

9 – Mancais de Rolamento

Mancais são elementos de máquinas que suportam eixo girante, deslizante ou oscilante.

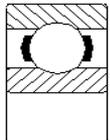
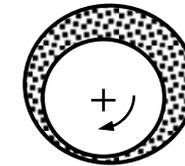
Função: Prover movimento relativo entre duas superfícies (ex: par tribológico mancal-eixo) - **girantes, deslizantes ou oscilatórios.**

- ✓ Absorver mínimo de potência, com menor desgaste superficial;
- ✓ elementos de transferência das reações dos esforços.

São classificados em:

Mancais convencionais {

- de rolamentos (de esferas, de rolos, de rolos cônicos, de agulhas);
- de deslizamento (buchas, hidrodinâmicos).



Mancais especiais {

- Hidrostáticos
- Aerostáticos
- Aerodinâmicos
- Magnéticos

Principais fabricantes :

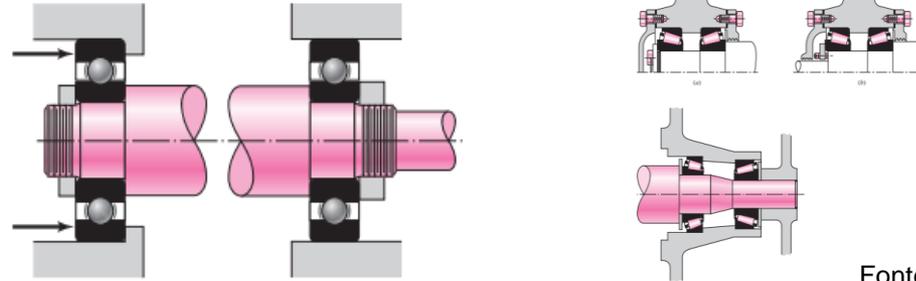
www.skf.com.br

www.nsk.com.br

www.schaeffler.com.br

9.1 – Mancais convencionais

- de rolamentos (de esferas, de rolos, de rolos cônicos, de agulhas);



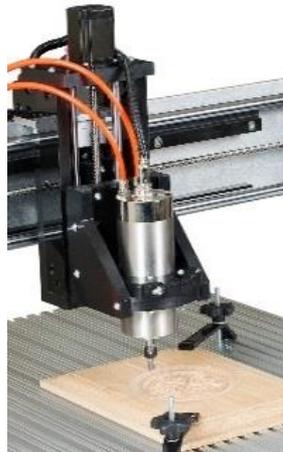
Fonte: Shigley (2008)

- de deslizamento (buchas, hidrodinâmicos*).



9.2 – Mancais especiais

- Hidrostáticos
- **Aerostáticos /Spindle***
- Aerodinâmicos
- Magnéticos

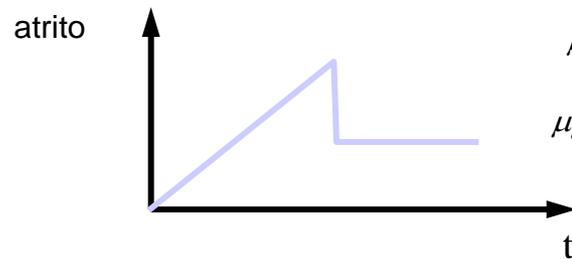


Fonte: Silveira et al. (2009)



