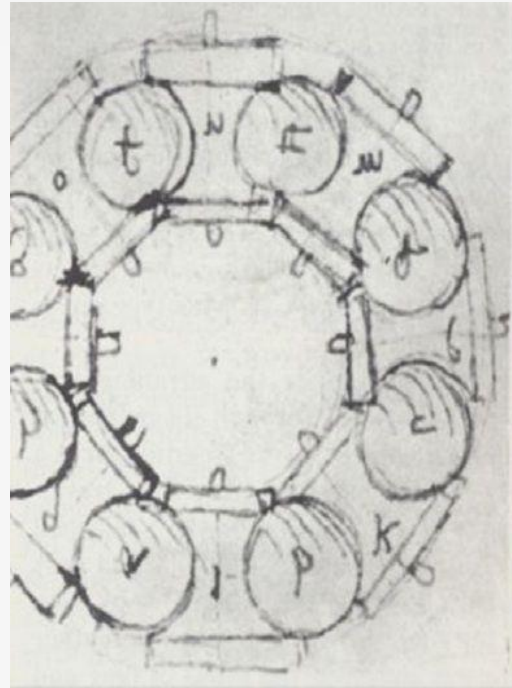


# Elementos de Máquinas

## Capítulo 3

### Rolamentos



Leonardo da Vinci (1452 – 1519)

Acetatos e imagens baseados em:

- Catalogo SKF 2015
- Catalogo FAG 1999
- Apontamentos – Luís Coelho, ESTG, IPLeia
- Apontamentos - Rosa Mendes, EST, IPS



- Chumaceiras – classificação
- Tipos de rolamentos
  - Esferas
  - Rolos
  - Radiais / Axiais
- Vida dos rolamentos
  - Vida nominal
  - Vida Ajustada
- Lubrificação



# Chumaceiras - Classificação

Servem para apoiar um veio permitindo um movimento relativo, mas impondo certos constrangimentos, radiais e/ou axiais.

## Quanto à função:

- Radiais ou cilíndricas: impedem deslocamentos radiais;
- Axiais ou de impulso: impedem os deslocamentos axiais;
- Angulares: impedem simultaneamente deslocamentos radiais e axiais;
- De Guia: destinam-se a permitir e controlar o deslocamento de um órgão com movimento rectilíneo e evitam o movimento de rotação.

## Quanto à forma:

- De escorregamento: o movimento entre o veio (moente) e o apoio é de escorregamento, sendo o contacto entre os dois órgãos impedido pela formação de uma película de lubrificante.
- De rolamento: o movimento entre o moente e o apoio é de rolamento.
- Mistas: existe simultaneamente atrito de rolamento e de escorregamento.



## Quanto à construção:

- Autocompensadoras: os veios após a montagem e a entrada em funcionamento são automaticamente centrados;
- Rígidas: após a montagem mantêm a posição invariável não permitindo qualquer alinhamento;
- De segmento: uma das superfícies activas é segmentada permitindo a formação automática de uma película lubrificante;
- Elásticas: um dos apoios é elástico ou elasticamente suportado permitindo as deformações necessárias ao bom alinhamento e à formação da película lubrificante.



## Quanto à lubrificação:

Automática: a rotação do moente provoca a formação de uma película lubrificante que é interrompida quando deixa de haver movimento relativo;

Intermitente: o lubrificante é introduzido periodicamente na chumaceira, por um sistema de gota a gota;

Por imersão: as superfícies em movimento relativo estão imersas num reservatório de lubrificante (este sistema obriga ao uso de vedantes para evitar a saída do lubrificante do carter);

Por chapinhagem: parte do órgão móvel mergulha no lubrificante transportando-o para as chumaceiras. Normalmente obtém-se uma lubrificação contínua. (ex: motores de combustão interna);

Sob pressão: a alimentação do lubrificante para a chumaceira é feita sob pressão através de uma bomba;

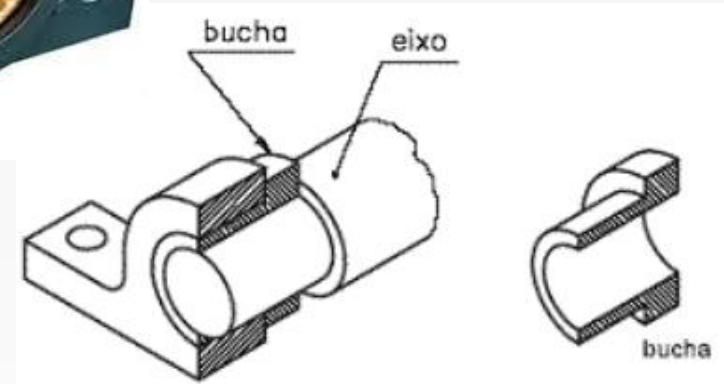
Por sistema mecânico centralizado: o mesmo sistema alimenta vários postos da lubrificação da máquina.



# Chumaceiras - Classificação

Capítulo 3

## Chumaceiras de Escorregamento



## Chumaceiras de Rolamentos



Elementos de Máquinas



# Rolamentos - exemplo

Capítulo 3

Elementos de Máquinas

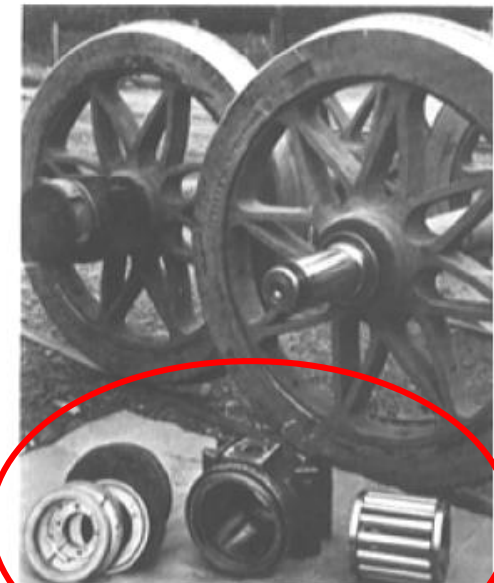


Fig. 1 – Rodas de um comboio mostrando os rolamentos a) montados b) desmontados.  
[Fig. 13.26 Hamrock]



# Rolamentos - exemplo

Capítulo 3

Elementos de Máquinas

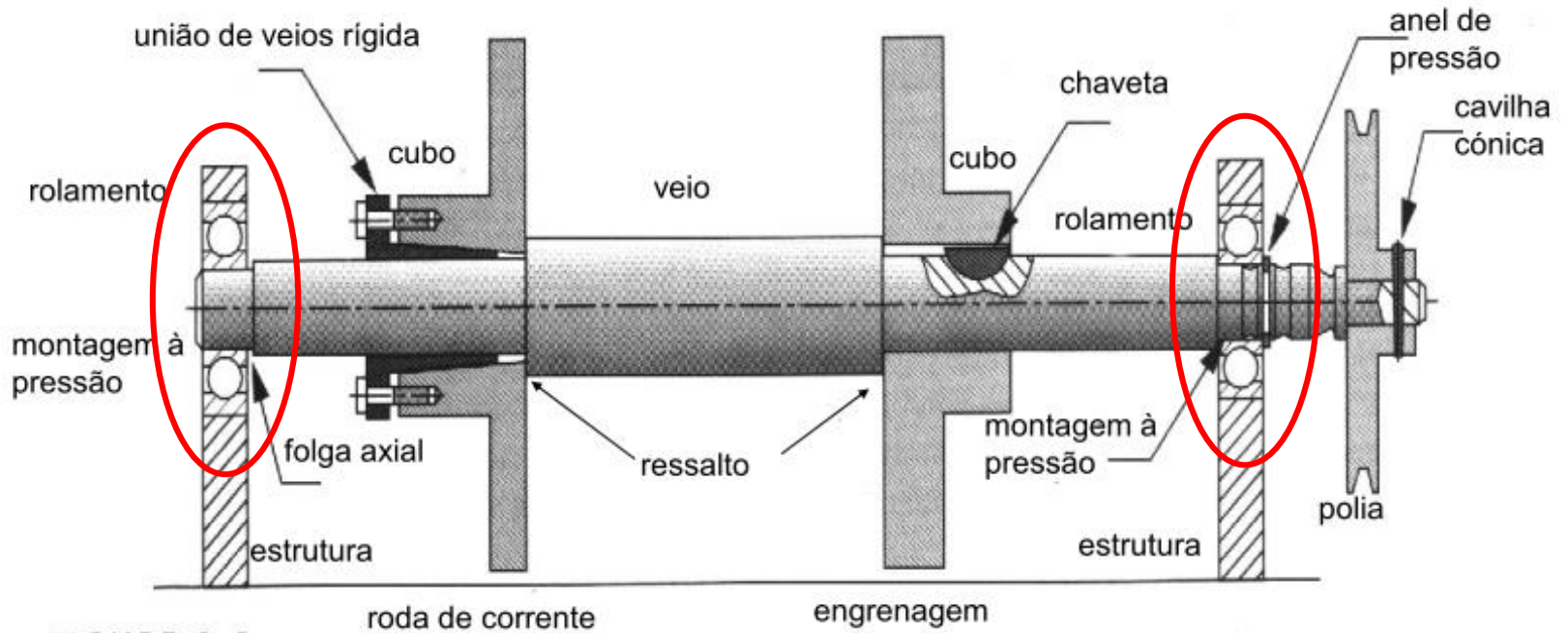


FIGURE 9-2

Various Methods to Attach Elements to Shafts [2].

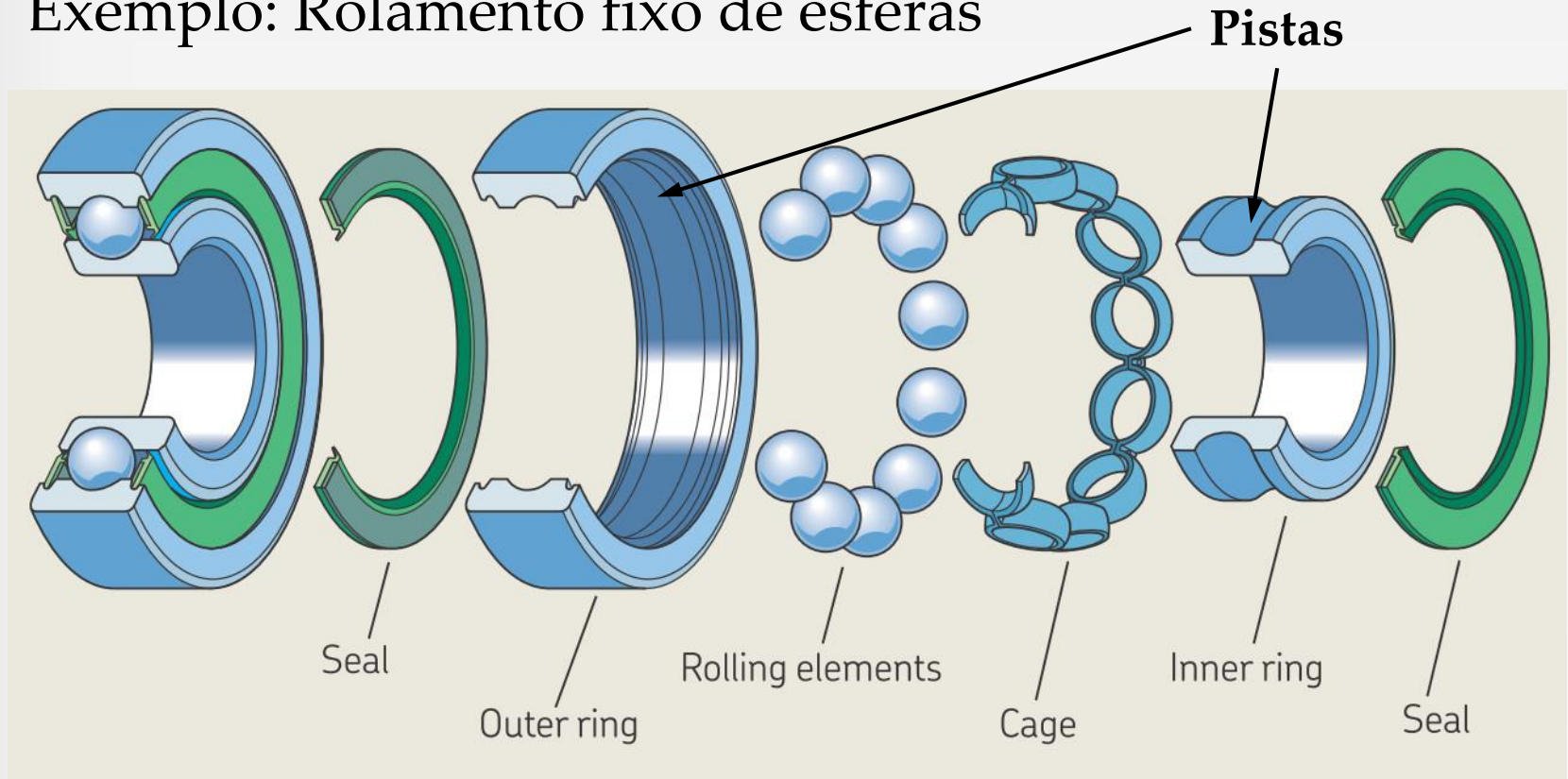




# Componentes dos Rolamentos

Capítulo 3

Exemplo: Rolamento fixo de esferas



Outer ring - **Anel exterior**

Inner ring - **Anel interior**

Rolling elements - **Corpos rolantes** (esferas)

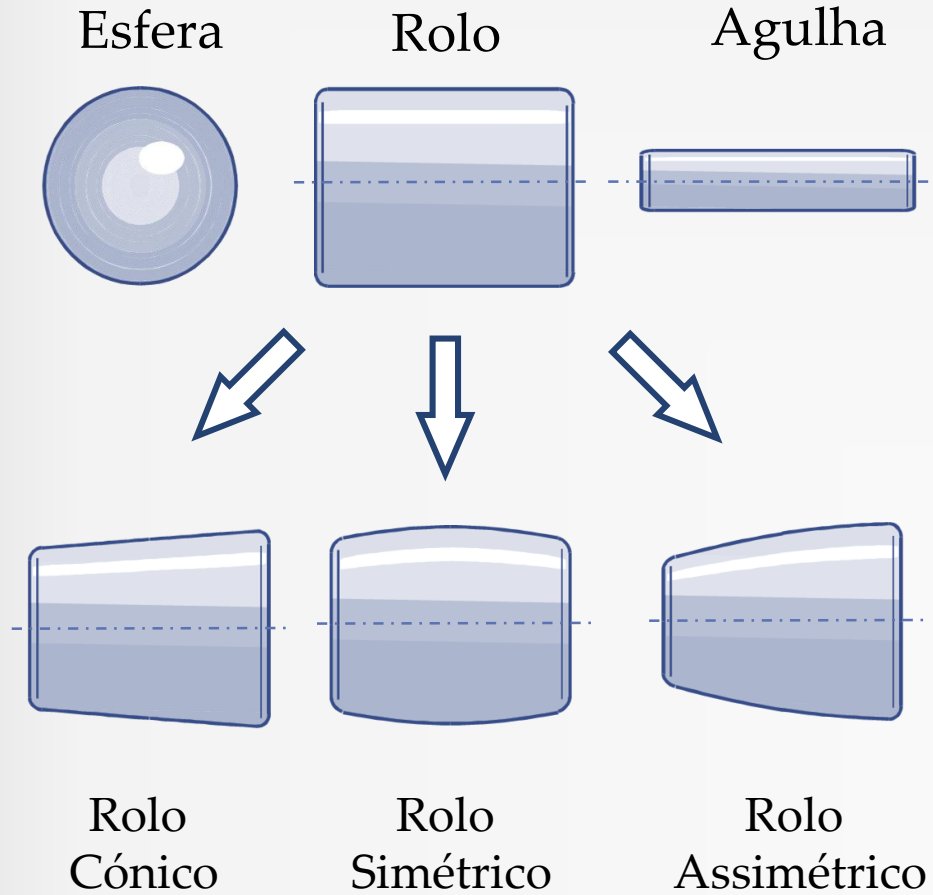
Cage - **Gaiola**

Seal - **Placa de vedação**

O **Lubrificante** também deve ser considerado como um componente.

