

# *ELEMENTOS DE MÁQUINAS (SEM 0241)*

Notas de Aulas v.2023

## *Aula 12 – Dimensionamento de mancais de rolamentos*

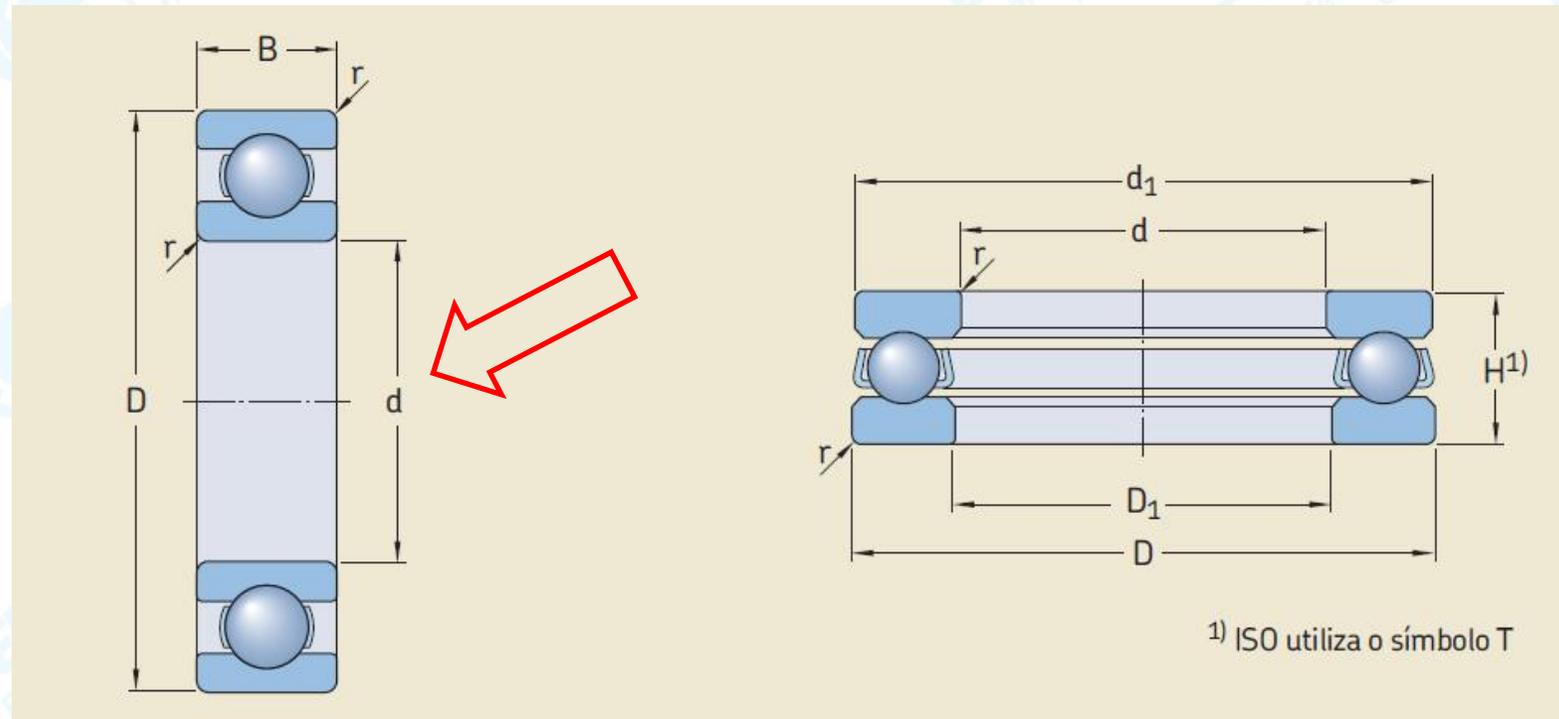
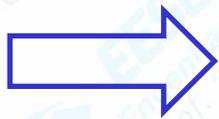
Professores: Carlos Alberto Fortulan  
Ernesto Massaroppi Junior  
Jonas de Carvalho

# 12 – Dimensionamento (seleção) de Rolamentos

O dimensionamento de rolamentos pode ser feita à partir da carga estática ou da vida requerida (dinâmica) baseando-se em valores das capacidades de carga estática  $C_0$  e dinâmica  $C$ .

A medida de partida em *Elemaq* se dá pelo diâmetro do eixo ( $d$ ).

## Dimensões Principais



Os valores de  $C_0$  e  $C$  são apresentados nas tabelas de rolamentos, individualmente.



Dimensões principais			Classificações básicas de carga		Limite de carga de fadiga $P_u$	Classificações de velocidade		Massa	Designação	Dimensões de encosto e raio				Fatores de cálculo				
d	D	B	dinâmica C	estática $C_0$		Velocidade de referência	Velocidade-limite			$d_1$	$D_1$	$D_2$	$r_{1,2}$ min.	$d_a$ min.	$D_a$ máx.	$r_a$ máx.	$k_f$	$f_0$
mm			kN		kN	r/min		kg	-	mm				-				
10	19	5	1,72	0,83	0,036	80 000	48 000	0,0053	<b>61800</b>	12,7	16,3	-	0,3	12	17	0,3	0,015	15
	22	6	2,7	1,27	0,054	70 000	45 000	0,01	<b>61900</b>	13,9	18,2	-	0,3	12	20	0,3	0,02	14
	26	8	4,75	1,96	0,083	67 000	40 000	0,019	* <b>6000</b>	14,8	21,2	22,6	0,3	12	24	0,3	0,025	12
	28	8	5,07	2,36	0,1	60 000	38 000	0,024	<b>16100</b>	17	23,2	24,8	0,3	14,2	23,8	0,3	0,025	13
	30	9	5,4	2,36	0,1	56 000	36 000	0,031	* <b>6200</b>	17	23,2	24,8	0,6	14,2	25,8	0,6	0,025	13
	35	11	8,52	3,4	0,143	50 000	32 000	0,053	* <b>6300</b>	17,5	26,9	28,7	0,6	14,2	30,8	0,6	0,03	11
50	65	7	6,76	6,8	0,285	20 000	13 000	0,052	<b>61810</b>	55,1	59,9	-	0,3	52	63	0,3	0,015	17
	72	12	14,6	11,8	0,5	19 000	12 000	0,14	<b>61910</b>	56,9	65,1	-	0,6	53,2	68,8	0,6	0,02	16
	80	10	16,8	11,4	0,56	18 000	11 000	0,18	* <b>16010</b>	60	70	-	0,6	53,2	76,8	0,6	0,02	14
	80	16	22,9	16	0,71	18 000	11 000	0,26	* <b>6010</b>	59,7	70,3	72,8	1	54,6	75,4	1	0,025	15
	90	20	37,1	23,2	0,98	15 000	10 000	0,45	* <b>6210</b>	62,5	77,4	81,7	1,1	57	83	1	0,025	14
	110	27	65	38	1,6	13 000	8 500	1,1	* <b>6310</b>	68,7	91,1	95,2	2	61	99	2	0,03	13
130	31	87,1	52	2,2	12 000	7 500	1,95	<b>6410</b>	75,4	105	-	2,1	64	116	2	0,035	12	

## 12.1 – Carga Estática em um Rolamento

Um rolamento é dimensionado pela carga  $C_0$  para quando:

- Rotações muito baixas; movimentos lentos de oscilação; estacionário sob carga durante certos períodos.
- Em rotação contínua normal quando atuam elevadas cargas de choque de curta duração.
- Para pré seleção dos rolamentos

**Capacidade de carga estática  $C_0$** , é a carga [N] que produz deformação permanente e total no elemento rolante e na pista, igual a :  $0.0001 \cdot d_{\text{elem}}$

$C_0$  é dado em catálogo.