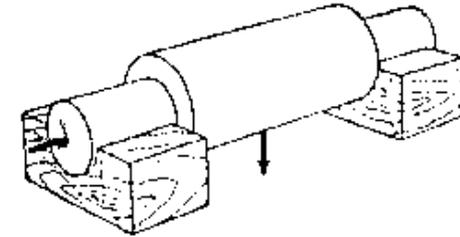
9.3 – Considerações de atrito

• Atrito seco de deslizamento

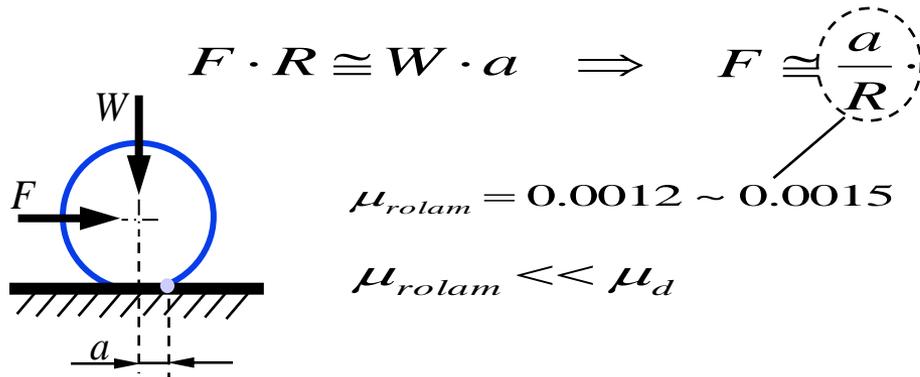


$$\mu_e = 0.2 \sim 0.3 \text{ (estático)}$$

$$\mu_d = 0.1 \sim 0.15 \text{ (cinemático)}$$



• Atrito seco de rolamento



$$F_{atr} = \mu \cdot N$$

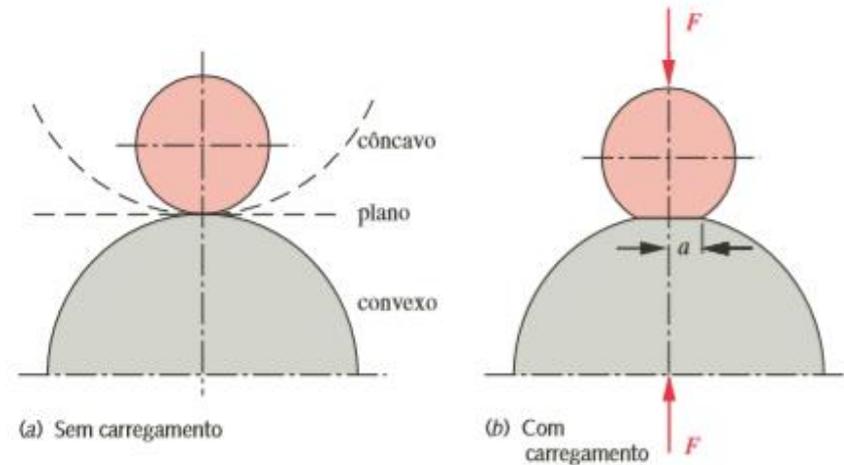


FIGURA 7-13

Zona de contato entre duas esferas ou cilindros.

Fonte: Shigley (2008)

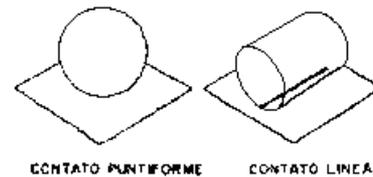
Mancal de elementos rolantes e “rolamento”

Vantagens do mancal de rolamento sobre o mancal hidrodinâmico

- 1 - Menor atrito de partida (0,02 contra 0,12)
- 2 - Lubrificação mais fácil
- 3 - Amaciamento desnecessário
- 4 - Liberdade de escolha do material do eixo
- 5 - Maior capacidade de carga por largura
- 6 - Padronização

Tipos de elementos rolantes

- esférico
- cilíndrico
- cônico

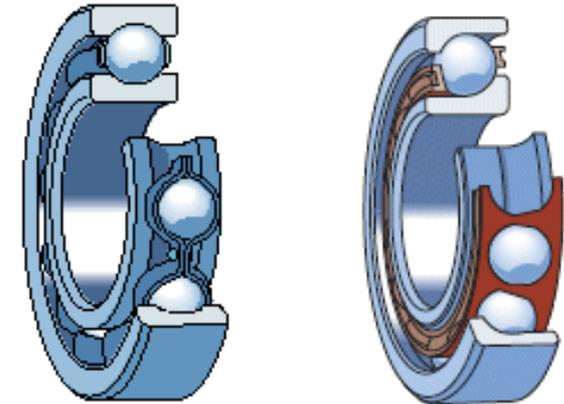


Tipo de contato	Capacidade de carga	Coefficiente de atrito
Contato puntiforme	↓	↓
Contato linear	↑	↑