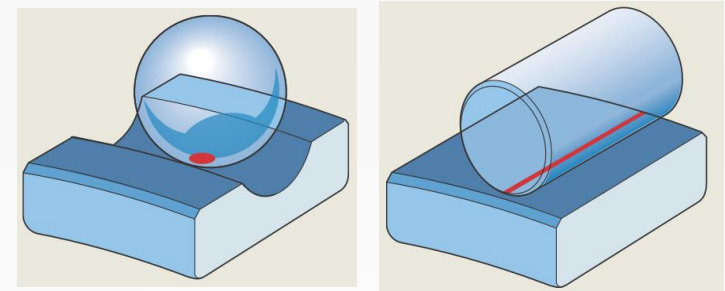


## Classificação - Forma Geométrica:



Para **aumentar a capacidade de carga** necessitamos de:

- Maior quantidade de corpos rolante
- Corpos rolantes da maior dimensão possível
- Corpos rolantes de forma cilíndrica



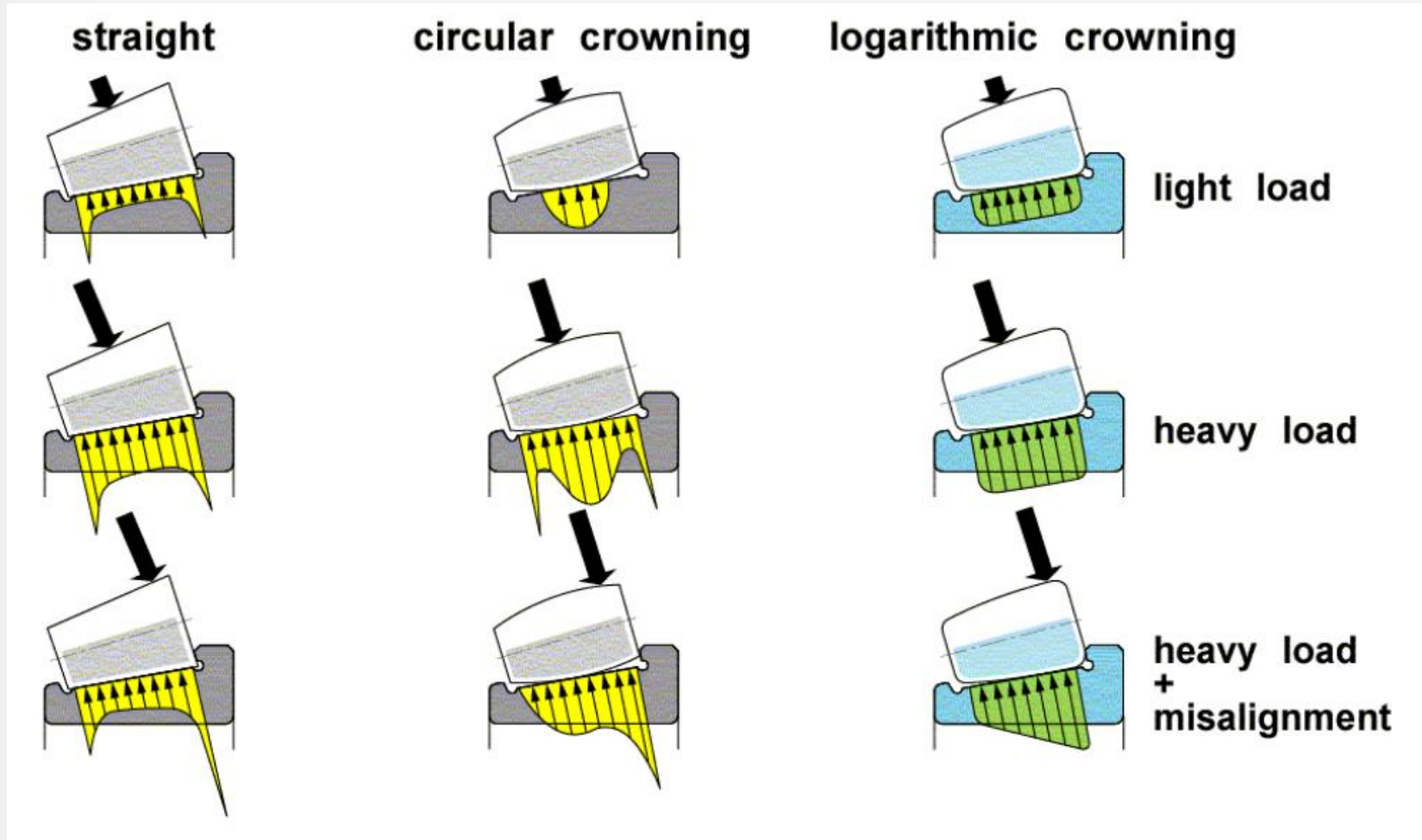
Os rolos com uma **maior área de contacto** tem um **limite de carga à fadiga muito maior**.



# Corpos rolantes - Rolos - Tensão de contacto

Capítulo 3

## Importância da geometria da superfície de contacto



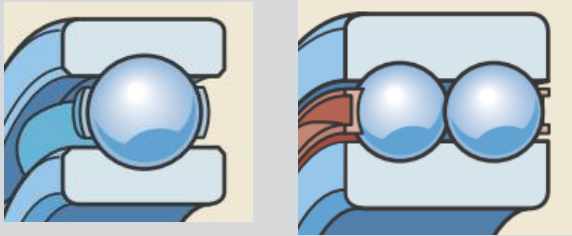


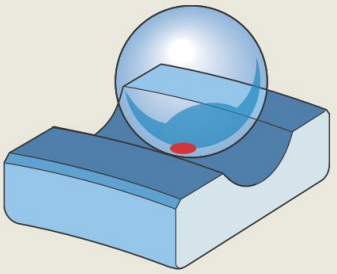
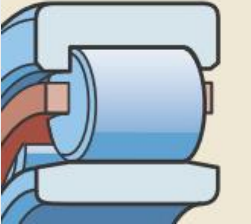
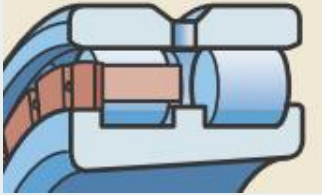

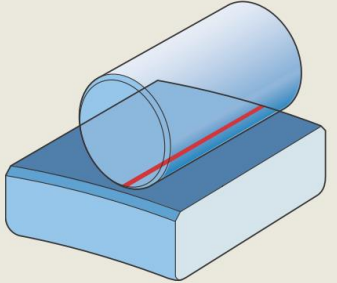


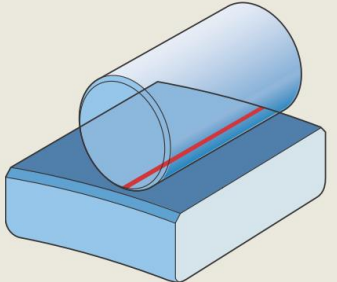
Elementos de Máquinas



# Tipo de Rolamentos

Capítulo 3

Elementos de Máquinas

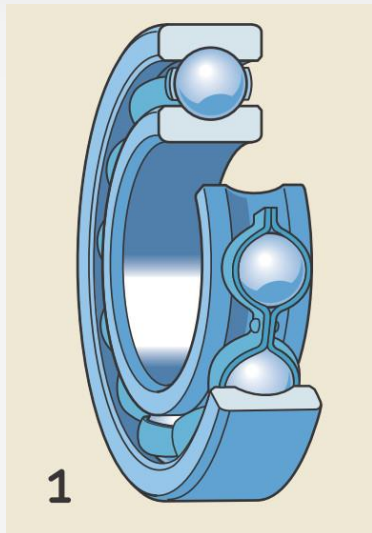
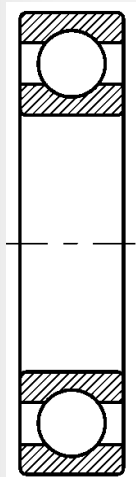
	Radiais	Axiais	Radiais e Axiais	Contacto
Esferas				
Rolos				
Agulhas				



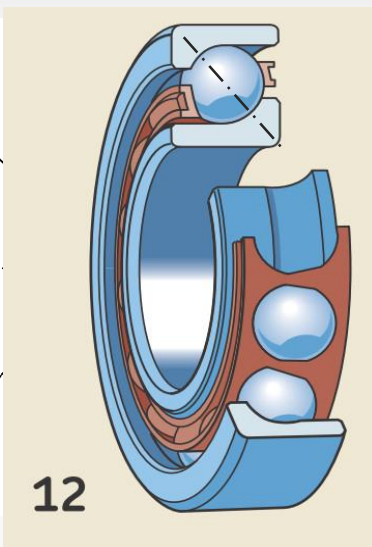
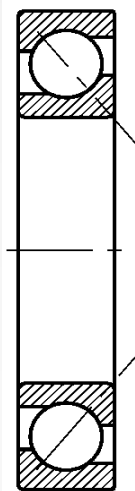
# Tipo de Rolamentos - Rolamento de esferas radiais

Capítulo 3

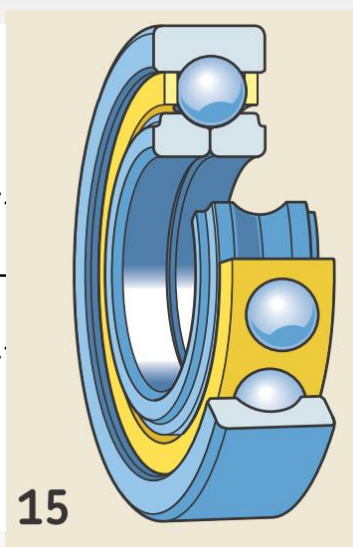
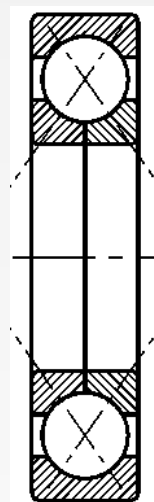
Elementos de Máquinas



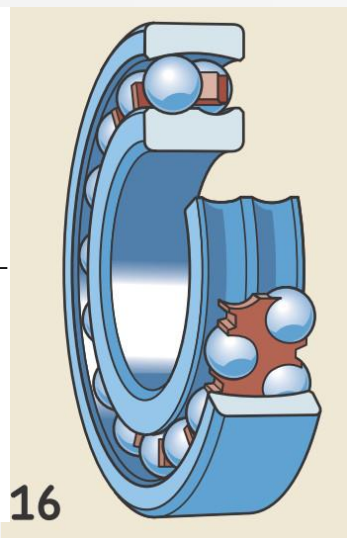
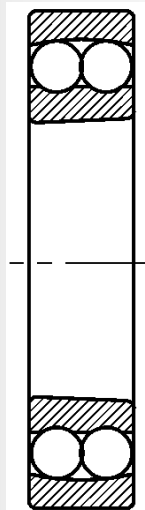
1



12



15



16

1 - Rolamento fixo de esferas de uma carreira

12 - Rolamento fixo de esferas de contacto angular de uma carreira

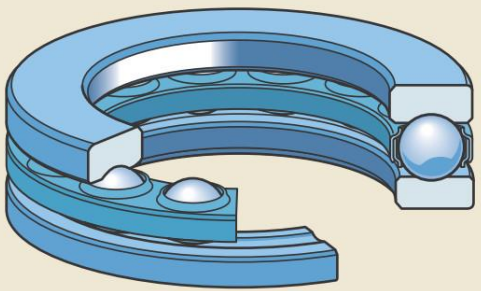
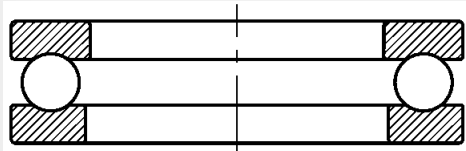
15 - Rolamento fixo de esferas de quatro pontos de contato

16 - Rolamento auto-compensadores de esferas

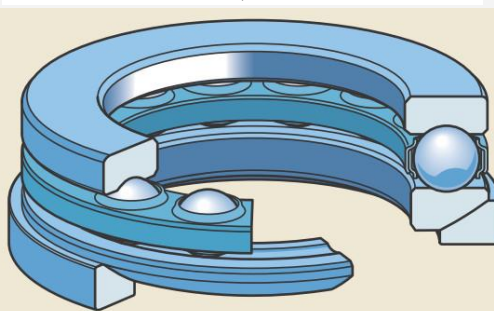
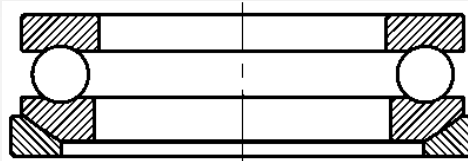


# Tipo de Rolamentos - Rolamento de esferas axiais

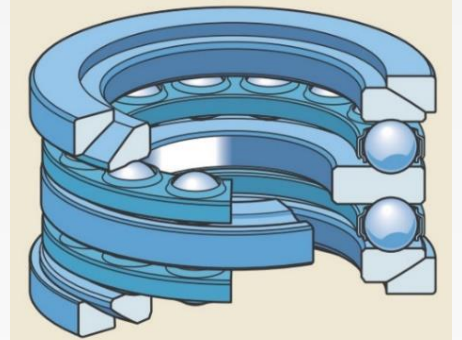
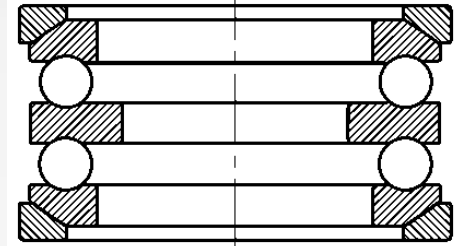
Capítulo 3



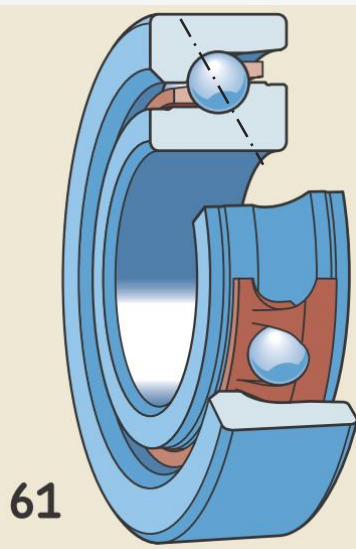
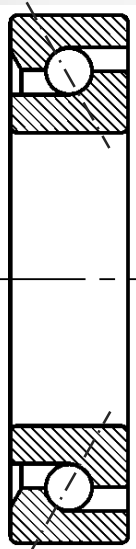
57



58



60



61

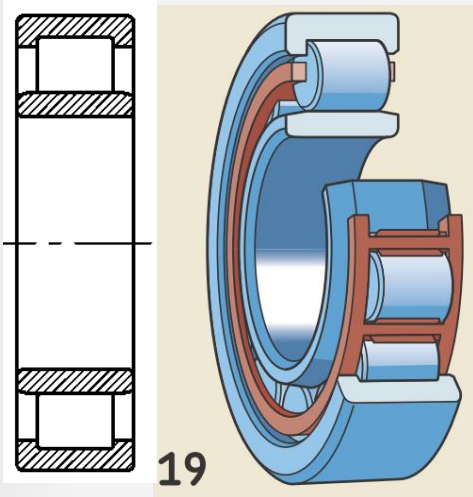
- 57 - Rolamento axial de esferas de escora simples
- 58 - Rolamento axial de esferas de escora simples com assento esférico
- 59 - Rolamento axial de esferas de escora dupla
- 61 - Rolamento axial de contacto angular de esferas de escora simples