# Cargas nos rolamentos ( $F_r$ , $F_a$ )

Cargas **teóricas** x Cargas **reais** de serviço

Incertezas :

- valor real da carga (choque por exemplo)
- direção da carga
- montagem (folga / apertos excessivos)
- lubrificação, temperatura
- desbalanceamento, vibrações

$$F_{calc} = f_w \cdot F_{teóricas}$$

Catálogo NTN

Tabela 4.1 Fator de carga  $f_w$

Intensidade de choque	$f_w$	Aplicação
Muito baixo ou sem choque	1.0~1.2	Máquinas elétricas sem choque, máquinas ferramentas, instrumentos de medição.
Choques leves	1.2~1.5	Veículos ferroviários, automóveis, moinhos de rolos, máquinas para trabalhar metal, máquinas para fabricar papel, máquinas para misturar borracha, impressoras, aeronaves, máquinas têxteis, unidades elétricas, máquinas para escritório.
Choques pesados	1.5~3.0	Trituradores, equipamentos agrícolas, equipamentos de construção, guindastes.

\*NSK Rolling Bearings, pg A28

# Dimensionamento Estático

$$C_0 \geq s_0 P_0$$

$$P_0 = X_0 F_r + Y_0 F_a \quad [\text{N}]$$

$P_0$  : carga estática equivalente [N]

$X_0, Y_0$  : coeficientes (radial, axial) retirados do catálogo para cada tipo de rolamento

$P_0 = F_r$  : para rolamentos que não suportam  $F_a$

$P_0 = F_a$  : para rolamentos axiais

$s_0$  : fator de segurança estática

Se  $P_0$  calculado resultar  $< F_r$  então usar  $P_0 = F_r$

\* ISO 281/I-1987

# Valores de referência para o valor de segurança $s_0$

Tabela 11

Valores de referência para o fator de segurança estática  $s_0$

Tipo de operação	Rolamento rotativo Requisitos de desempenho (por exemplo, giro silencioso ou operação sem vibração)						Rolamento sem rotação	
	insignificante		normal		alta		Rolamentos de esferas	Rolamentos de rolos
	Rolamentos de esferas	Rolamentos de rolos	Rolamentos de esferas	Rolamentos de rolos	Rolamentos de esferas	Rolamentos de rolos		
Sem problemas, sem vibração	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
Normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
Cargas de choque pronunciadas <sup>1)</sup>	$\geq 1,5$	$\geq 2,5$	$\geq 1,5$	$\geq 3$	$\geq 2$	$\geq 4$	$\geq 1$	$\geq 2$

Para rolamentos axiais de rolos de esferas, é aconselhável utilizar  $s_0 \geq 4$ .

<sup>1)</sup> Onde a magnitude da carga de choque for desconhecida, os valores de  $s_0$  pelo menos tão grandes quanto os citados acima, devem ser utilizados. Se a magnitude das cargas de choque for conhecida com precisão, valores menores que  $s_0$  podem ser aplicados.

## 12.2 – Cargas Dinâmicas em um Rolamento

Em condições de rotação contínua usa-se capacidade de carga dinâmica  $C$  no dimensionamento do rolamento.

“ $C$  é a carga nominal que implica em uma vida de 1.000.000\* de rotações”

Carga dinâmica equivalente :

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad [\text{N}]$$

- $P$  : carga dinâmica equivalente [N];
- $X, Y$  : Fatores de carga (radial, axial) coeficientes retirados do catálogo para cada tipo de rolamento;
- $F_r$  : Carga radial real, [N];
- $F_a$  : Carga axial real, [N];
- $P = F_r$  : para rolamentos que não suportam  $F_a$ ;
- $P = F_a$  : para rolamentos axiais.

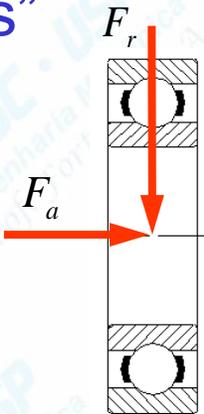
Se  $P$  calculado resultar  $< F_r$  então usar  $P = F_r$

Nos rolamentos radiais de uma carreira,  $F_a$  só é levada em com se :

$$\frac{F_a}{F_r} \geq e$$

$e$  : catálogo  
É um valor limite

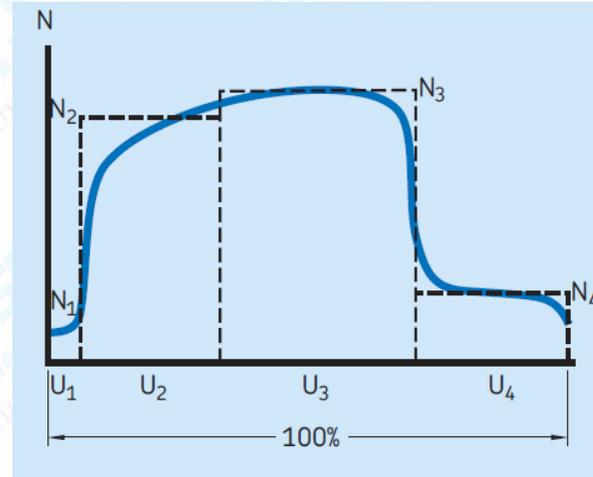
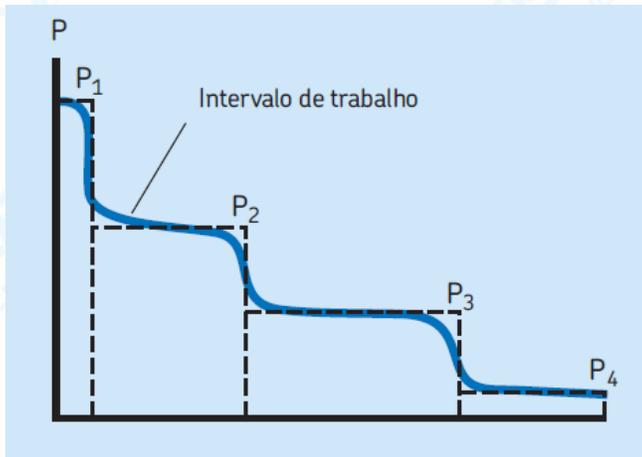
\* ISO 281/I-1987



# Cargas variáveis :

$F_a, F_r$  variáveis → usa-se  $F_{medio}$

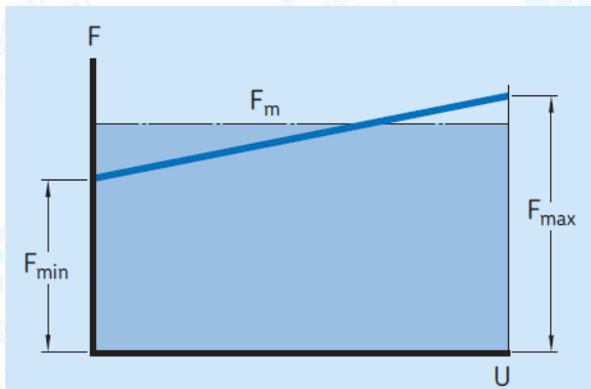
## a) Cargas Flutuantes - Espectro definido de cargas



$$L_{10m} = \frac{1}{\frac{U_1}{L_{10m1}} + \frac{U_2}{L_{10m2}} + \frac{U_3}{L_{10m3}} + \dots}$$