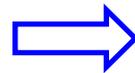
9.4 – Construção de Rolamentos

- anel externo
- anel interno
- elemento rolante
- gaiola
- pista externa }
 - pista interna }

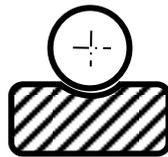
Rolamento rígido de uma carreira de esferas



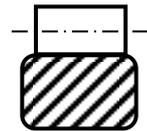
Forma da pista
Área de contato



Capacidade de carga



Suporta carga axial



Não suporta carga axial

Blindagem (opcional) :

- proteção contra partículas externas
- placa protetora fixa no anel ext.
 - Z (1 placa)
 - 2Z (2 placas)
 - 2Z (pré lubrificadas)



Z



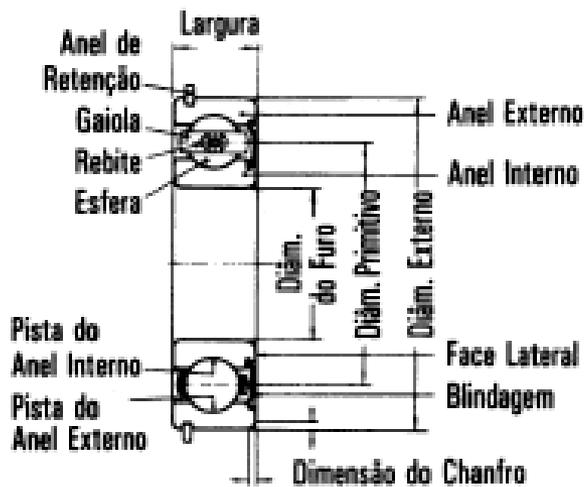
2Z



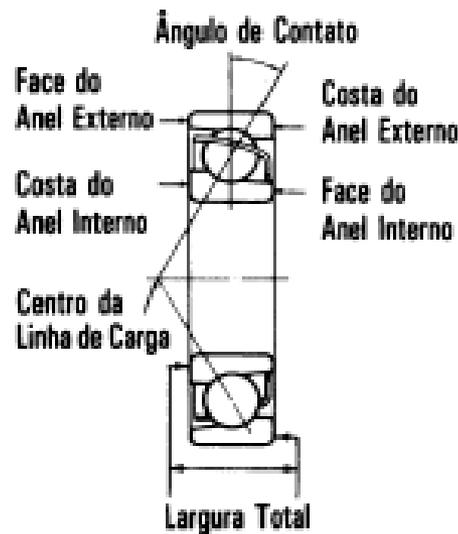
LZ



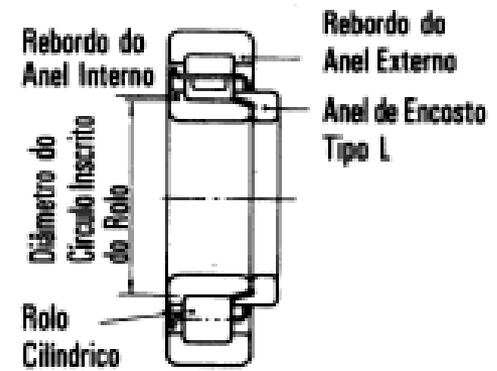
2LZ



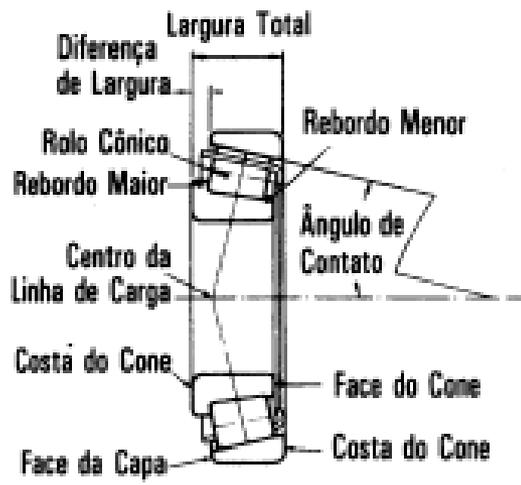
Rolamento Fixo de Uma Carreira de Esferas