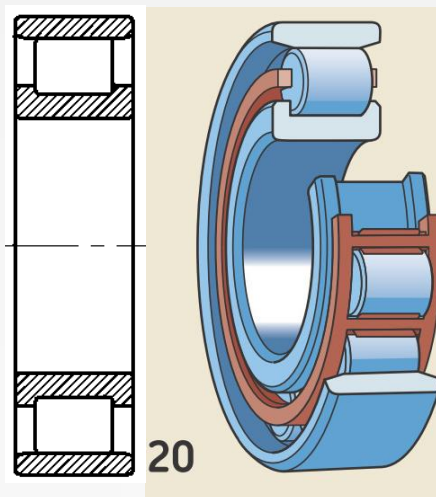
# Tipo de Rolamentos - Rolamento de rolos cilíndricos

Capítulo 3

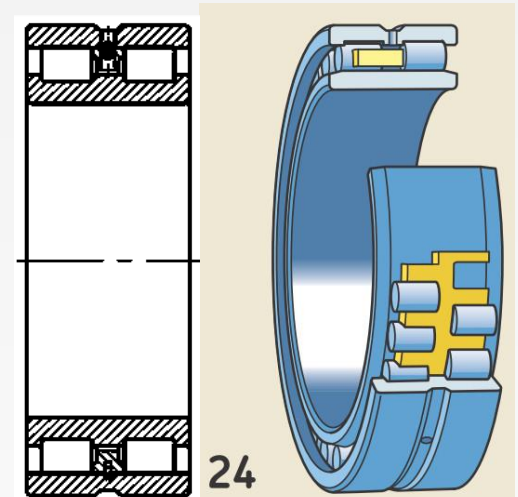
Elementos de Máquinas



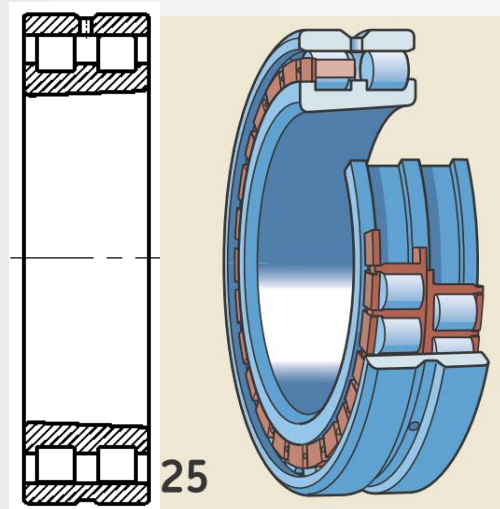
19



20



24



25

19 - Rolamento de rolos cilíndricos de uma carreira

20 - Rolamento de rolos cilíndricos de uma carreira com dois anéis de encosto

24 - Rolamento de rolos cilíndricos duas carreiras

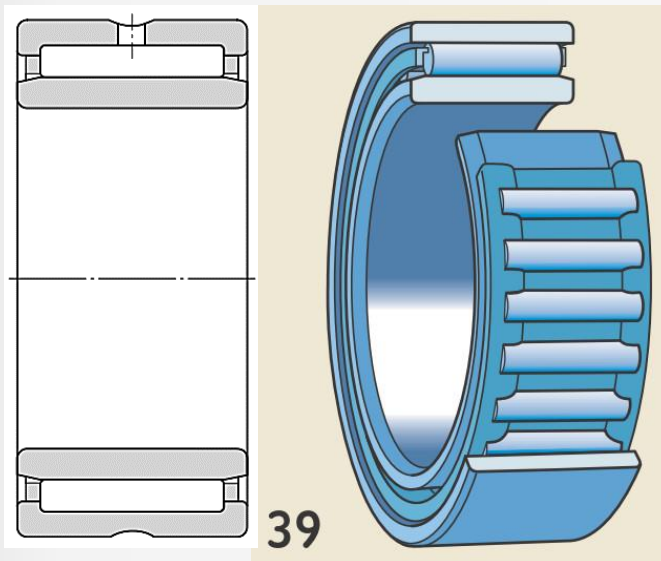
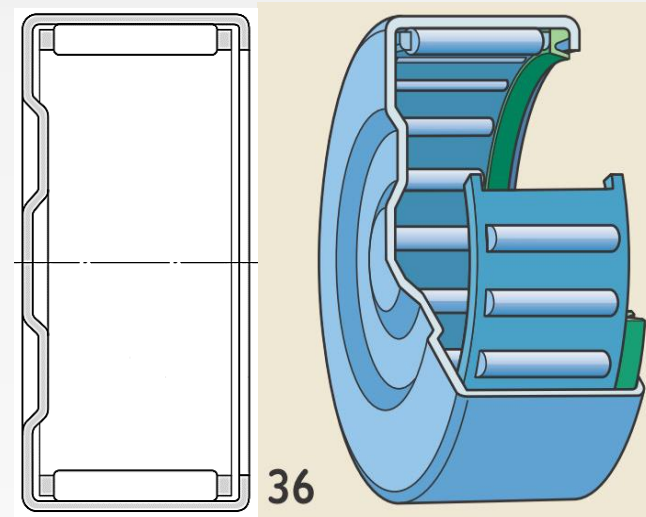
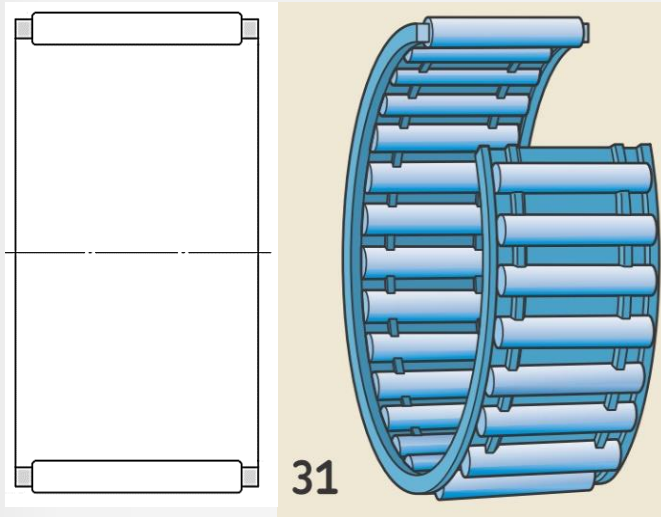
25 - Rolamento de rolos cilíndricos duas carreiras com furo cônico



# Tipo de Rolamentos - Rolamento de rolos de agulhas

Capítulo 3

Elementos de Máquinas



31 - Rolamento de rolos de agulha conjuntos de gaiola e rolos de agulhas de uma carreira

36 - Rolamento de rolos de agulha com capa estampada e extremidades fechada de uma carreira com vedação de contato

39 - Rolamento de rolos de agulha sem flanges de uma carreiras com anel interno

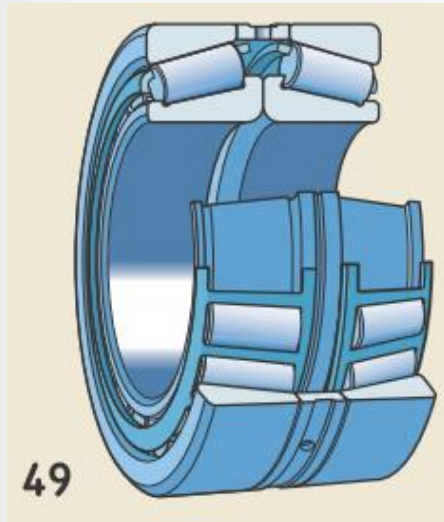
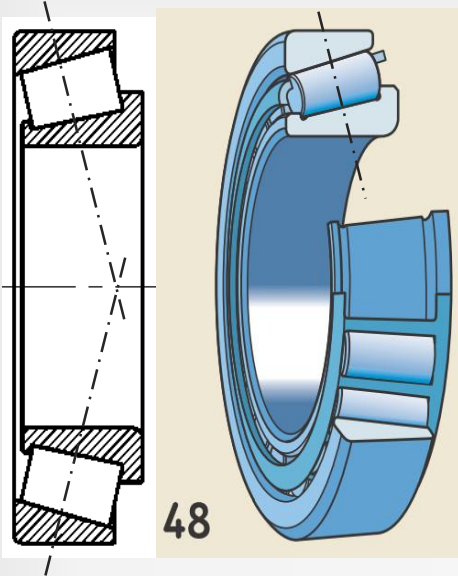




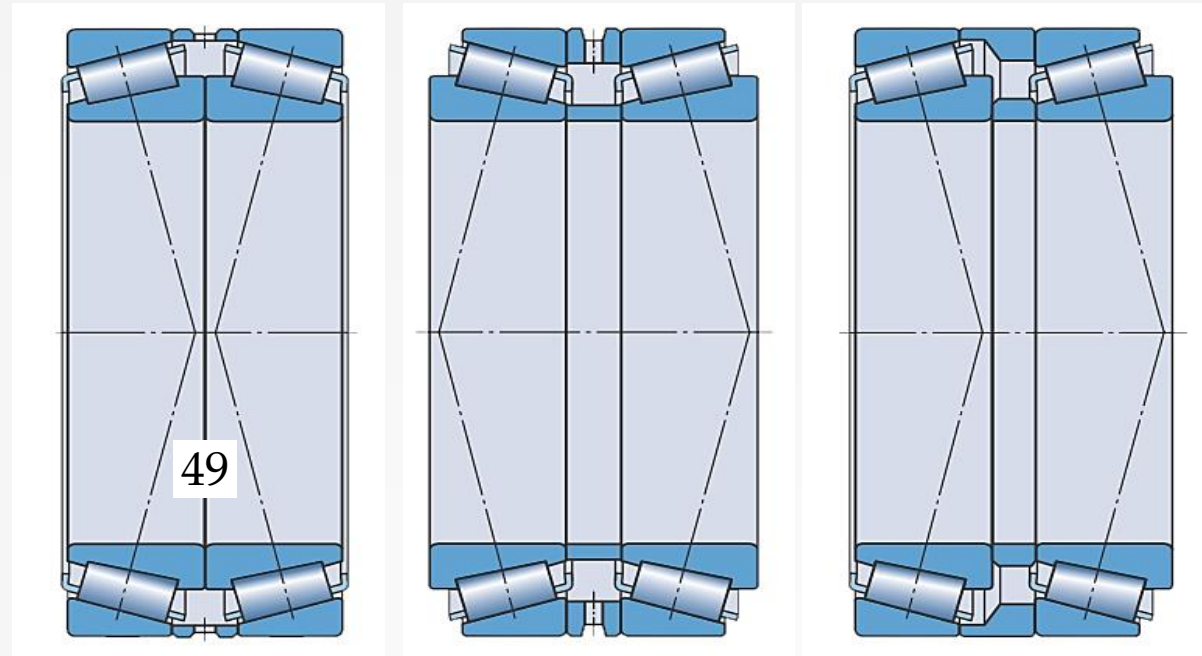
# Tipo de Rolamentos - Rolamento de rolos cónicos

Capítulo 3

Elementos de Máquinas



## Rolamentos de rolos cónicos pareados



disposição em X

disposição em O

disposição em tandem

48 - Rolamento de rolos cónicos de uma carreira

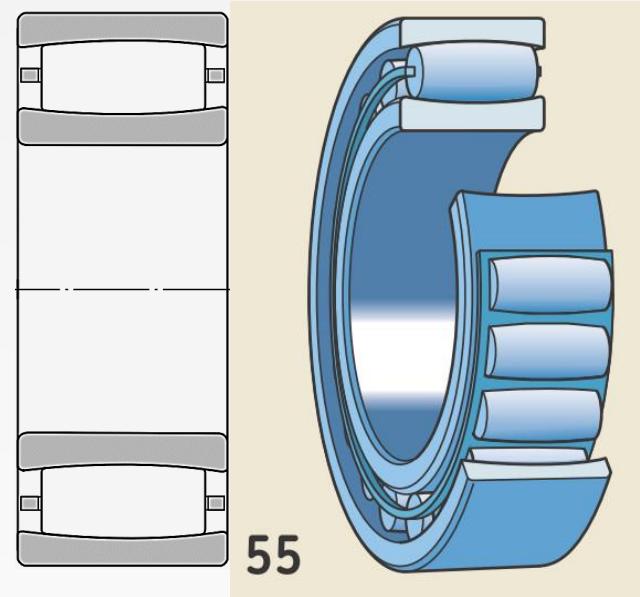
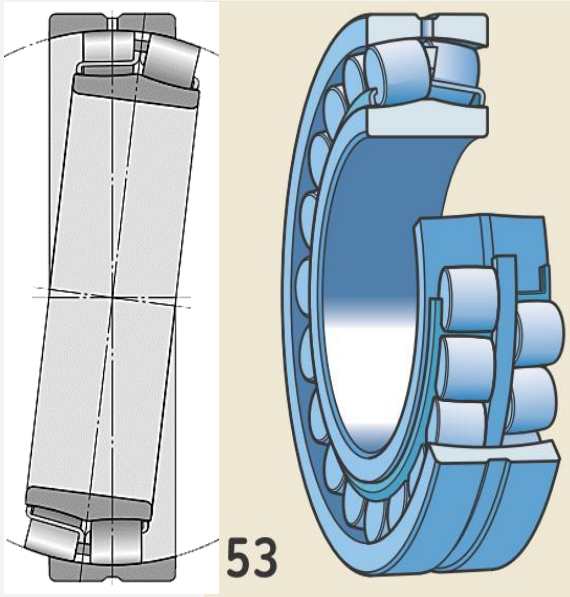
49 - Rolamento de rolos cónicos pareado – disposição em X



# Tipo de Rolamentos - Rolamento de rolos (outros)

Capítulo 3

Elementos de Máquinas



**Estes rolamentos tem o furo do anel interior cilíndrico ou cónico. Permitem que o eixo do veio tenha um desalinhamento.**

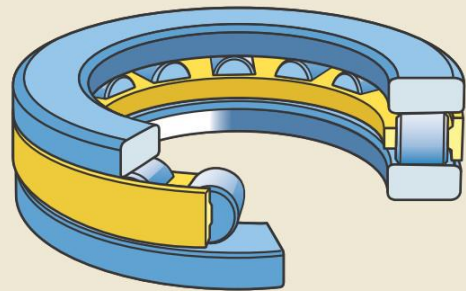
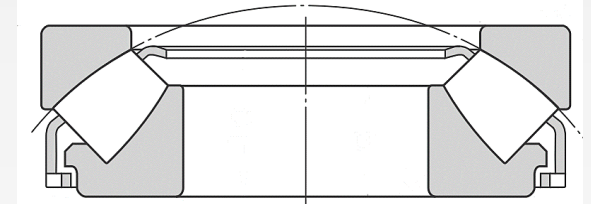
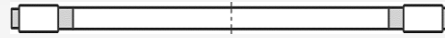
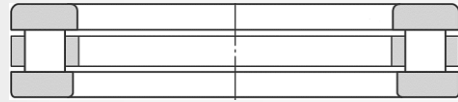
53 - Rolamento compensadores de rolos com furo cilíndrico

55 - Rolamento de rolos toroidais com furo cilíndrico

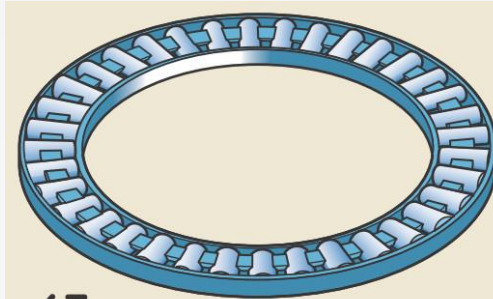


# Tipo de Rolamentos - Rolamento axiais de rolos

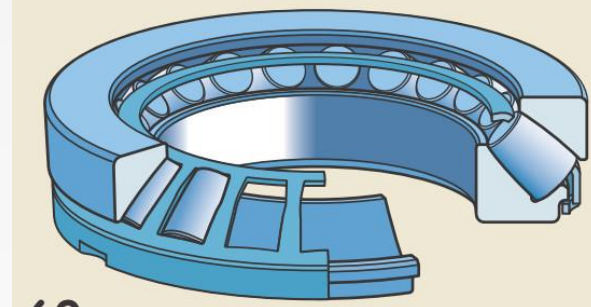
Capítulo 3



65



67



69

65 - Rolamento axial de rolos cilíndricos

67 - Rolamento axial de rolos de agulha de escora simples com conjuntos axial de gaiola e de rolos de agulhas

69 - Rolamento axial auto-compensadores de rolos



## Funções:

- Manter os corpos rolantes separados;
- Nos rolamentos separáveis previne que os corpos rolantes saiam dos anéis;
- Nos rolamentos de agulhas, guia os corpos rolantes de modo que rodem com um mínimo de atrito;
- Nos rolamentos lubrificadas com massa, permite a reserva de lubrificante .
- Sofrem Forças de atrito, tração e inércia.