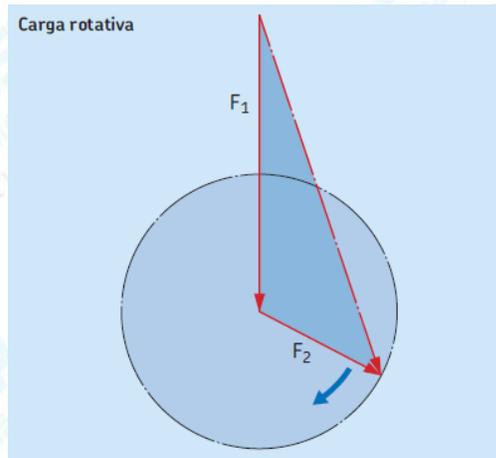
$$U_i = N_i / N$$

## b) Carga média variando Linearmente

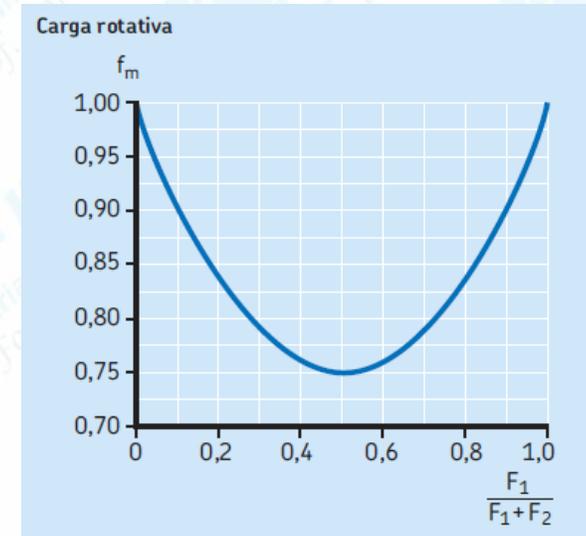


$$F_{med} = \frac{F_{min} + 2F_{max}}{3}$$

## b) Cargas Rotativa – peso do rotor + carga



$$F_m = f_m (F_1 + F_2)$$

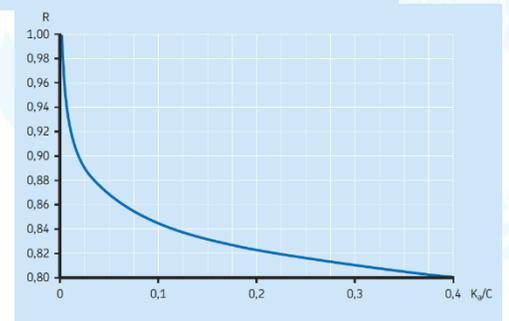


Geralmente as equações de equilíbrio do eixo nos dão  $F_a$  e  $F_r$ , mas nos mancais com montagens especiais, montagens “O” e “X”, a situação é hiperestática para a força axial e esta precisa ser determinada em cada mancal como a seguir :

- Rol. de esferas de contato angular

<p>Em O</p>	<p><b>Caso 1a</b></p> $F_{rA} \geq F_{rB}$ $K_a \geq 0$ $F_{aA} = R F_{rA}$ $F_{aB} = F_{aA} + K_a$
<p>Em X</p>	<p><b>Caso 1b</b></p> $F_{rA} < F_{rB}$ $K_a \geq R (F_{rB} - F_{rA})$ $F_{aA} = R F_{rA}$ $F_{aB} = F_{aA} + K_a$
	<p><b>Caso 1c</b></p> $F_{rA} < F_{rB}$ $K_a < R (F_{rB} - F_{rA})$ $F_{aA} = F_{aB} - K_a$ $F_{aB} = R F_{rB}$

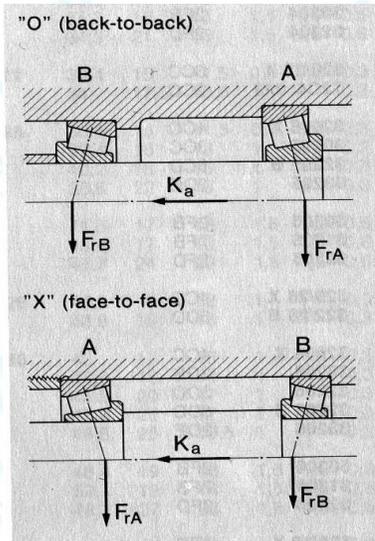
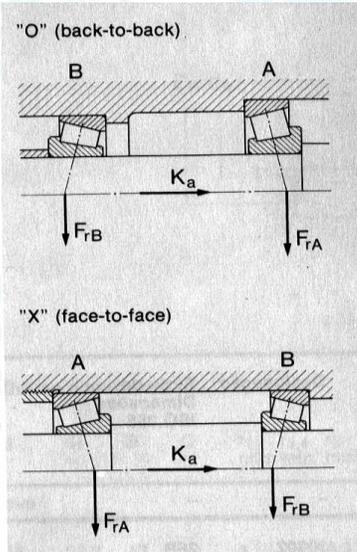
<p>Em O</p>	<p><b>Caso 2a</b></p> $F_{rA} \leq F_{rB}$ $K_a \geq 0$ $F_{aA} = F_{aB} + K_a$ $F_{aB} = R F_{rB}$
<p>Em X</p>	<p><b>Caso 2b</b></p> $F_{rA} > F_{rB}$ $K_a > R (F_{rA} - F_{rB})$ $F_{aA} = F_{aB} + K_a$ $F_{aB} = R F_{rB}$
	<p><b>Caso 2c</b></p> $F_{rA} > F_{rB}$ $K_a < R (F_{rA} - F_{rB})$ $F_{aA} = R F_{rA}$ $F_{aB} = F_{aA} - K_a$



$K_a$  = Força externa no eixo ou camisa (pré carga)

p.495-496, Catálogo Digital SKF.

• Rol. de rolos cônicos – montagens “O” e “X”



$$\frac{F_{rA}}{Y_A} \geq \frac{F_{rB}}{Y_B}$$

$$K_a \geq 0$$

$$\frac{F_{rA}}{Y_A} < \frac{F_{rB}}{Y_B}$$

$$K_a \geq 0.5 \left( \frac{F_{rB}}{Y_B} - \frac{F_{rA}}{Y_A} \right)$$

$$\frac{F_{rA}}{Y_A} < \frac{F_{rB}}{Y_B}$$

$$K_a < 0.5 \left( \frac{F_{rB}}{Y_B} - \frac{F_{rA}}{Y_A} \right)$$

$$\frac{F_{rA}}{Y_A} \leq \frac{F_{rB}}{Y_B}$$

$$K_a \geq 0$$

$$\frac{F_{rA}}{Y_A} > \frac{F_{rB}}{Y_B}$$

$$K_a \geq 0.5 \left( \frac{F_{rA}}{Y_A} - \frac{F_{rB}}{Y_B} \right)$$

$$\frac{F_{rA}}{Y_A} > \frac{F_{rB}}{Y_B}$$

$$K_a < 0.5 \left( \frac{F_{rA}}{Y_A} - \frac{F_{rB}}{Y_B} \right)$$

$$F_{aA} = \frac{0.5 \cdot F_{rA}}{Y_A}$$

$$F_{aB} = F_{aA} + K_a$$

$$F_{aA} = \frac{0.5 \cdot F_{rA}}{Y_A}$$

$$F_{aB} = F_{aA} + K_a$$

$$F_{aA} = F_{aB} - K_a$$

$$F_{aB} = \frac{0.5 \cdot F_{rB}}{Y_B}$$

$$F_{aA} = F_{aB} + K_a$$

$$F_{aB} = \frac{0.5 \cdot F_{rB}}{Y_B}$$

$$F_{aA} = F_{aB} + K_a$$

$$F_{aB} = \frac{0.5 \cdot F_{rB}}{Y_B}$$

$$F_{aA} = \frac{0.5 \cdot F_{rA}}{Y_A}$$

$$F_{aB} = F_{aA} - K_a$$

$K_a$ =Força externa no eixo ou camisa (pré carga)

Para os rolamentos de contato angular com montagens especiais, a carga dinâmica equivalente é:

