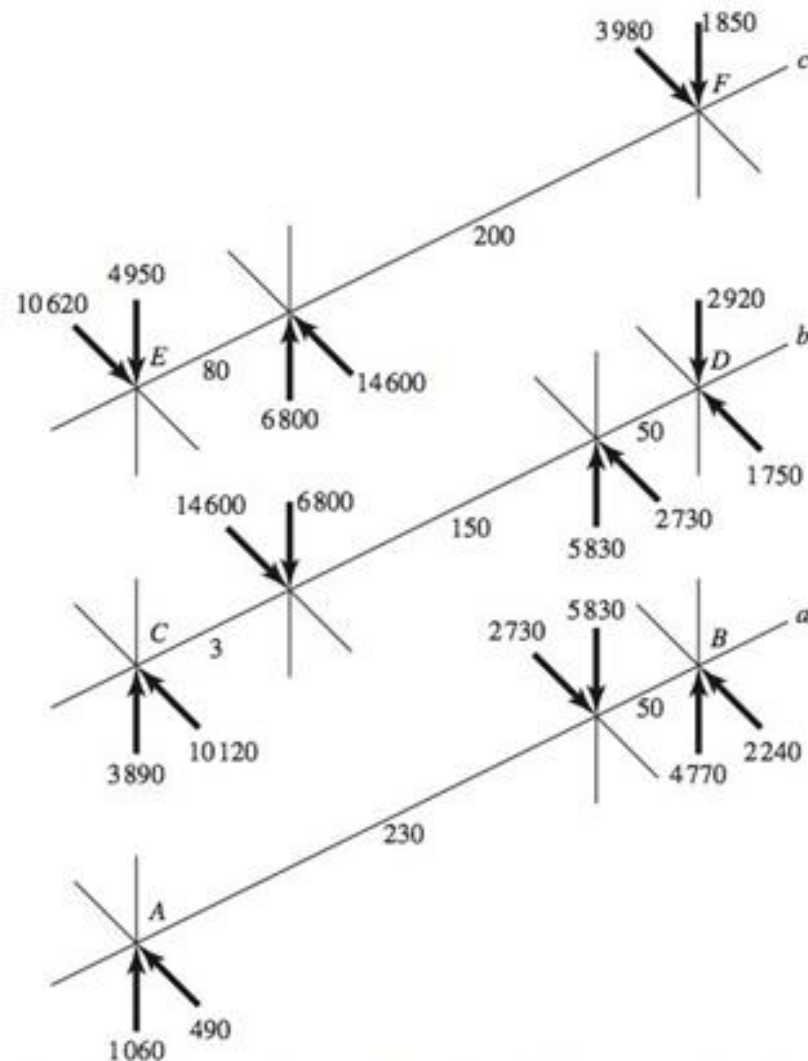


11-16

Um pinhão de 16 dentes aciona o trem de redução dupla por engrenagens de dentes retos da figura. Todas as engrenagens têm ângulos de pressão de 25° . O pinhão roda a 1200 rev/min no sentido anti-horário e transmite potência ao trem de engrenagens. O eixo ainda não foi desenhado, porém os corpos livres foram gerados. As velocidades dos eixos são de 1200 rev/min, 240 rev/min e 80 rev/min. Um estudo de mancais está se iniciando com uma vida de 10 kh e uma confiabilidade do conjunto de mancais da caixa de engrenagens de 0,99. Um fator de aplicação de 1,2 é apropriado. Especifique os seis mancais.



(a) Detalhe da transmissão;



(b) análise de forças no eixo. Forças em libras; dimensões lineares em polegadas.