## Poliamida

- Baixa densidade (baixa inércia);
- Baixo coeficiente de atrito (baixa geração de calor);
- Boas características de lubrificação;
- Limites na temperatura (110-120°C);
- Moldação por injeção.

## Aço

- Prensadas de chapa (são leves) ;
- Maquinadas: rolamentos grandes , suportam temperaturas até 300°C;

## Latão (liga Cu-Zn)

- Prensadas (rolamentos pequenos e médios)
- Maquinadas a partir de materiais fundidos ou forjados (maioria dos rolamentos).

Poliamida



Latão



Aço



# Critérios de Seleção

Capítulo 3

Cada tipo de rolamento tem propriedades características que os tornam particularmente apropriados para certas aplicações.

<b>Rolamentos</b>	<b>Características</b>	<b>Aplicações</b>
rígidos de esferas	<ul style="list-style-type: none"><li>- Suportam cargas radiais e axiais moderadas.</li><li>- Baixo momento de atrito.</li><li>- Produzidos com alta precisão.</li><li>- Baixo nível de ruído em funcionamento.</li></ul>	Exemplo: Motores elétricos pequenos e médios.
de rolos	<ul style="list-style-type: none"><li>- Suportam cargas altas</li><li>- Autoalinhanes</li></ul>	Aplicações pesadas



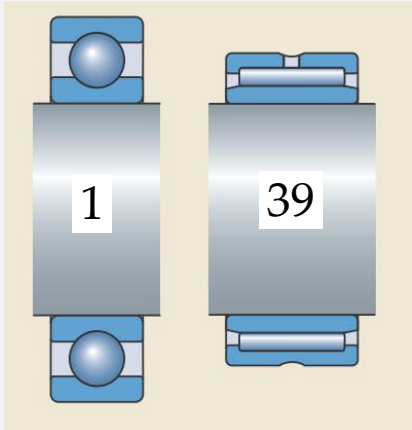
# Critérios de Seleção

Capítulo 3

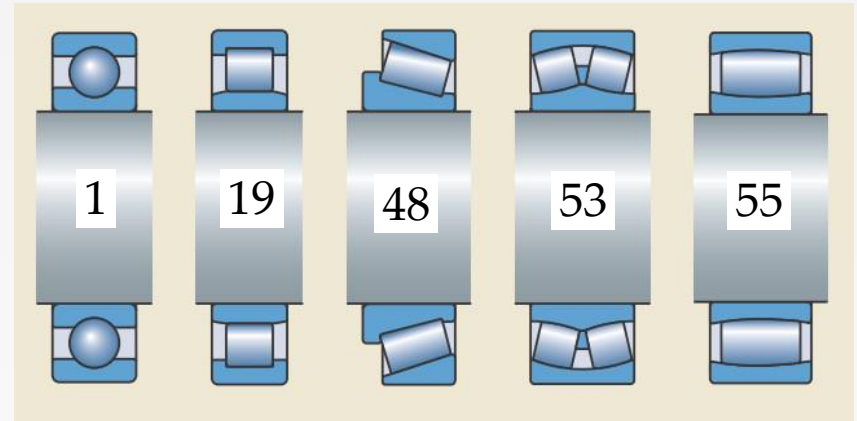
Elementos de Máquinas

## Espaço disponível

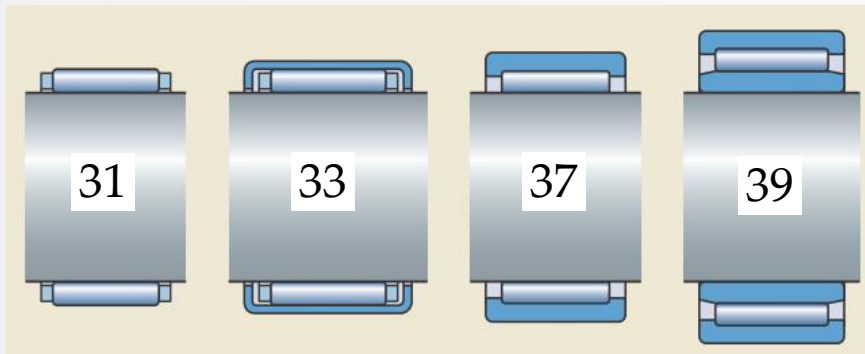
- Pequenos diâmetros de veio



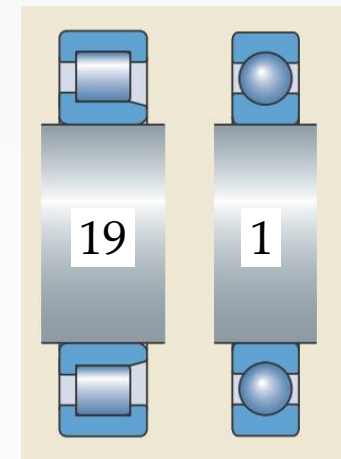
- Grandes diâmetros de veio



- Espaço radial limitado



- Espaço axial limitado

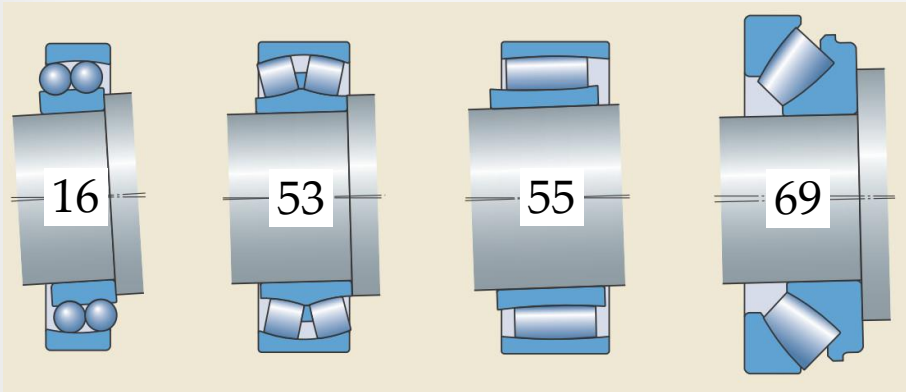




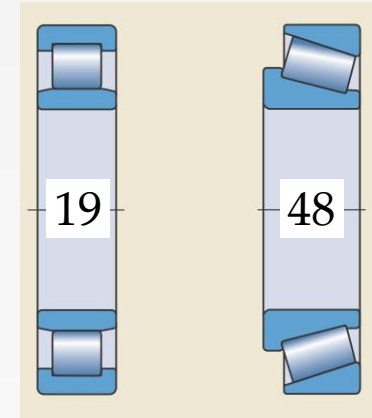
# Critérios de Seleção

Capítulo 3

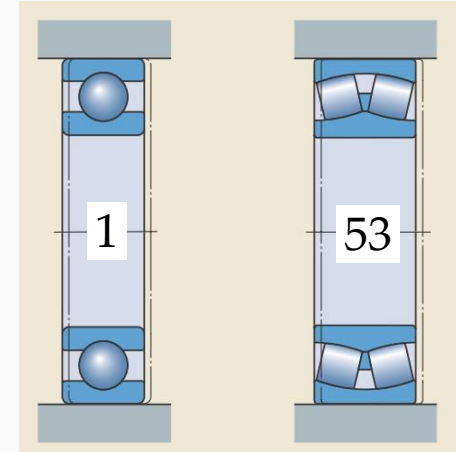
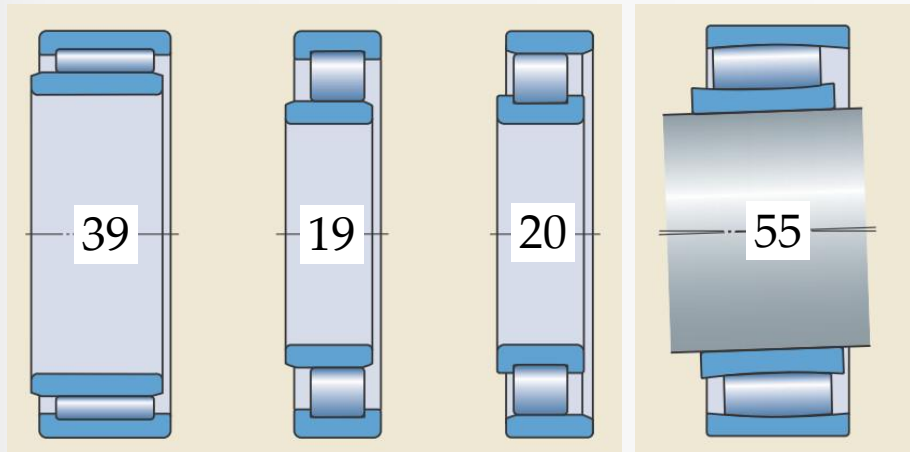
## Desalinhamento



## Rigidez



## Deslocamento axial



Elementos de Máquinas



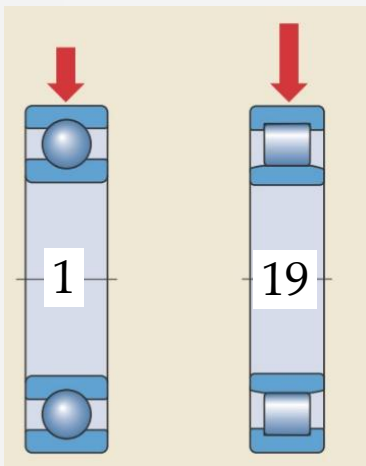


# Critérios de Seleção

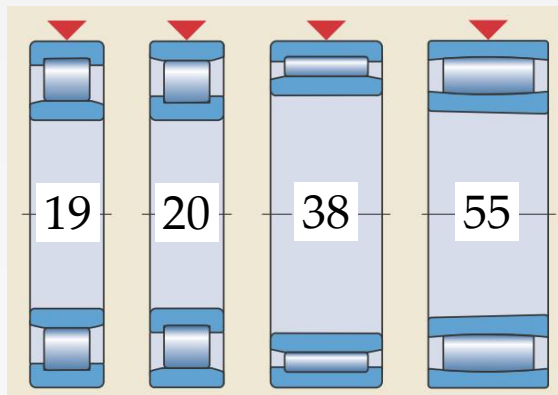
Capítulo 3

## Tipo de carga

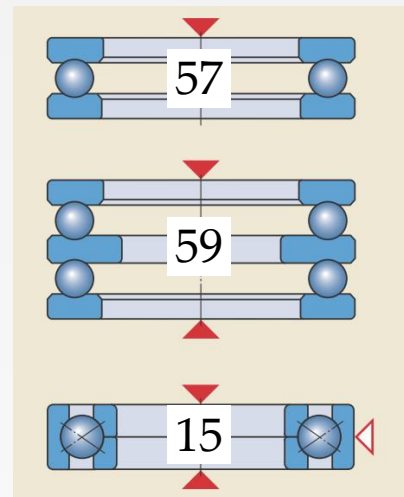
- Magnitude da carga



- Direção da carga

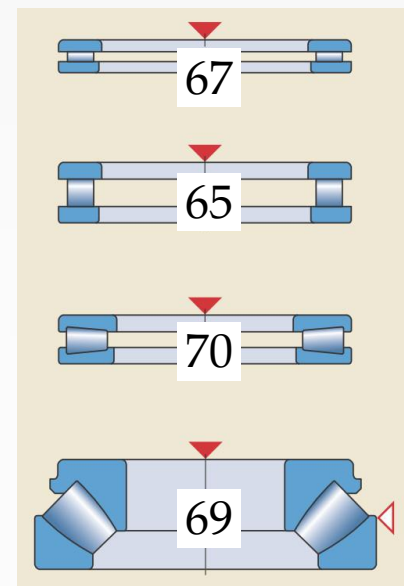
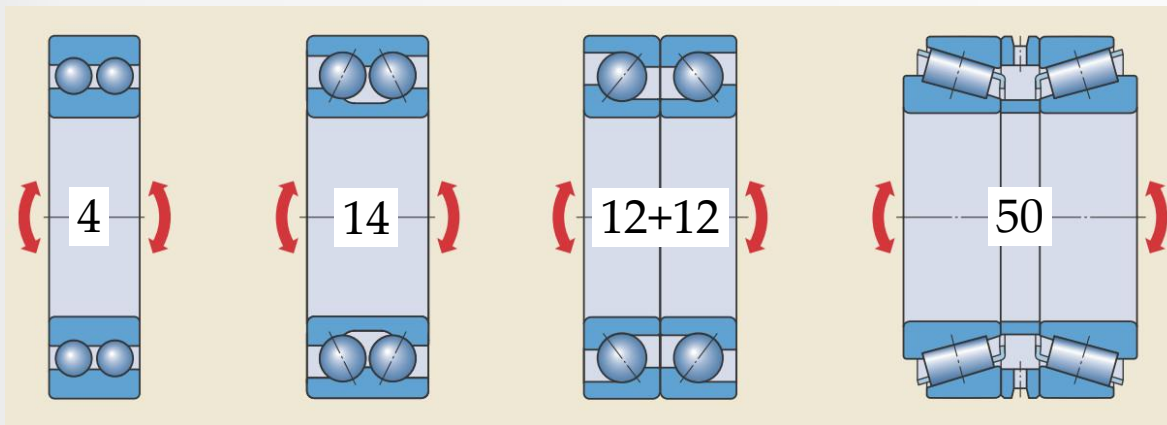


Cargas radiais grandes



Cargas axiais grandes

- Cargas de momento (carga excêntrica)