- Na disposição em “Tandem” :

$$P = F_r$$

para  $\left( \frac{F_a}{F_r} \right) \leq 1.14$

$$P = 0.35 \cdot F_r + 0.57 \cdot F_a$$

para  $\left( \frac{F_a}{F_r} \right) > 1.14$

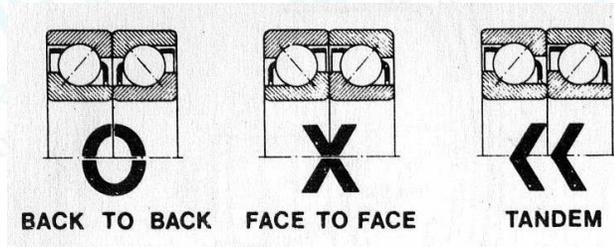
- Na disposição em “X” ou em “O”:

$$P = F_r + 0.55 \cdot F_a$$

para  $\left( \frac{F_a}{F_r} \right) \leq 1.14$

$$P = 0.57 \cdot F_r + 0.93 \cdot F_a$$

para  $\left( \frac{F_a}{F_r} \right) > 1.14$

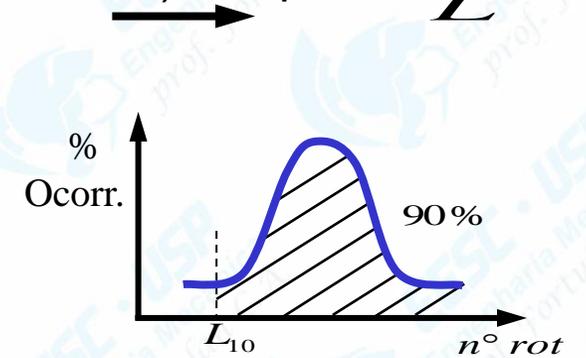


# 12.3 – Vida de Rolamentos

“É o número de rotações antes que se manifeste o primeiro sinal de fadiga (descascamento) nas pistas e/ou elementos rolantes.”

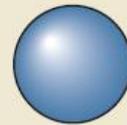
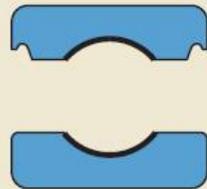
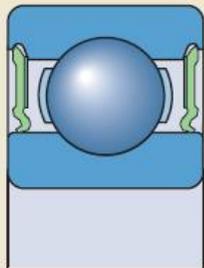
Vida  $L$  depende de :

- material do rolamento.
- valor da carga.
- vibrações/choques.
- lubrificação.
- temperatura.
- montagem (folgas, interferência, etc.)



Vida útil do sistema do rolamento

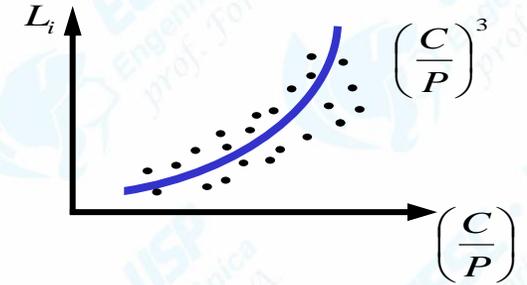
$$L_{rolamento} = f(L_{pistas}, L_{corpos\ rolantes}, L_{gaiola}, L_{lubrificante}, L_{vedações})$$



$L$  é determinada estaticamente através de ensaios, tal que 90% dos rolamentos idênticos tenham vida  $L_i > L$ .

Equação básica :

$$L = \left( \frac{C}{P} \right)^p$$



- $L$  - vida nominal em milhões de rotações
- $C$  - Capacidade de carga dinâmica do rolamento, dada em catálogo [N]
- $P$  - Carga dinâmica equivalente aplicada [N]
- $p = \begin{cases} 3 & \text{- elementos rolantes esféricos} \\ 10/3 & \text{- elementos rolantes de rolos} \end{cases}$

**Vida em horas de serviço :  $L_h$**

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left( \frac{C}{P} \right)^p \quad \text{[horas]}$$

$n$  : [rpm]

## Fórmula ampliada da vida de rolamentos (nominal ajustada)

$$L = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \left( \frac{C}{P} \right)^p$$

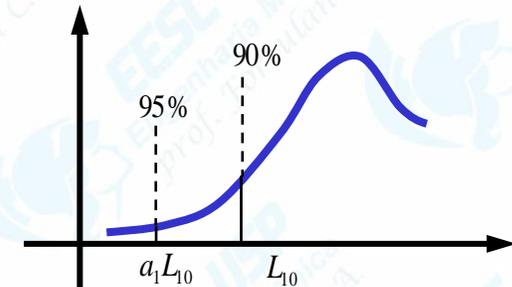
ou

$$L_h = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left( \frac{C}{P} \right)^p$$

**$a_1$  : fator de ajuste da confiabilidade**

%	$a_1$
90	1.00
95	0.62
96	0.53
97	0.44
98	0.33
99	0.21

Tabela 6 Valores de  $a_1$ , p.35, Catálogo Geral SKF.



**$a_2$  : fator de ajuste para material do rolamento**

T [°C]	$a_2$
150	1.00
200	0.73
250	0.42
300	0.22

Para bons (??) fabricantes e  $t < 150^\circ\text{C} \rightarrow a_2 = 1.0$

$a_2$  ajusta a diminuição das propriedades mecânicas do material com a temperatura

# Guia para valores de vida nominal requerido $L_{10h}$ em diferentes classes de máquinas

Tabela 9

Valores de referência de especificação de vida útil para diferentes tipos de máquina	
Tipo de máquina	Especificação da vida útil Horas operacionais
Máquinas domésticas, máquinas agrícolas, instrumentos, equipamento técnico para uso médico	300 ... 3 000
Máquinas usadas por períodos curtos ou intermitentemente: ferramentas elétricas manuais, guincho de elevação em oficinas, equipamentos e máquinas de construção	3 000 ... 8 000
Máquinas usadas por períodos curtos ou intermitentemente, onde é necessária uma alta confiabilidade operacional: elevadores, guindastes para mercadorias embaladas ou cabos de suspensão de tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para uso durante oito horas por dia, mas nem sempre totalmente utilizadas: transmissões de engrenagens para finalidades gerais, motores elétricos para uso industrial, trituradores rotativos	10 000 ... 25 000
Máquinas para uso durante oito horas por dia e utilizadas por completo: máquinas-ferramenta, máquinas para trabalho em madeira, máquinas para o setor de engenharia, guindastes para material a granel, ventiladores, esteiras transportadoras, equipamentos de impressão, separadores e centrífugas	20 000 ... 30 000
Máquinas para uso contínuo durante 24 horas: unidades de engrenagens de laminadores, máquinas elétricas de médio porte, compressores, elevadores de minas, bombas, máquinas têxteis	40 000 ... 50 000
Máquinas de energia eólica, que incluem eixo principal, guinada, redutores de engrenagens de afastamento, rolamentos de geradores	30 000 ... 100 000
Máquinas para trabalhos com água, fornalhas rotativas, máquinas de estiramento de cabos, máquinas de propulsão para embarcações oceânicas	60 000 ... 100 000
Grandes máquinas elétricas, usina de geração de energia, bombas de minas, ventiladores de minas, rolamentos de túneis de eixos para navios oceânicos	> 100 000

Se a vida calculada for insuficiente :

- Melhorar lubrificação
- Mudar para séries mais pesadas (maior C) do mesmo tipo de rolamento.

Ex:

d	D	C	N°
20	32	2650	61804
20	72	30700	6404

- Mudar de tipo (esfera → rolo)
- Mudar tamanho ( $\uparrow d$ )

Tabela 9, p.83, Catálogo Digital SKF.