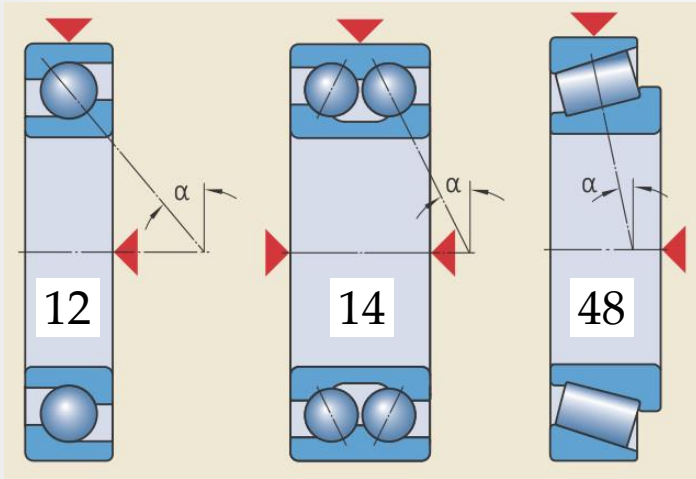
Elementos de Máquinas



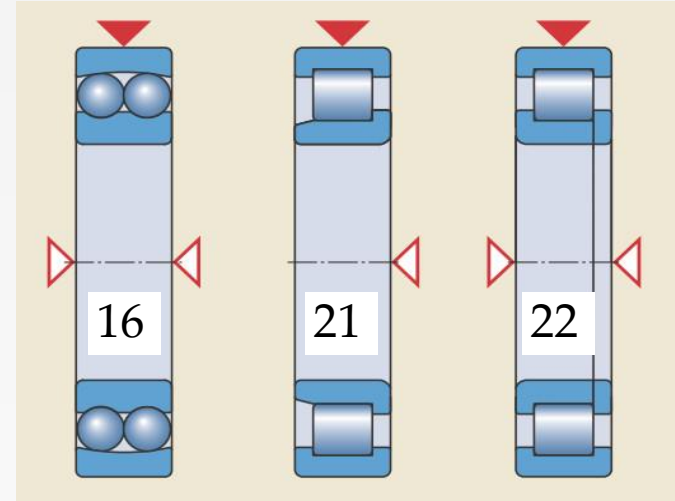
# Critérios de Seleção

Capítulo 3

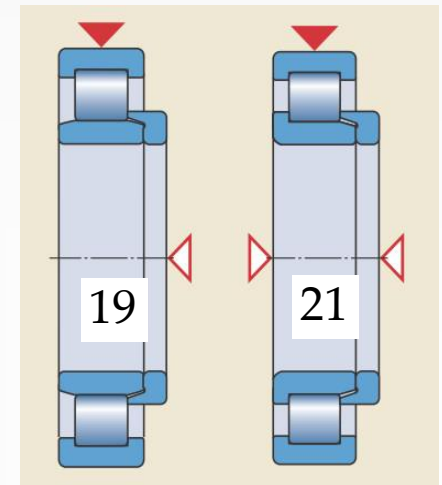
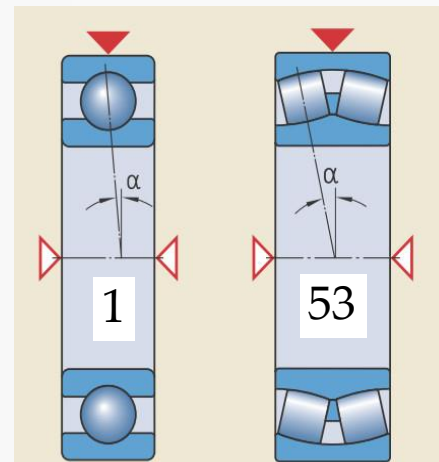
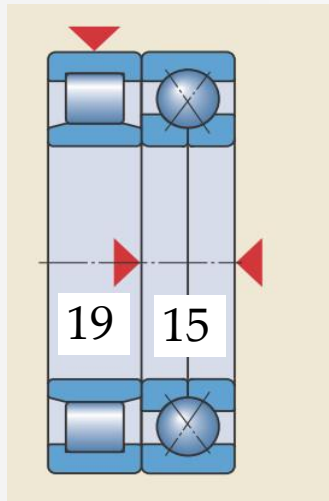
## Tipo de carga - Cargas combinadas



Cargas axiais grandes



Cargas axiais pequenas

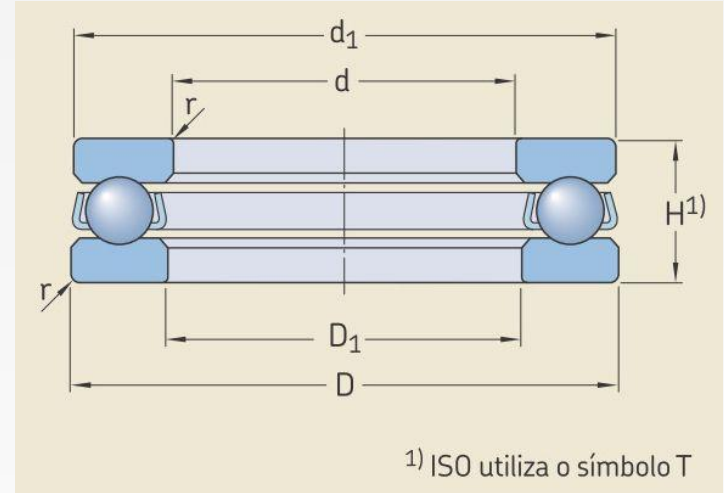
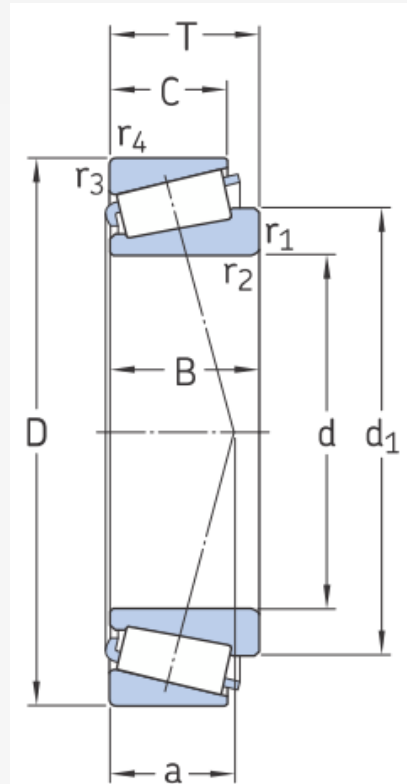
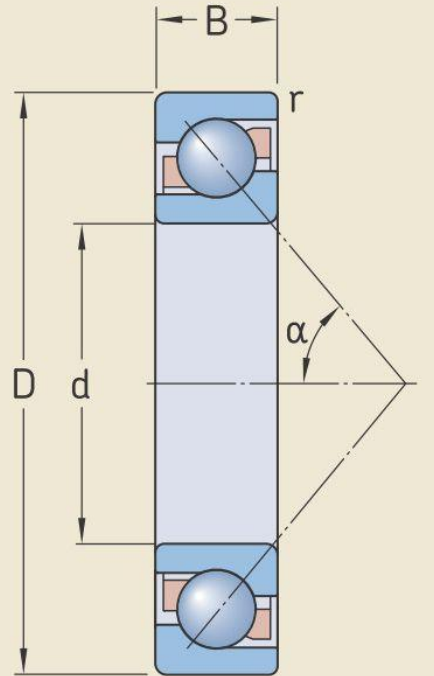




# Designação normalizada dos rolamentos

Capítulo 3

## Normas dimensionais



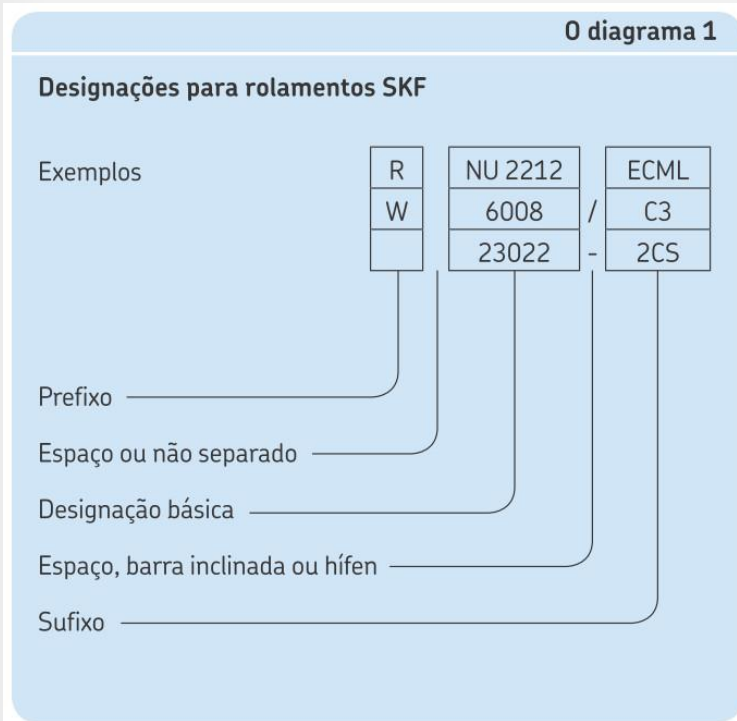
<sup>1)</sup> ISO utiliza o símbolo T

- (d) - o diâmetro do furo
- (D) - o diâmetro externo
- (B, C, T ou H) - a largura ou altura
- (r) - raios do chanfro
- ( $\alpha$ ) - angulo de contacto



# Designação normalizada dos rolamentos

O diagrama 1



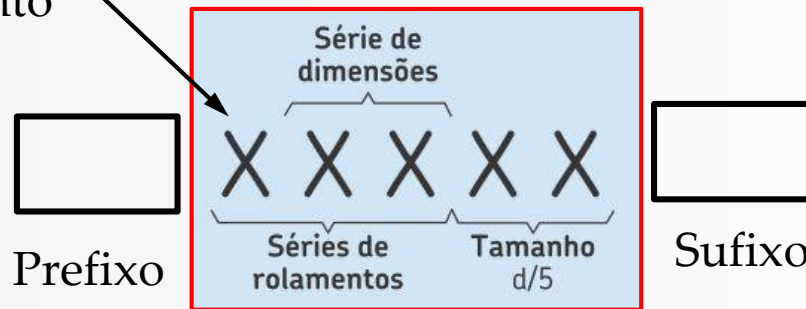
**Prefixo:** Indica que se trata de um componente de um rolamento. Por exemplo, K conjunto de gaiola e rolos para rolamentos radiais.

**Designação Básica:** Indica o tipo de rolamento, a série de dimensão e tamanho.

**Sufixo:** são utilizados para identificar construções que diferem da original.

Tipo de rolamento

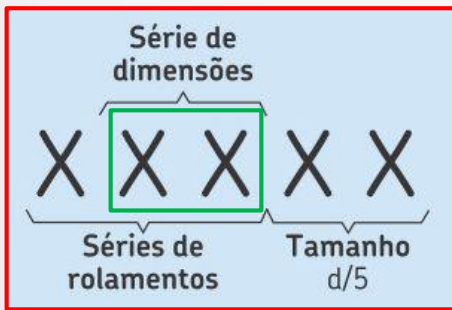
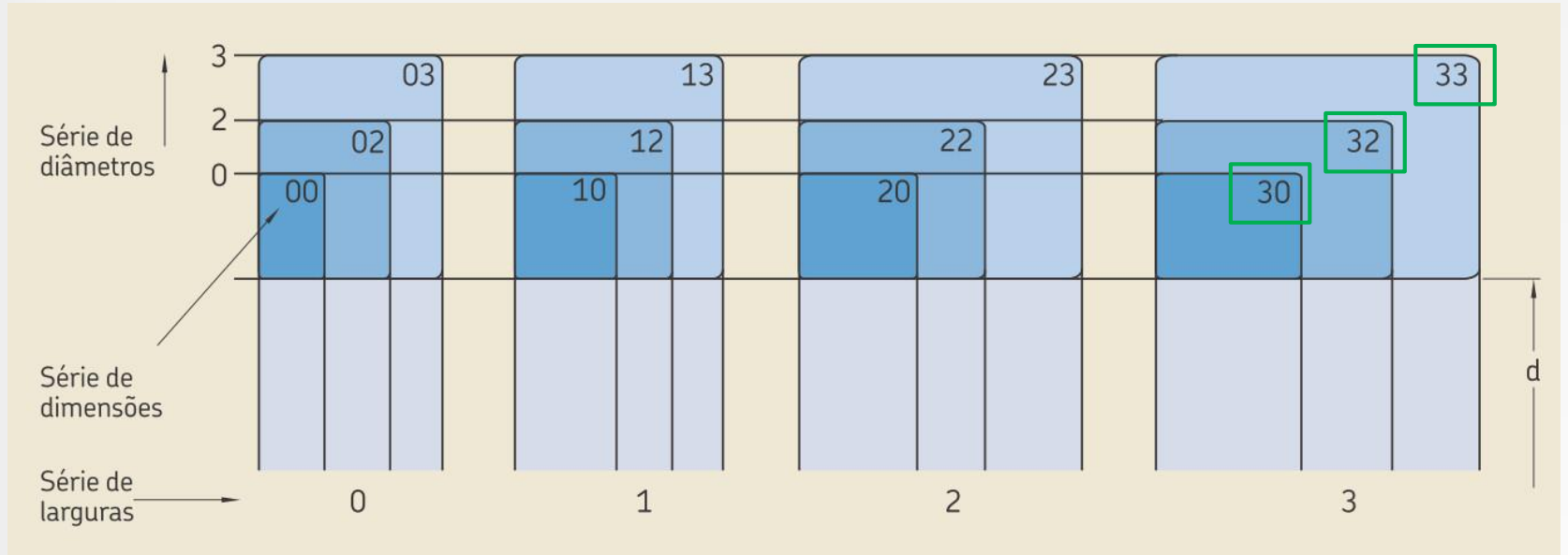
Designação Básica





# Designação normalizada dos rolamentos

**Série de dimensões** = “Série de Larguras” + “Série de Diâmetros”



Radial - Série de Larguras (B, T): 8, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6

Axial - Série de Larguras (H ou T): 7, 9, 1, 2

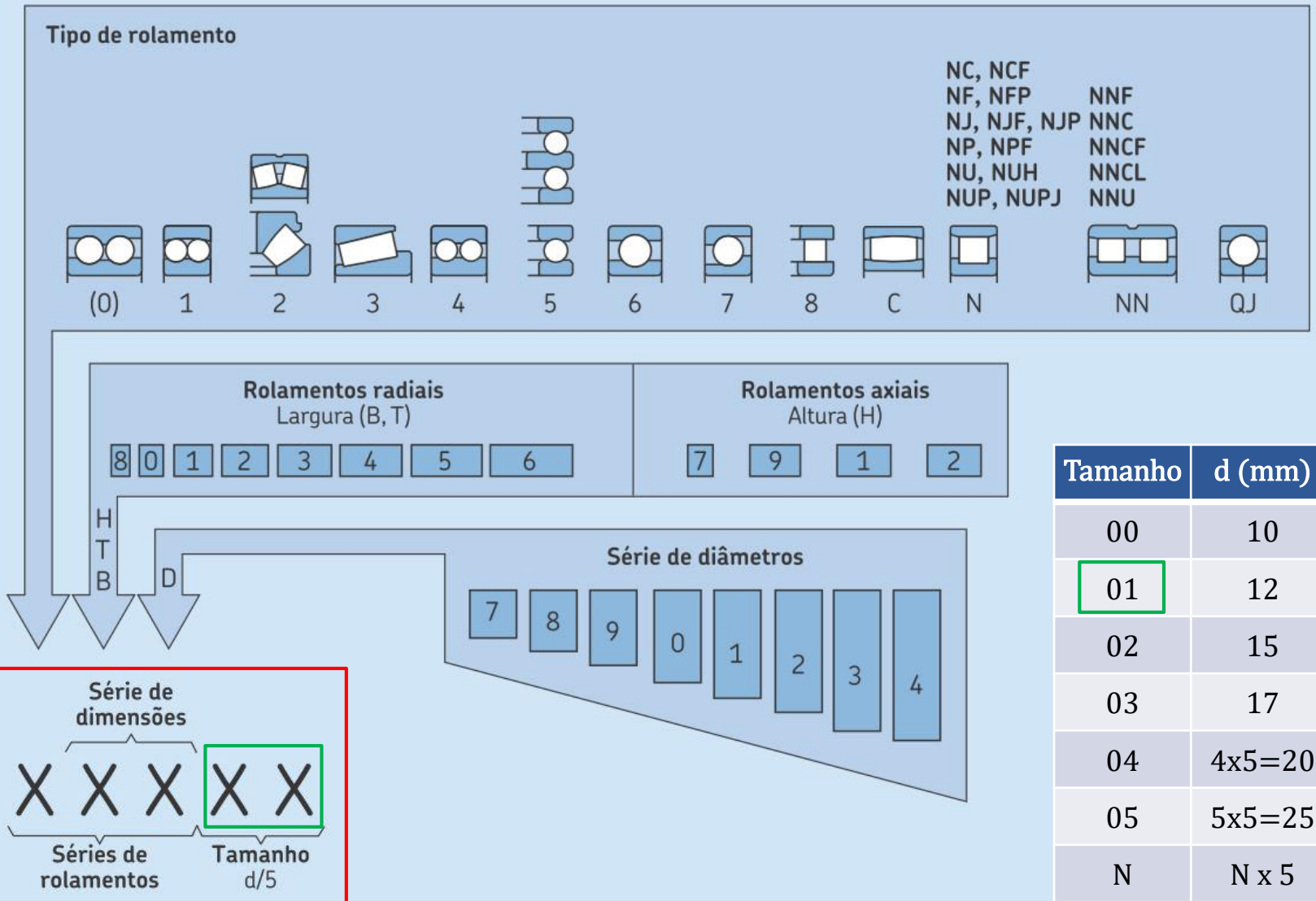
Série de Diâmetros: 7, 8, 9, 0, 1, 2, 3, 4





# Designação normalizada dos rolamentos

## Tamanho





# Designação normalizada dos rolamentos - Exemplos

Capítulo 3

## 6210.2Z.MAS.P6.S2

62 - Rolamento rígido de esferas (6)

Série de largura, B (0)

Série de diâmetro, D (2)

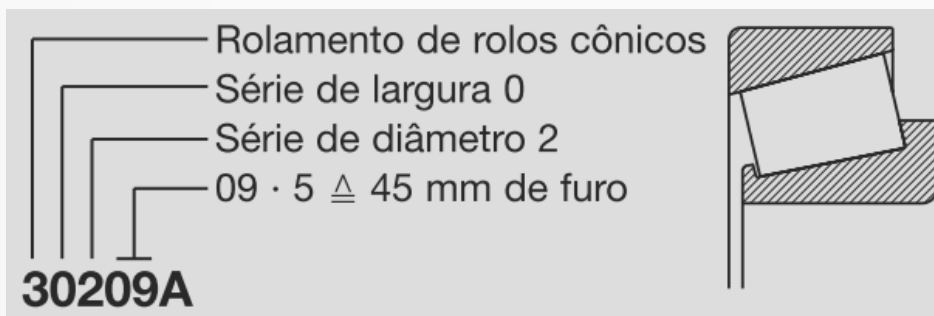
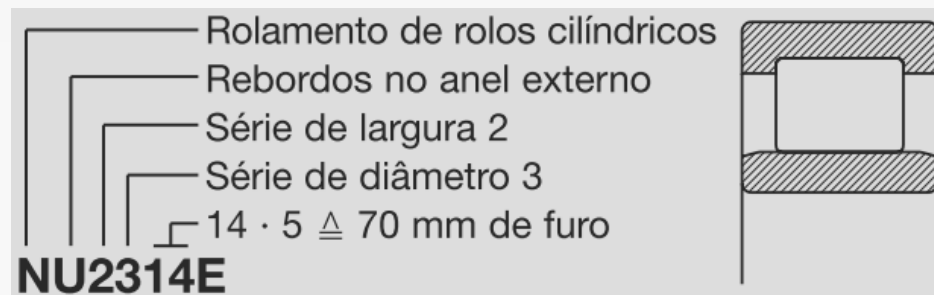
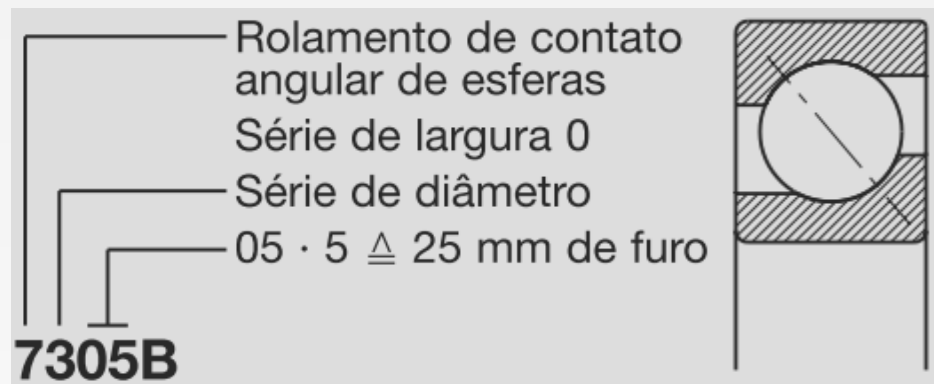
10 - Diâmetro interior, d (50 mm)

2Z - Blindagem dos dois lados

MAS - Gaiolas maciças de latão, ...

P6 - Classe de tolerância (P6)

S2 - Temperatura de serviço (até 250°C)





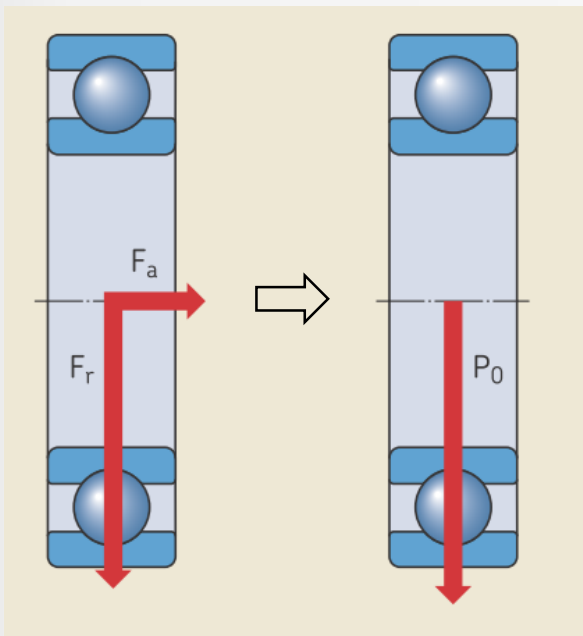


# Calculo estático do rolamento

## Carga estática

$$P_0 = X_0 F_r + Y_0 F_a$$

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0}$$



$P_0$  - carga estática equivalente [ $kN$ ] (rolamento)

$F_r$  - carga radial sobre o rolamento [ $kN$ ]

$F_a$  - carga axial sobre o rolamento [ $kN$ ]

$X_0$  - fator estático de carga radial (rolamento)

$Y_0$  - fator estático de carga axial (rolamento)

$C_0$  - capacidade carga estática (rolamento) [ $kN$ ]

corresponde a uma tensão de contacto de

$\Rightarrow$  4200 MPa para rolamentos de esferas;

$\Rightarrow$  4000 MPa para rolamentos de rolos

$s_0$  - fator de segurança estático

Não deve ser inferior aos valores da Tabela 11



# Calculo da vida do rolamento - SKF

## Carga dinâmica

$$P = XF_r + YF_a$$

$P$  - carga dinâmica equivalente [kN] (rolamento)

$X$  - fator dinâmico de carga radial (rolamento)

$Y$  - fator dinâmico de carga axial (rolamento)

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

$C$  - capacidade carga dinâmica (rolamento) [kN]  
(carga suportada para  $10^6$  de *rotações*)

$p$  - expoente da formula da vida, sendo

$p = 3$  para rolamento de esferas

$p = 10/3$  para rolamento de rolos

$$L_{nm} = a_1 a_{SKF} \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

$a_1$  - fator de fiabilidade (Tabela 1 – norma ISO 281)

$a_{SKF}$  - fator de modificação da vida SKF (diagramas)

A norma ISO 281 considera

- o limite de carga de fadiga,  $P_u$  (rolamento)

- a temperatura de serviço,  $T$

- a lubrificação e a sua contaminação

$$L_h = \frac{10^6}{60n} L$$

$n$  - velocidade de rotação [rpm]

$L_{10}$  - vida nominal (para 10% de falha) [ $10^6$  *rotações*]

$L_{10h}$  - vida nominal em [*horas*]

$L_{nm}$  - vida nominal ajustada SKF (para 10% de falha) [ $10^6$  *rotações*]

$L_{nmh}$  - vida nominal ajustada SKF em [*horas*]



# Catalogo de rolamento - SKF - Exemplo

Para encontrar um rolamento que satisfaça as condições do projeto temos que realizar um processo iterativo de escolha de um rolamento com a respetiva verificação dos requisitos de vida impostas.

Dimensões principais			Classificações básicas de carga		Limite de carga de fadiga $P_u$	Classificações de velocidade		Massa	Designação
d	D	B	dinâmica C	estática $C_0$		Velocidade de referência	Velocidade-limite		
mm			kN		kN	r/min		kg	-
40	52	7	4,49	3,75	0,16	26 000	16 000	0,032	61808
	62	12	13,8	10	0,425	24 000	14 000	0,12	61908
	68	9	13,8	10,2	0,44	22 000	14 000	0,13	* 16008
	68	15	17,8	11	0,49	22 000	14 000	0,19	* 6008
	80	18	32,5	19	0,8	18 000	11 000	0,37	* 6208
	80	18	35,8	20,8	0,88	18 000	11 000	0,34	6208 ETN9
	90	23	42,3	24	1,02	17 000	11 000	0,63	* 6308
	110	27	63,7	36,5	1,53	14 000	9 000	1,25	6408
45	58	7	6,63	6,1	0,26	22 000	14 000	0,04	61809
	68	12	14	10,8	0,465	20 000	13 000	0,14	61909
	75	10	16,5	10,8	0,52	20 000	12 000	0,17	* 16009
	75	16	22,1	14,6	0,64	20 000	12 000	0,24	* 6009



A **temperatura de serviço**  $T$  influencia bastante a vida do rolamento.

- Os rolamentos de aço podem ser utilizados até  $+125^{\circ}\text{C}$ ;
- Temperaturas acima de  $+125^{\circ}\text{C}$  exigem um tratamento térmico especial;
- A temperatura limite de aplicação é de aproximadamente  $350^{\circ}\text{C}$ .

## Condições de lubrificação (Tabela 3, diagrama 5 e 6)

A viscosidade de um óleo é definida pela sua viscosidade a  $T= 40^{\circ}\text{C}$ .

Um lubrificante adequado deverá ter uma determinada viscosidade mínima quando o rolamento tiver atingido sua temperatura operacional.

A condição do lubrificante é descrita pela **relação de viscosidade**  $\kappa = \frac{\nu}{\nu_1}$ .

Esta relação é definida entre:

- a **viscosidade operacional real** do lubrificante,  $\nu$  e
- a **viscosidade nominal** do lubrificante,  $\nu_1$ , para a lubrificação adequada, quando o lubrificante está na temperatura operacional normal,  $40^{\circ}\text{C}$ .



## Fator $\eta_c$ para nível de contaminação (Tabela 4)

A influência da contaminação na fadiga do rolamento depende de vários parâmetros, incluindo o tamanho do rolamento, a espessura relativa do filme lubrificante, o tamanho e a distribuição de partículas contaminantes sólidas e tipos de contaminantes (leve, pesada, etc.).

O fator de modificação da vida,  $a_{SKF}$ , representa a conexão entre:

- a relação do limite de carga de fadiga ( $\frac{P_u}{P}$ ),
- a condição de lubrificação (relação de viscosidade  $\kappa = \frac{\nu}{\nu_1}$ ) e
- o nível de contaminação no rolamento ( $\eta_c$ )

$\nu$  - viscosidade operacional real do lubrificante

$\nu_1$  - viscosidade nominal do lubrificante, depende do  $d_m$  [mm] e de  $n$  [rpm]

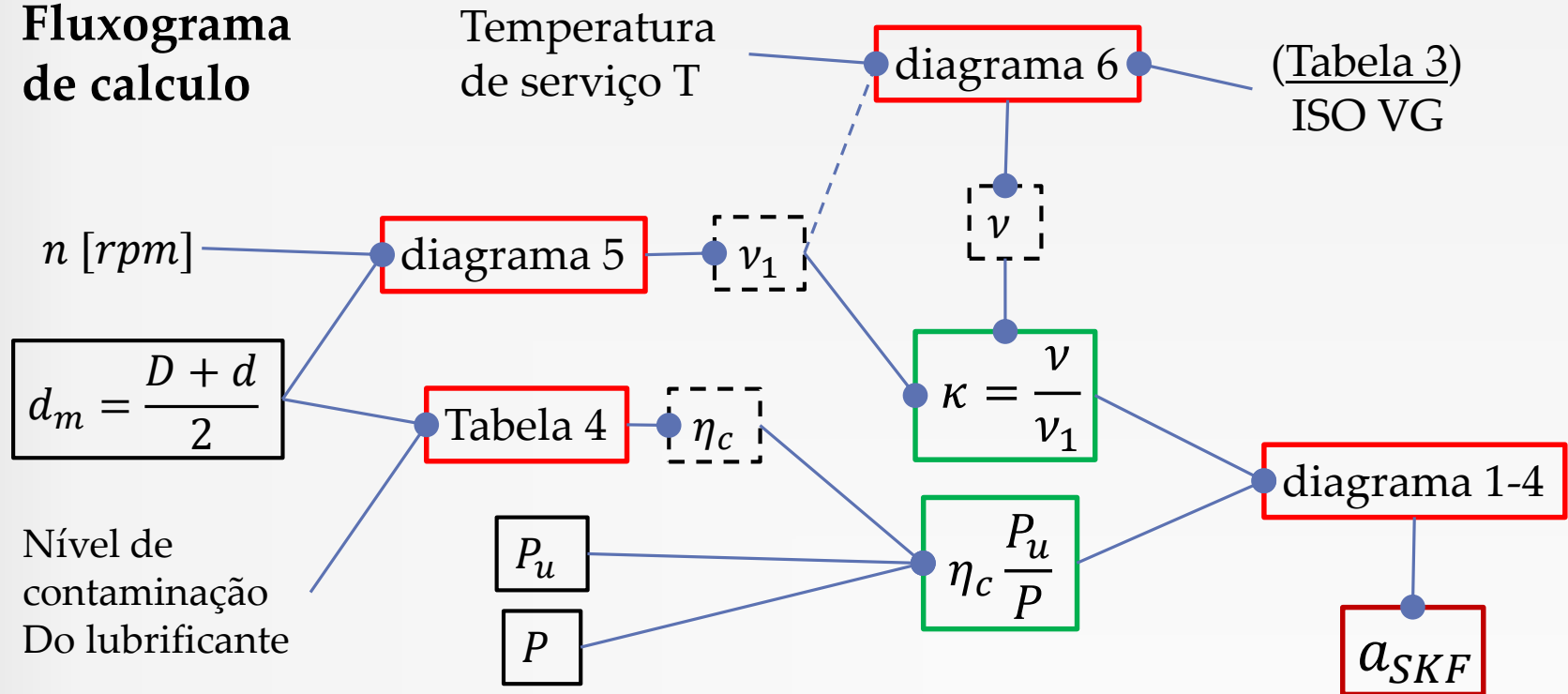
$\eta_c$  - fator de ajuste para contaminação