### $a_3$ : fator de ajuste para lubrificação

A SKF combina os fatores  $a_2$  e  $a_3$  :  $a_{23}$  ou  $a_{SKF}$

Limite de carga de fadiga (catálogo)

$$n_c \cdot \frac{P_u}{P}$$

Fator nível de contaminação -> Tabela 4 pg 74

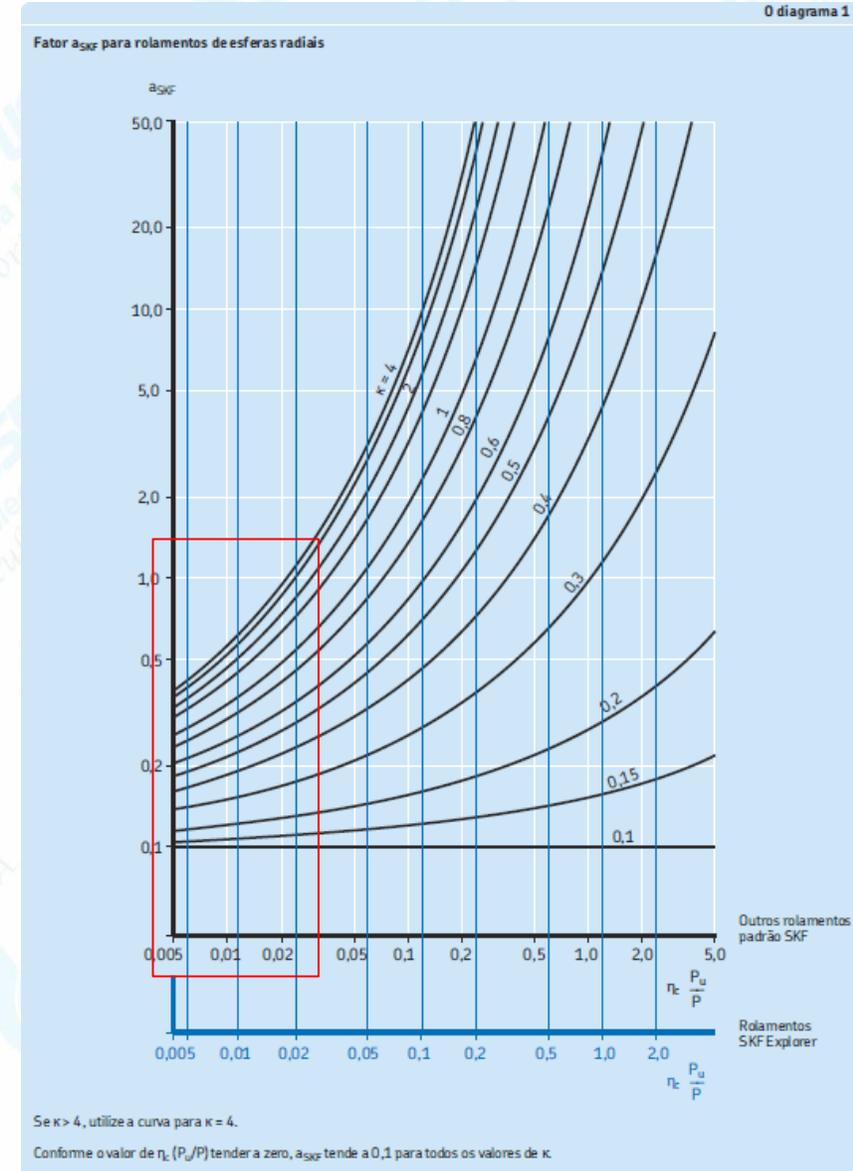
$$k = \frac{\nu}{\nu_1}$$

Relação de viscosidade

$\nu_1$  : Viscosidade cinemática [mm<sup>2</sup>/s] requerida na temperatura de serviço

$\nu$  : Viscosidade do óleo utilizado na temperatura de serviço

Para graxa: usar viscosidade do óleo base.



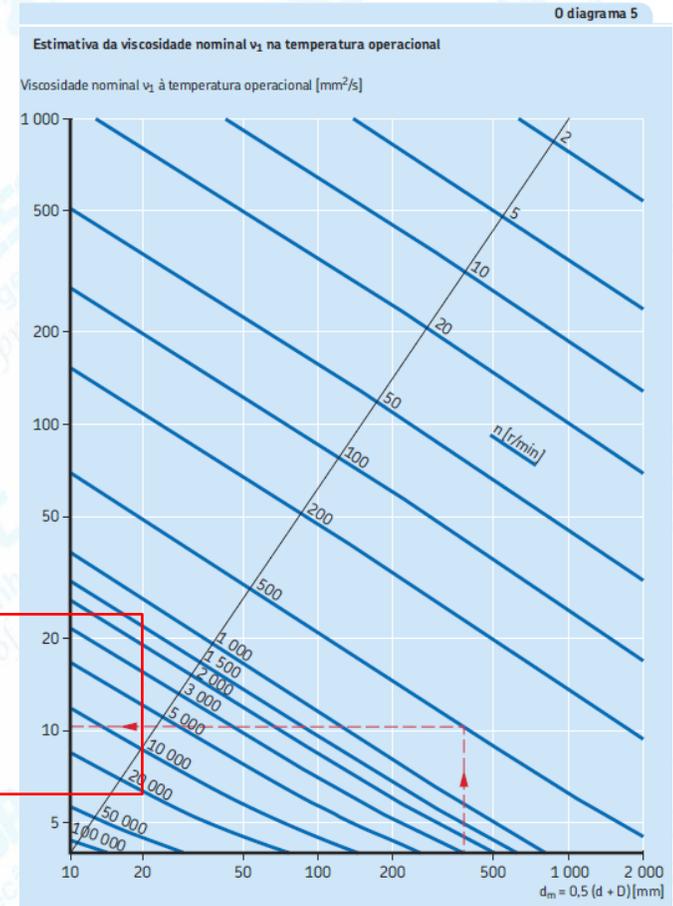
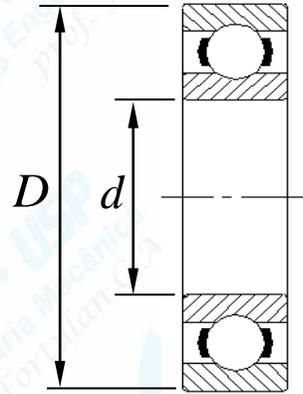


Diagrama 5, p.72, Catálogo Digital SKF.

• Tendo-se

$$d_m = \frac{d + D}{2}$$

e rotação de serviço



$v_1$  viscosidade necessária em serviço (portanto na temperatura de serviço)

Por exemplo :

Para  $d_m = 350$  [mm] e  $n = 500$  [rpm] temos  $v_1 = 13$  [mm<sup>2</sup>/s] à 70°C

As viscosidades são normalmente medidas a 40°C portanto precisa-se corrigir a viscosidade para este valor com o gráfico.

No exemplo dado a viscosidade necessária a 40°C será  $v_{nec} = 38 \text{ [mm}^2\text{/s]}$ . Escolhe-se então o lubrificante, p.ex: ISOVG46 cuja  $v_{40^\circ\text{C}} = 46 \text{ [mm}^2\text{/s]}$  a 40°C e  $v = 15.5$  a 70°C usando o mesmo ábaco.

Acha-se então :

$$K = \frac{v}{v_1} = \frac{15.5}{46} = 1.19$$

no ex. dado para determinar-se a vida do rolamento

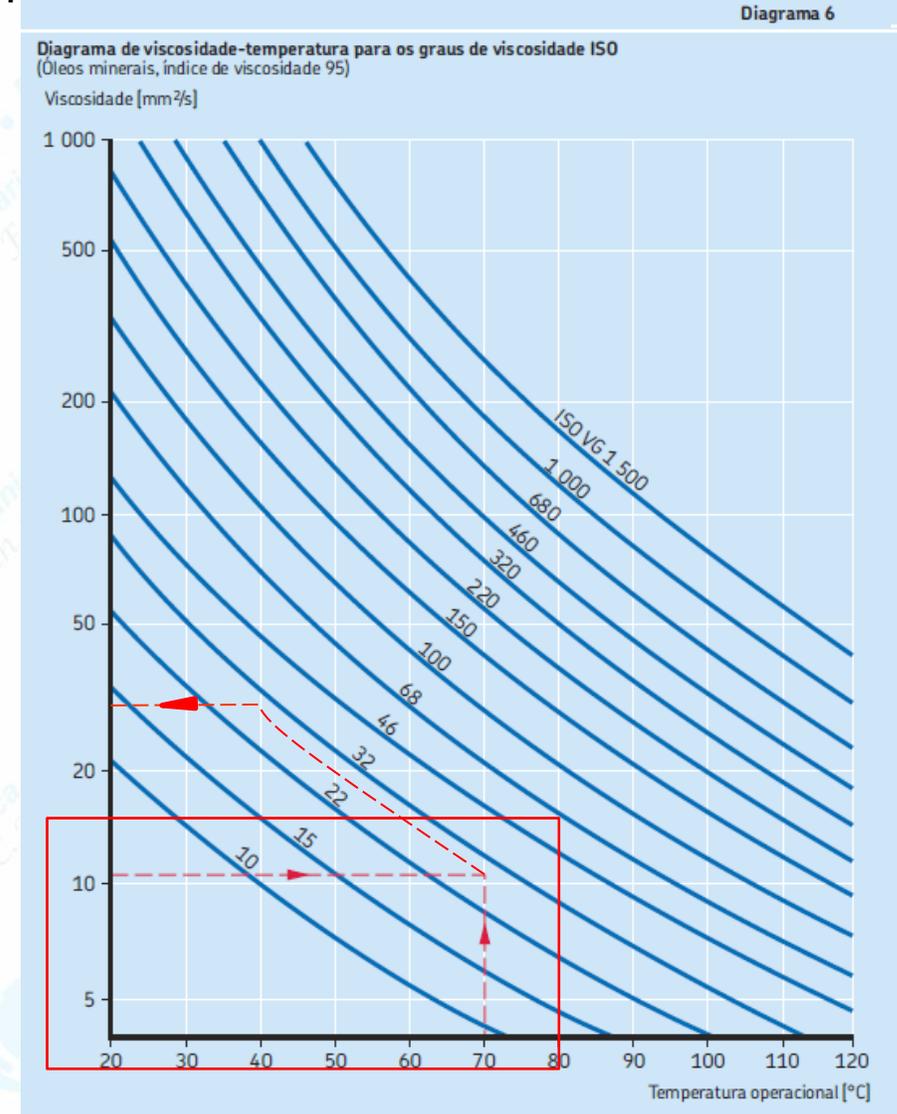


Diagrama 6, p.73, Catálogo Digital SKF.

## Cálculo inverso

O método de cálculo apresentado é iterativo (adota-se rolamento e verifica-se se suporta). Isto pode demandar muitas iterações, neste caso usar o cálculo inverso partindo-se da vida desejada da tabela da página anterior

$$\frac{L_{calc\ nec}}{60 \cdot n} \geq L_{desejada} \Rightarrow L_{calc\ nec} \geq L_{desejada} \cdot 60 \cdot n$$

$$a_1 \cdot a_{23} \cdot \left( \frac{C}{P} \right)^p \geq L_{desejada} \cdot 60 \cdot n$$

$$C_{nec} \geq P \cdot \left( \frac{L_{desejada} \cdot 60 \cdot n}{a_1 \cdot a_{23} \cdot 10^6} \right)^{1/p}; L_{desejada\ em\ horas}$$

$n$  (rpm)

De posse de  $C_{nec}$  procura-se no catálogo o rolamento que satisfaça.

## 12.4 – Velocidade de referências e Limites de Rotação

Catálogos indicam  $n_{\max}$  de cada rolamento quando :

- Carga pequena ( $L_h > 150.000$ )
- lubrificação / refrigeração “normal”
- $n_{\max}$  até 40.000 rpm

$n_{\max}$  depende :

- tipo de rolamento
- tamanho
- carga
- lubrificação
- folga
- gaiola

Para rolamentos grandes e  $L_h \leq 75000$  h :

É possível aumentar de 40 a 200%  $n_{\max \text{ cat}}$  otimizando os parâmetros de influência :

- de esfera
- pequeno
- carga bem baixa
- lubrificação forçada ou spray
- folga maior
- gaiola especial

## Lubrificação a óleo

$$\eta_{ar} = \eta_r \cdot f_p \cdot f_v$$

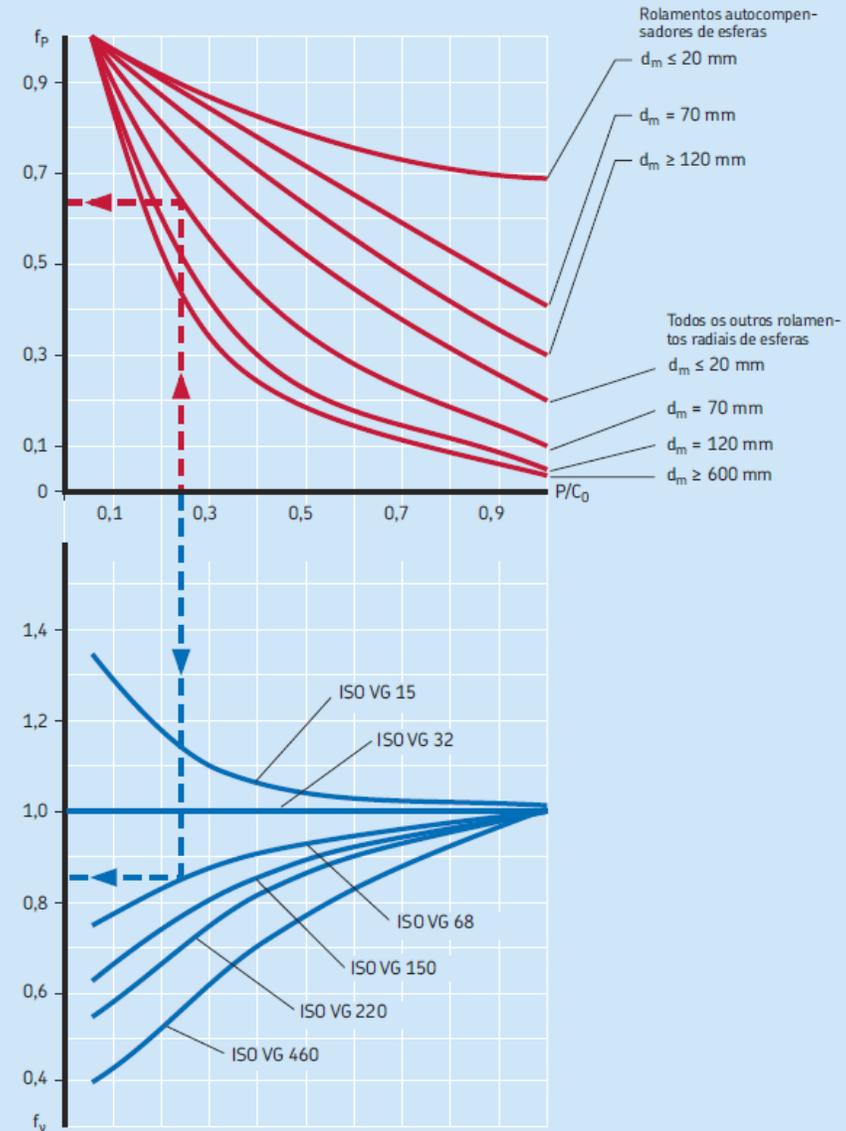
↖ Fator de ajuste carga rolamento  
↖ Veloc. de referência  
↖ Fator de ajuste viscosidade do óleo  
↖ Velocidade de referência (rpm) - catálogo