$P_u$  - limite da carga de fadiga (rolamento)



# Calculo do fator de modificação da vida - $a_{SKF}$

## Fluxograma de calculo



$v$  - viscosidade operacional real do lubrificante

$v_1$  - viscosidade nominal do lubrificante, depende do  $d_m$  [mm] e de  $n$  [rpm]

$\kappa$  - relação de viscosidade

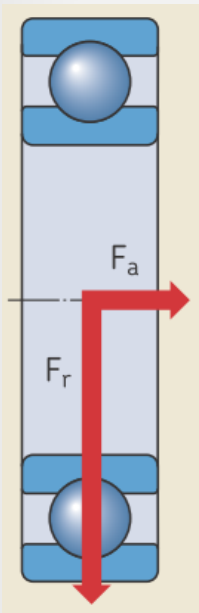
$\eta_c$  - fator de ajuste para contaminação

$P$  - carga dinâmica equivalente (rolamento)

$P_u$  - limite da carga de fadiga (rolamento)



# Seleção de rolamentos rígidos de esferas



## Passos (vida nominal ajustada)

- Identificação de  $F_r$  e  $F_a$  (caso exista)
- Escolha um rolamento 6xxx
- **Determine  $P$**
- Determine vida nominal
- Determine  $a_1$  e  $a_{SKF}$
- Determine vida nominal ajustada

$$F_a/F_r \leq e \rightarrow P = F_r$$

$$F_a/F_r > e \rightarrow P = X F_r + Y F_a$$

Fatores de cálculo para rolamentos rígidos de esferas

Rolamentos de uma e de duas carreiras Folga normal			
$f_0 F_a/C_0$	e	X	Y
0,172	0,19	0,56	2,3
0,345	0,22	0,56	1,99
0,689	0,26	0,56	1,71
1,03	0,28	0,56	1,55
1,38	0,3	0,56	1,45
2,07	0,34	0,56	1,31
3,45	0,38	0,56	1,15
5,17	0,42	0,56	1,04
6,89	0,44	0,56	1

Dimensões principais			Classificações básicas de carga		Limite de carga de fadiga $P_u$
d	D	B	dinâmica C	estática $C_0$	
mm			kN		kN
25	37	7	4,36	2,6	0,125
	42	9	7,02	4,3	0,193
	47	8	8,06	4,75	0,212
	47	12	11,9	6,55	0,275

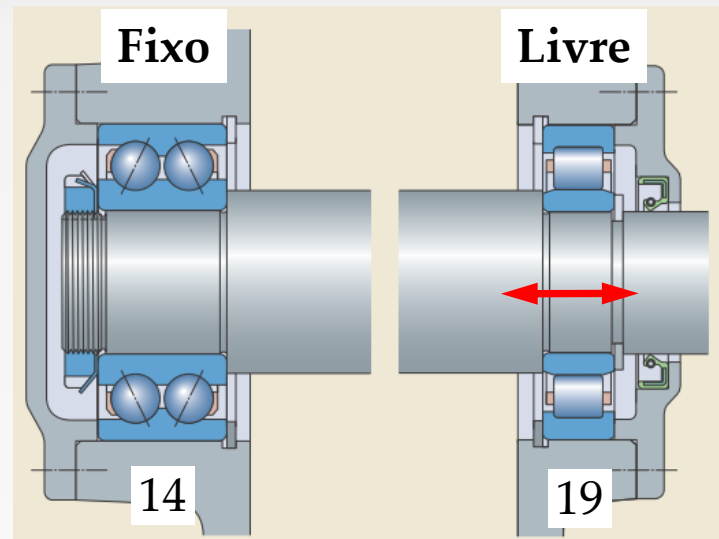
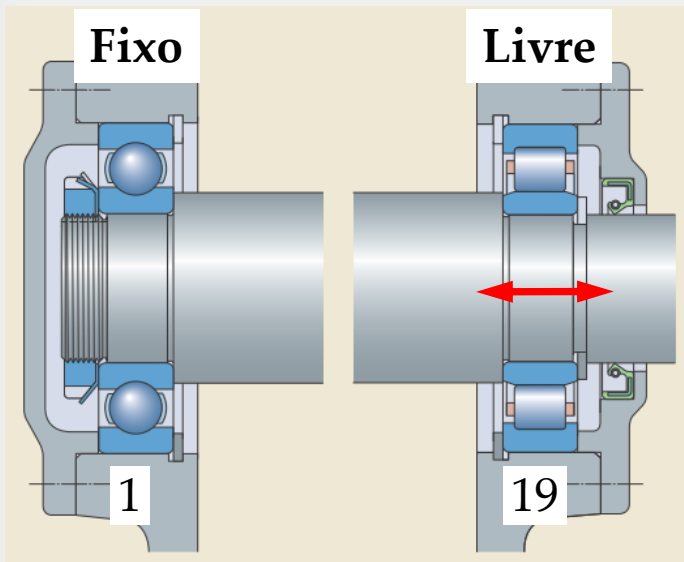
Dimensões de encosto e raio			Fatores de cálculo	
$d_a$ min.	$D_a$ max.	$r_a$ max.	$k_r$	$f_0$
mm			-	
27	35	0,3	0,015	14
27	40	0,3	0,02	15
27	45	0,3	0,02	15
28,2	43,8	0,6	0,025	14



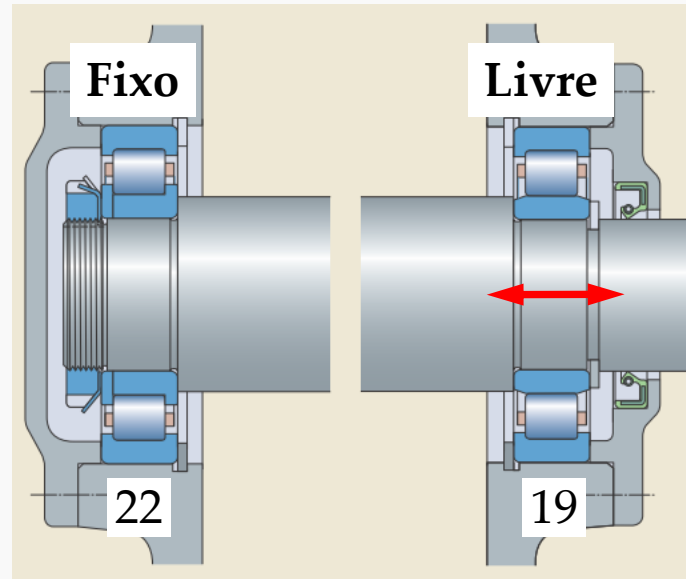
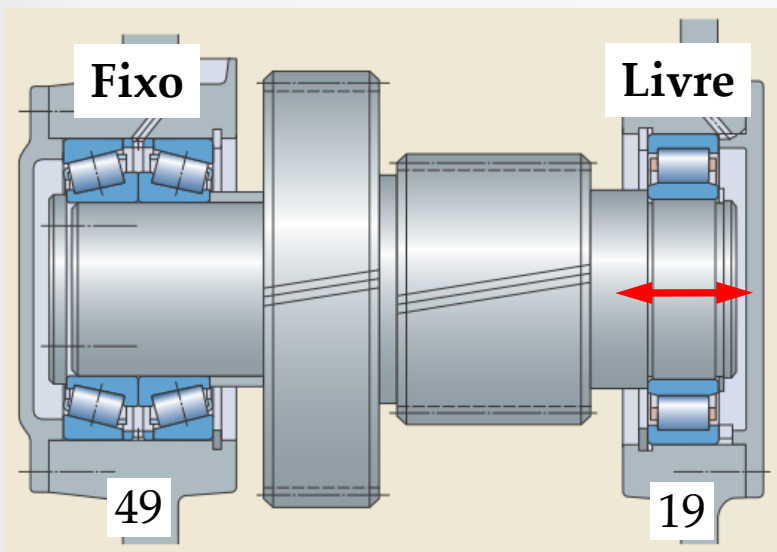
# Disposição dos rolamentos em projeto – Fixo-Livre

Capítulo 3

Elementos de Máquinas



O anel interior do rolamento de rolos (direito) tem um deslocamento axial.



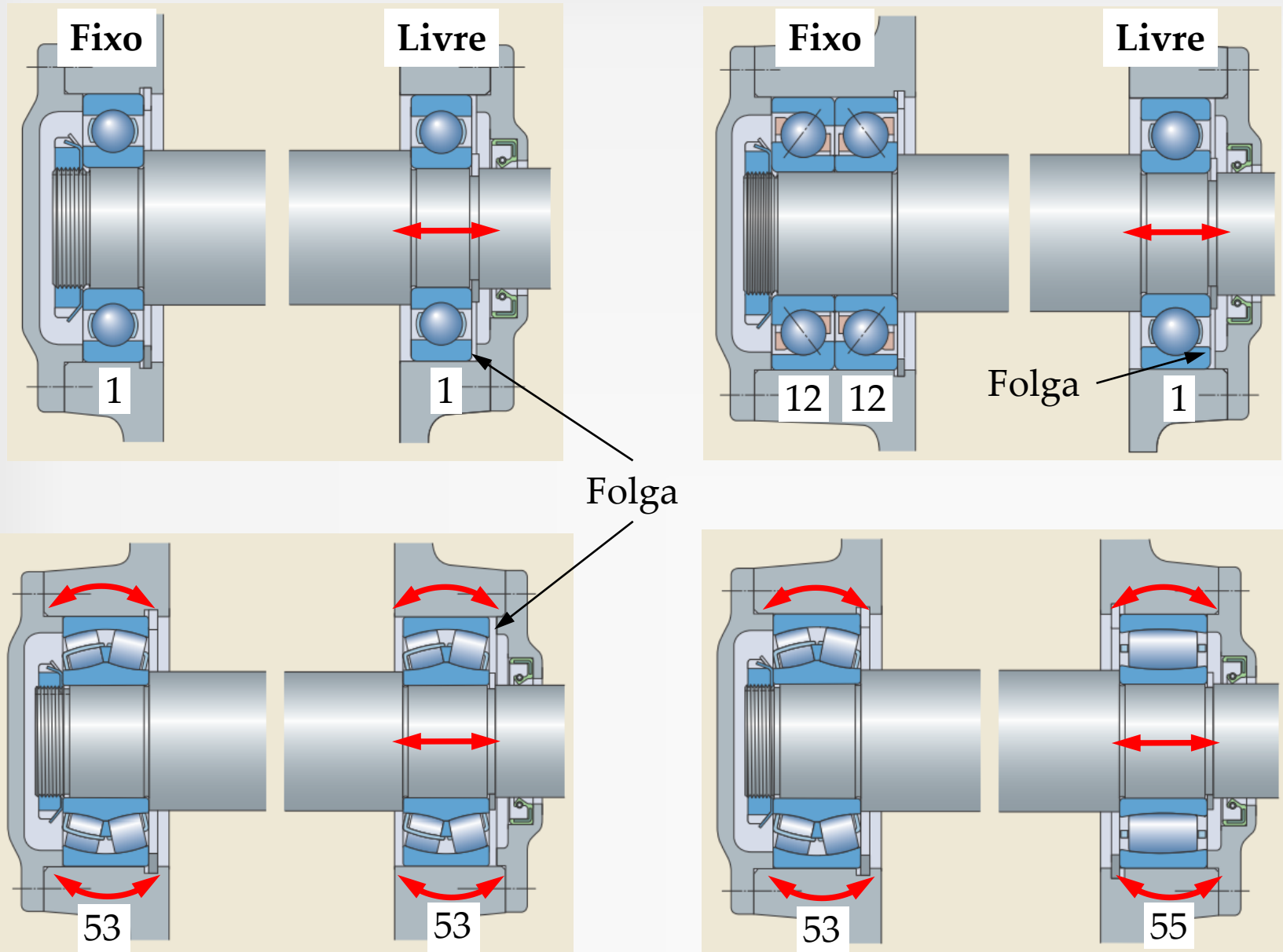




# Disposição dos rolamentos em projeto

Capítulo 3

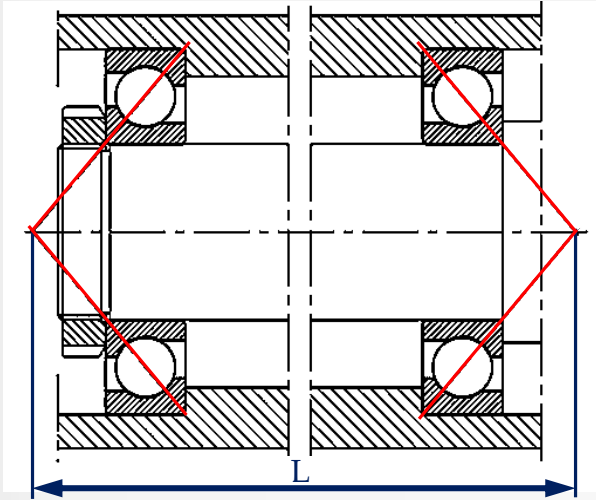
Elementos de Máquinas





# Disposição dos rolamentos em projeto

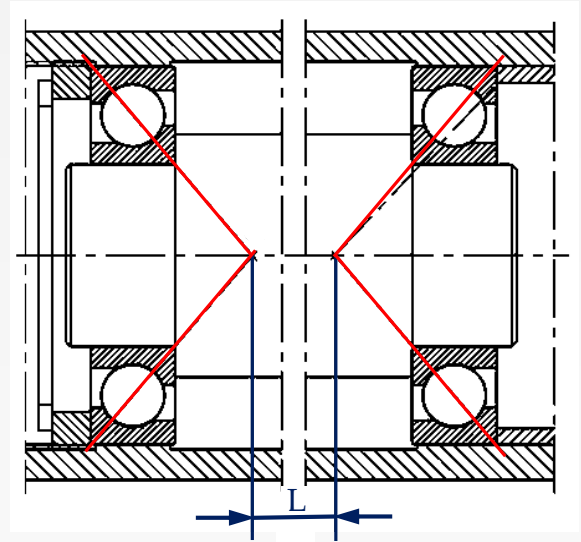
## Sistema de rolamentos ajustados



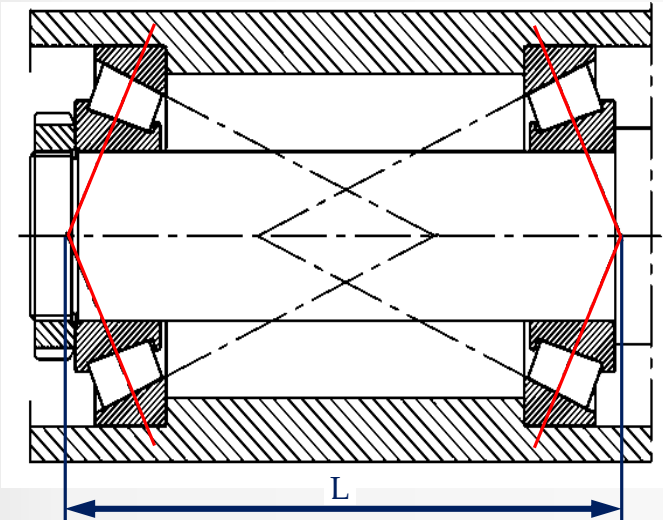
disposição em O

Rolamentos  
fixo de esferas  
de contacto  
angular

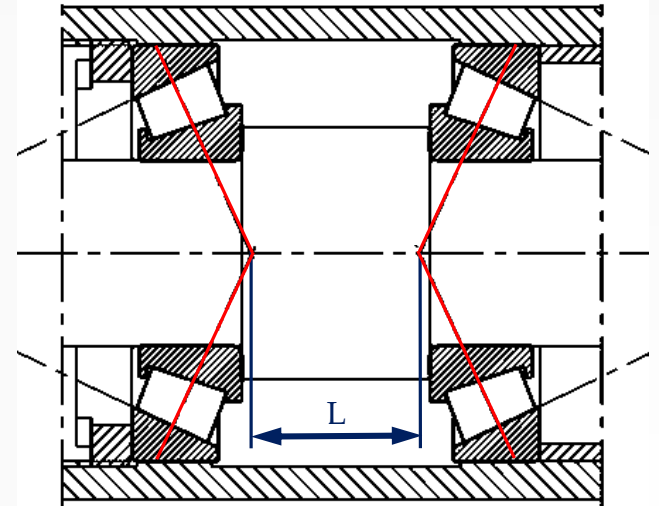
Vamos apenas  
considerar  
folgas normais