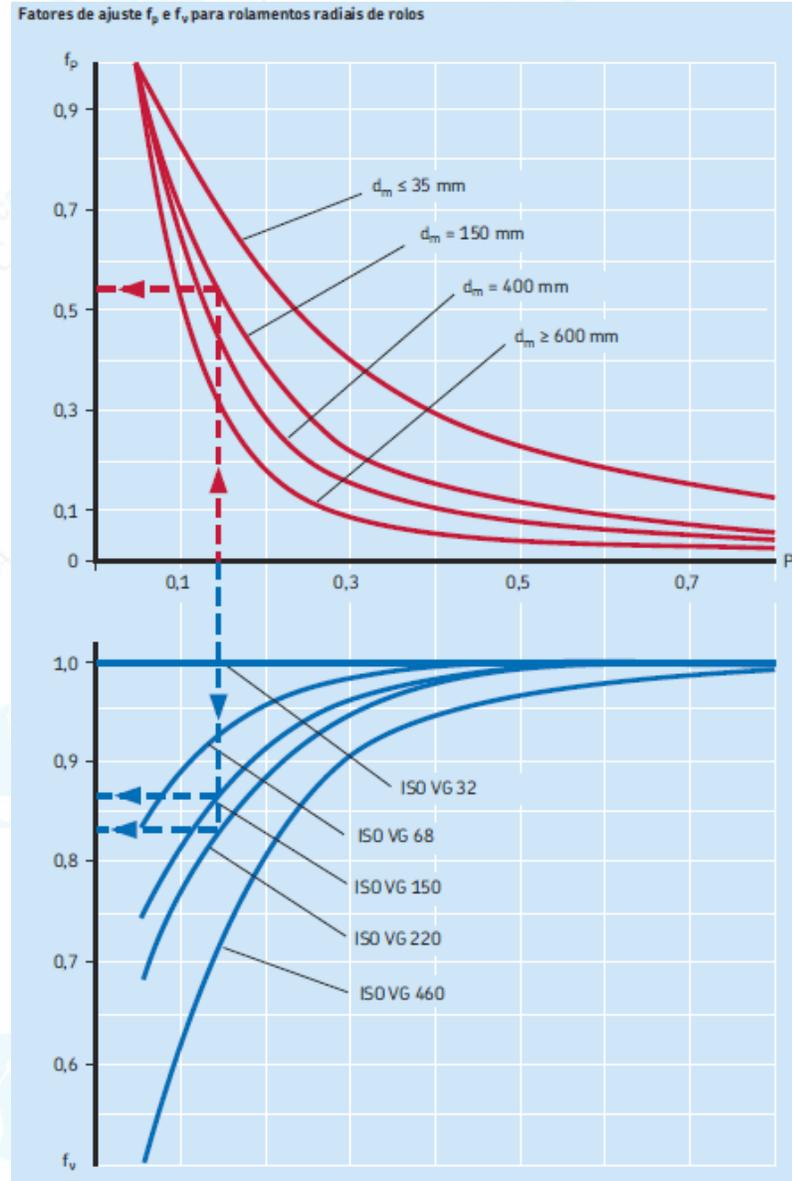
## Lubrificação a graxa

$$\eta_{ar} = \eta_r f_p \frac{f_v \text{ viscosidade real do óleo base}}{f_v \text{ ISO VG150}}$$

Diagramas2, p.125-128, Catálogo Digital SKF.

Fatores de ajuste  $f_p$  e  $f_v$  para rolamentos radiais de esferas

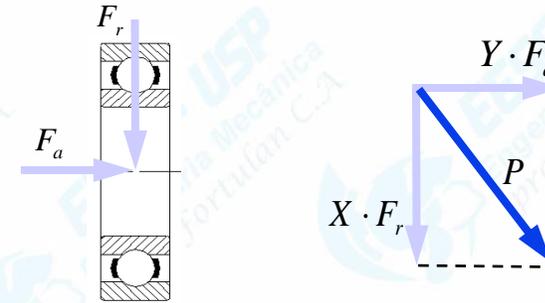




## 12.5 – Momento de Atrito

$$M_a = \mu \cdot P \cdot \frac{d}{2} \quad [\text{N.m}]$$

Ver Tabela 1, p.98, Catálogo Digital SKF.



A fórmula acima é aproximada e vale quando :  $P \cong 0.1C$ , boa lubrificação, condições normais de operação

P, carga aplicada sobre o rolamento, N  
d, diâmetro do furo do rolamento, mm

Nos demais casos :

$$M_a = M_0 + M_1(P)$$

$$M_p \cong 2 \cdot M_1(P)$$

e momento de partida

$M_0$ , momento de atrito independente da carga aplicada

$M_1$ , momento de atrito dependente da carga aplicada

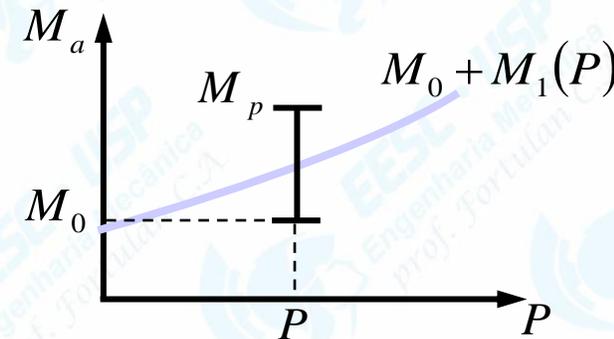


Tabela 1

**Coefficiente constante de atrito  $\mu$  para rolamentos abertos (rolamentos sem vedações de contato)**

<b>Tipo de rolamento</b>	<b>Coefficiente de atrito <math>\mu</math></b>
<b>Rolamentos rígidos de esferas</b>	0,0015
<b>Rolamentos de esferas de contato angular</b>	
– uma carreira	0,0020
– de duas carreiras	0,0024
– de quatro pontos de contato	0,0024
<b>Rolamentos autocompensadores de esferas</b>	0,0010
<b>Rolamentos de rolos cilíndricos</b>	
– com uma gaiola, quando $F_a \approx 0$	0,0011
– número máximo de rolos, quando $F_a \approx 0$	0,0020
<b>Rolamentos de rolos de agulhas com gaiola</b>	0,0020
<b>Rolamentos de rolos cônicos</b>	0,0018
<b>Rolamentos autocompensadores de rolos</b>	0,0018
<b>Rolamentos de rolos toroidais CARB com gaiola</b>	0,0016
<b>Rolamentos axiais de esferas</b>	0,0013
<b>Rolamentos axiais de rolos cilíndricos</b>	0,0050

Tabela 1, p.98, Catálogo Digital SKF.

# 12.6 – Lubrificação de Rolamentos

- Objetivos :
- Evitar contato metálico elemento rolante / pista / gaiola
  - Proteger contra corrosão

## Lubrificação com graxa

Graxa : óleo mineral base com espessante (Ca, Na, Li)

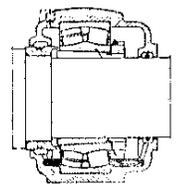
Uso de graxa como lubrificante {  $t < 60^{\circ}\text{C}$   
Rotações mais baixas

- Fácil retenção
- eixos verticais
- ajuda vedação contra impurezas

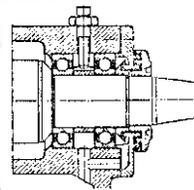
*Graxa precisa ser renovada !!!*

## Lubrificação com óleo

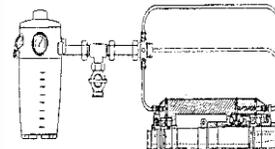
- rotações elevadas
- temperaturas elevadas
- retira calor do mancal
- pode usar óleo da lubrificação do restante da máquina



(a)



(b)



(c)

(a) Banho de óleo

(b) Circulação forçada

(c) Spray

# Métodos de lubrificação com óleo

## Banho

- Baixas rotações (até 500 rpm – ver relação com limite de rotação do rolamento no catalogo)
- Óleo até metade do elemento rolante
- Acelera oxidações – efeito "batedeira" → trocas mais freqüentes

## Circulação forçada

- Sistema central de lubrificação
- Evita trocas freqüentes
- Pode incluir refrigeração no circuito

## Spray

- Altíssimas rotações
- Lubrificação + refrigeração

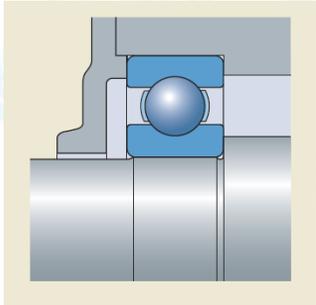
## Seleção do Lubrificante

- Escolhe-se pela viscosidade cinemática  $\nu$
- No caso de graxa:  $\nu$  do óleo base