disposição em X



Rolamentos  
de rolos  
cónicos



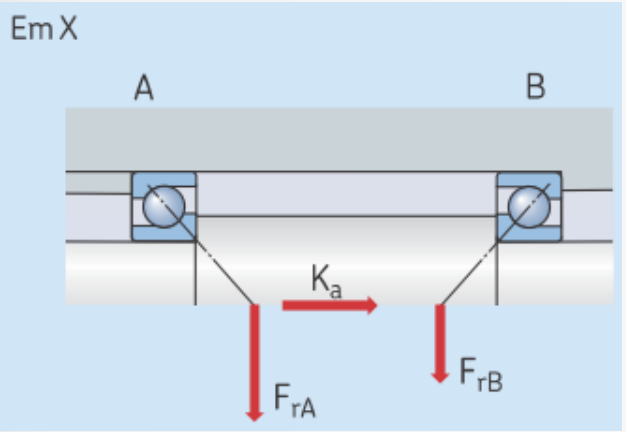
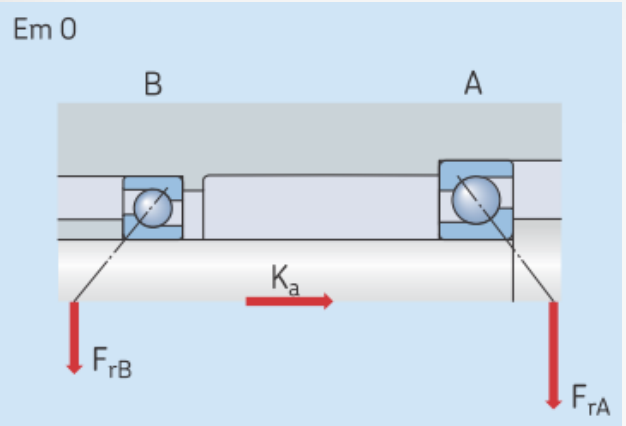


# Seleção de pares de rolamentos de esferas de contacto angular

## Determinação de $P$ para pares de rolamentos dispostos em 0 ou em X.

Para cada rolamento:  $F_a/F_r \leq 1,14 \rightarrow P = F_r + 0,55 F_a$  A carga  $F_a$  de cada rolamento tem que ser **calculada**.  
 $F_a/F_r > 1,14 \rightarrow P = 0,57 F_r + 0,93 F_a$

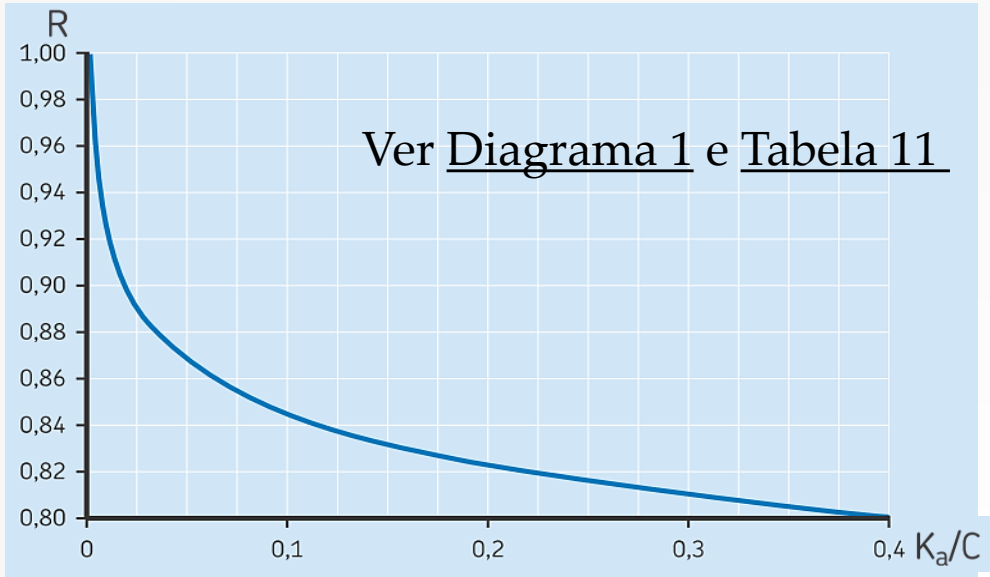
Elementos de Máquinas



O valor de  $F_a$  de cada rolamento depende:

- do sentido da carga axial aplicada  $K_a$ ,
- da razão entre as cargas radiais A e B e
- do parâmetro  $R$

São definidos 6 Casos diferentes.



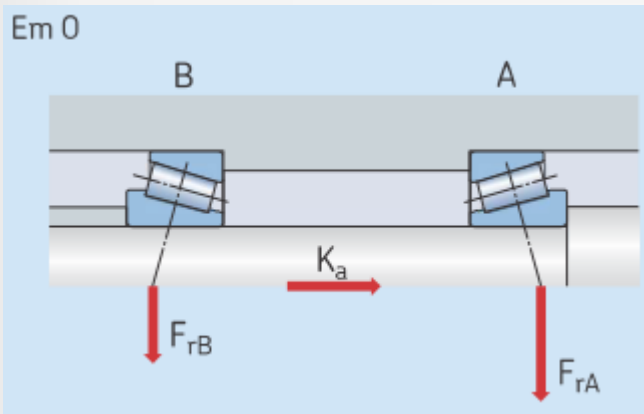


# Seleção de pares de rolamentos de rolos cônicos

## Determinação de $P$ para pares de rolamentos dispostos em 0 ou em X.

Para cada rolamento:  $F_a/F_r \leq e \rightarrow P = F_r$   
 $F_a/F_r > e \rightarrow P = 0,4 F_r + Y F_a^{1)}$

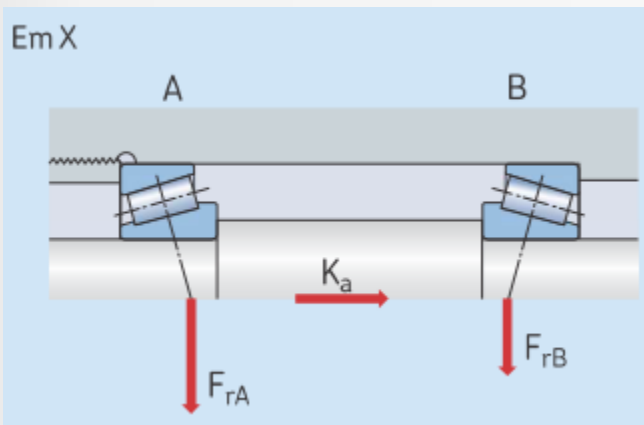
A carga  $F_a$  de cada rolamento tem que ser **calculada**.



O valor de  $F_a$  de cada rolamento depende:

- do sentido da carga axial aplicada  $K_a$ ,
- da razão entre as cargas radiais A e B
- fatores de calculo  $Y_A$  e  $Y_B$

São definidos 6 Casos diferentes.



Caso de carga	Cargas axiais
Ver <u>Tabela 5</u>	
<b>Caso 1a</b>	
$\frac{F_{rA}}{Y_A} \geq \frac{F_{rB}}{Y_B}$	$F_{aA} = \frac{0,5 F_{rB}}{Y_A}$ $F_{aB} = F_{aA} + K_a$
$K_a \geq 0$	

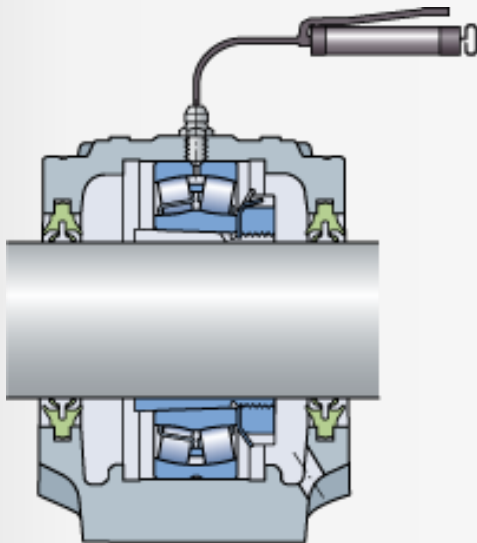


# Lubrificação - Objetivo

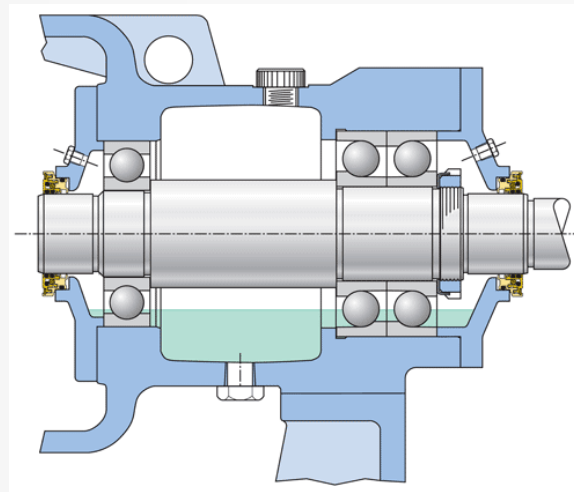
Capítulo 3

Elementos de Máquinas

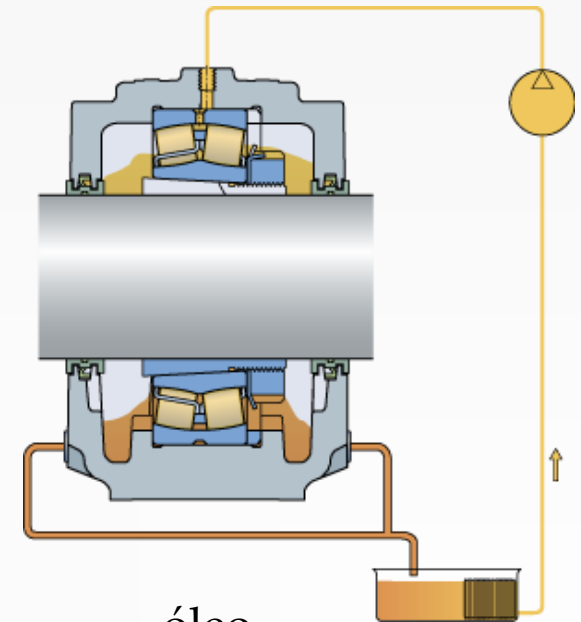
- Reduzir o atrito;
- Prevenir o contacto metálico entre as pistas e os corpos rolantes, diminuindo o desgaste;
- Proteger as superfícies em contacto contra a corrosão;
- Proteger o rolamento da contaminação por partículas estranhas e da água;
- Ajudar a distribuir e a dissipar o calor gerado no funcionamento.



massa



óleo



óleo



## **Lubrificação com massa:**

- 90% de todos os rolamentos podem ser lubrificados com massa;
- Instalação simples e mais económica; maior aderência;
- evita a contaminação por partículas estranhas, água e humidade;
- tempo entre lubrificação elevado;
- limite na temperatura de funcionamento;
- baixas velocidades de rotação.

## **Lubrificação com óleo:**

- Elevadas velocidades de rotação; altas temperaturas;
- Ajudar a distribuir e a dissipar o calor gerado no funcionamento;
- Compatibilidade com outros sistemas de lubrificação.

## **Fatores que influenciam a espessura da película do óleo:**

- Temperatura, velocidade de rotação e carga.



**Hidrodinâmica** – (acontece quando o  $\kappa$  é alto)

- As superfícies encontram-se separadas por um filme espesso de lubrificante; a pressão no filme é criada pela superfície móvel que produz um efeito de cunha e uma velocidade alta no contacto entre as superfícies;

**Hidroestática**

- Introdução do lubrificante a uma pressão alta o suficiente para separar as superfícies em contacto. Não é necessário haver movimento relativo entre as superfícies (ao contrário do que acontece na hidrodinâmica).

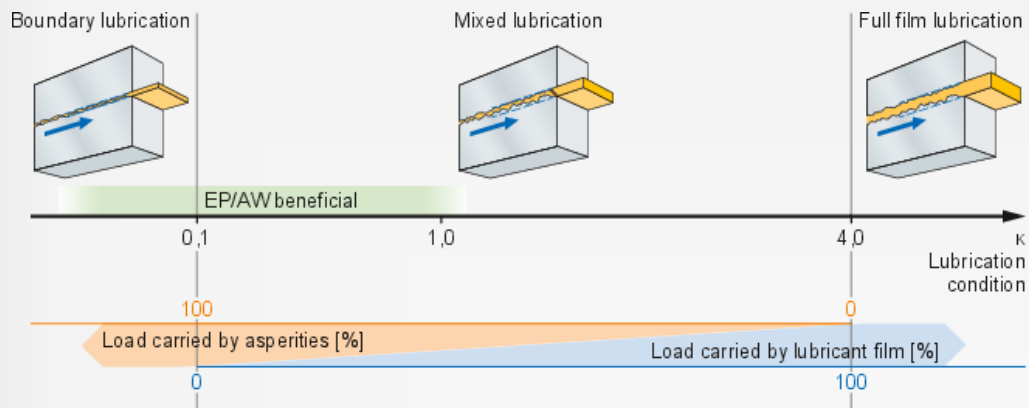
**Elastohidrodinâmica** - (acontece quando o  $\kappa$  é muito baixo)

- Fenómeno que acontece na fadiga de contacto entre dois corpos submetidos a elevadas forças; teoria de Hertz.  
- Deformação elástica das superfícies;  
- Grande aumento na viscosidade e pressão do lubrificante (adere às superfícies em contacto!).



# Lubrificação - Condição de lubrificação

Capítulo 3



$$\kappa \approx \lambda = \frac{h_{filme\ oleo}}{\sqrt{R_p^2 + R_r^2}}$$

$R_p$ - rugosidade da pista  
 $R_r$ - rugosidade do corpo rolante

Condição de lubrificação	$\kappa$
<b>Lubrificação limite:</b> muito atrito, seleção estática $S_0$	$\kappa < 0,1$
<b>Lubrificação mista:</b> há necessidade de aditivos EP/AW	$0,1 < \kappa < 1$
<b>Lubrificação mista:</b> atrito reduzido	$1 < \kappa < 4$
<b>Lubrificação de filme completo:</b> não há carga de contato	$\kappa > 4$

Quanto maior o valor de  $\kappa$ , melhor a condição de lubrificação do rolamento e a vida nominal esperada. Isso deve ser considerado em relação ao possível aumento de atrito devido à maior viscosidade do óleo. Portanto, a maioria das aplicações de rolamentos é desenvolvida para uma condição de lubrificação que varia de  $\kappa = 1$  a 4.