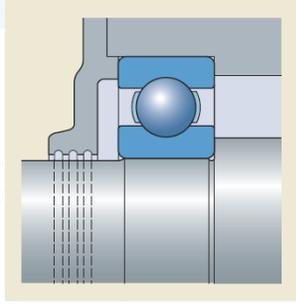
# Vedadores

## I - Sem contato (“labirintos”)

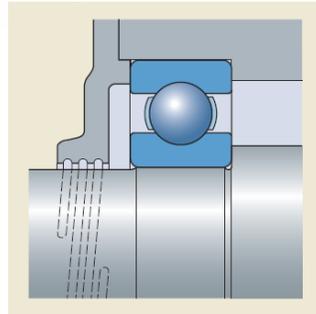
não aumentam o momento de atrito



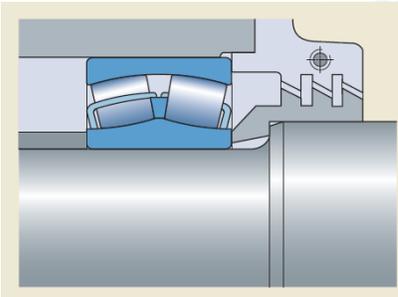
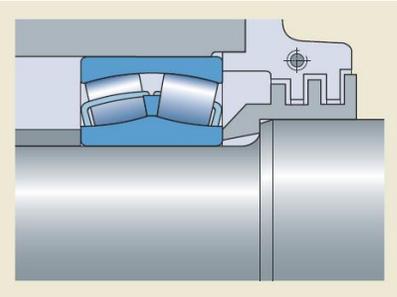
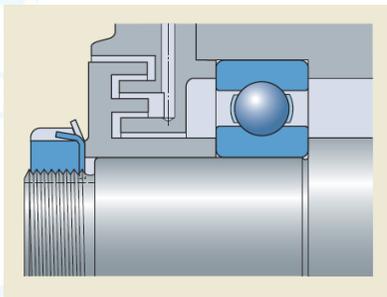
a



b

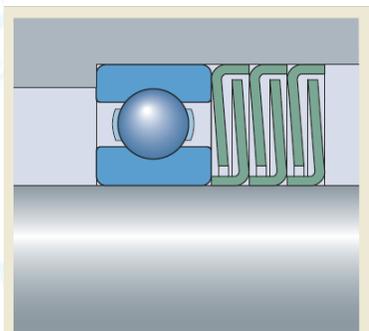


c

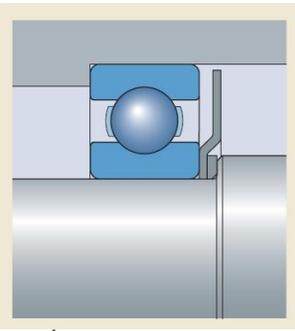


- a) Vão liso;
- b) ranhuras concêntricas;
- c) Ranhuras em hélice (esquerda ou direita)

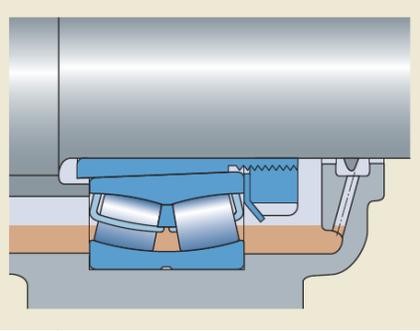
- d) Labirintos axiais;
- e) Labirintos em caixas bipartidas;
- f) Labirintos com vãos inclinados (desalinhamento angular)



a



b



c

- a) Anéis de vedação;
- b) Anéis rotativos montados no eixo;
- c) Anéis defletores - ranhuras ou discos p/ óleo.

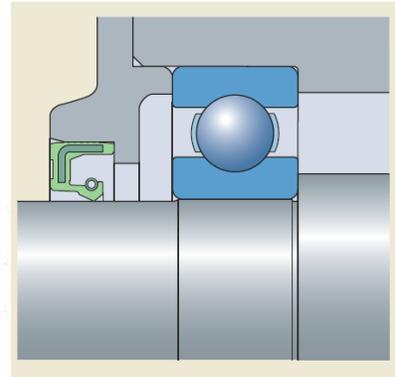
## II - Vedadores (com contato)

- Anéis retentores

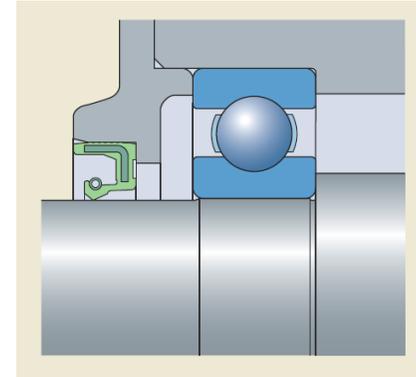
a) evita saída de óleo

b) evita entrada de contaminantes

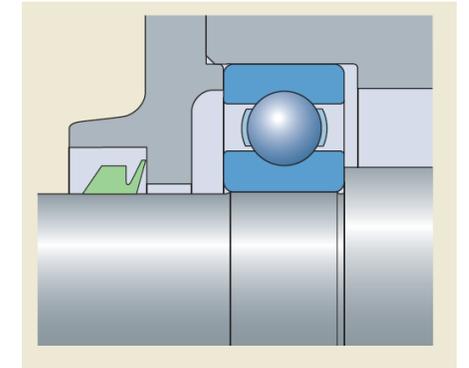
c) em “v” graxa ou óleo (preso no eixo)



a



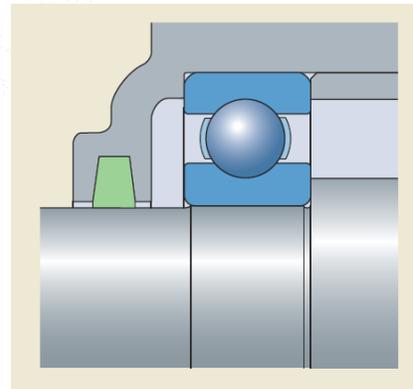
b



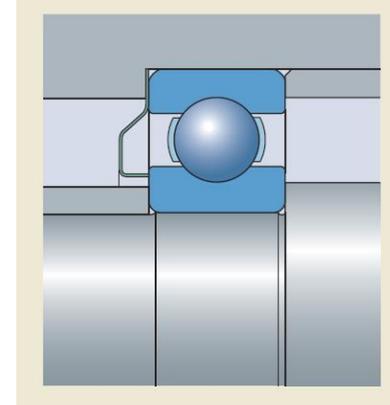
c

- Anéis de feltro

Usados para graxa (d)



d



e

- Anéis vedadores elásticos

# Roteiro para dimensionamento e seleção:

- a) Modelagem das cargas
- b) Método direto
  - ✓ Estático
    - ✓ Carga estática equivalente
    - ✓ Capacidade de carga estática
  - ✓ Dinâmico
    - ✓ Carga dinâmica equivalente
      - ✓ Esquerdo
      - ✓ Direito
    - ✓ Cálculo da vida do rolamento em horas

\*Ocorreu a troca do rolamento escolhido – motivo: não atendeu a quantidade de horas

- ✓ Cálculo da vida do rolamento em horas
- ✓ Limite de rotação
- ✓ Estimativa do momento de atrito

## 12.7. Referências

- MANFÉ, G. et al. Manual de desenho técnico mecânico, v3, 1975, p.54
- FAG (appud MANFÉ, G. et al. Manual de desenho técnico mecânico, v3, 1975.)
- SKF - Catálogo Geral, 976p. 1989
- SKF- Aplicações de rolamentos- Publicação nº 2999 (1975).
- SKF- Princípios de Seleção e Aplicação de Rolamentos. PUB BU/P1 10000 PT.BR, out. 2015.

### Aplicativos móveis SKF

Apple App Store



Google Play