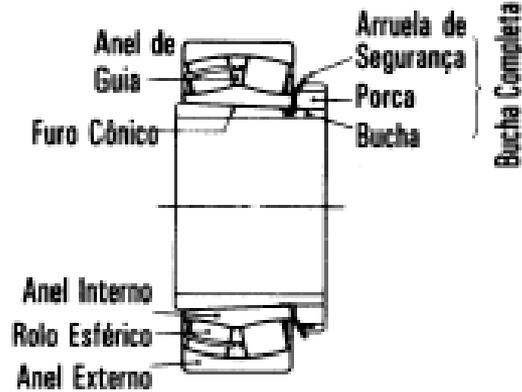
Rolamento de Uma Carreira de Esferas de Contato Angular



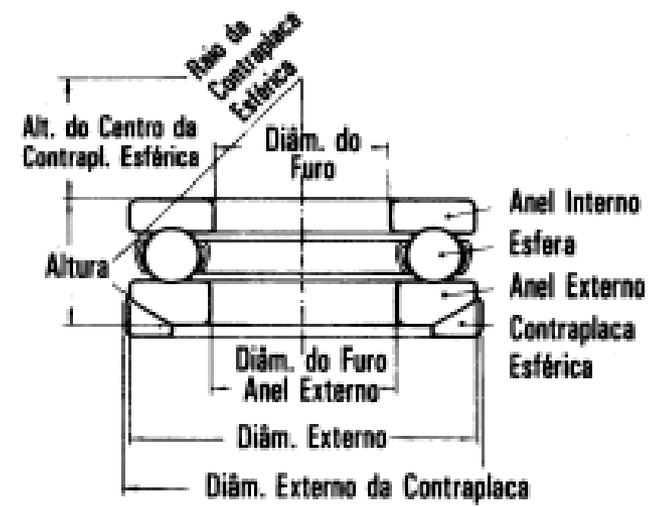
Rolamento de Rolos Cilíndricos



Rolamento de Rolos Cônicos



Rolamento Autocompensador de Rolos



Rolamento Axial de Esferas de Escora Simples

Gaiola



Rebitada



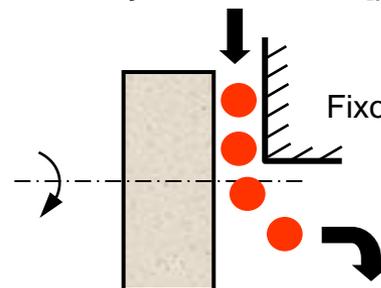
Estampada

Fabricação de rolamentos :

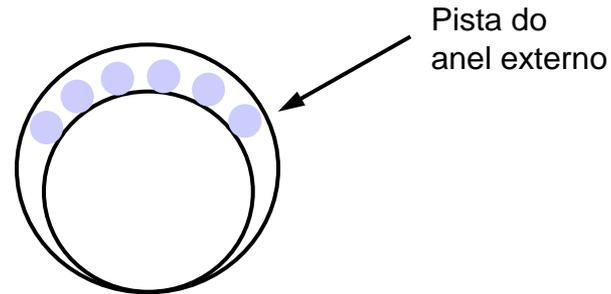
- Material : aço liga Cr-Mn
- Processo :
 - Anéis : tubo → torneamento → tratamento térmico → retífica → polimento da pista
 - Elementos : barra → conformação a frio ($d \leq 3/4''$) ou a quente → tratamento térmico → retificação frontal

1ª escolha : diferença máxima 1 [μm] entre elementos

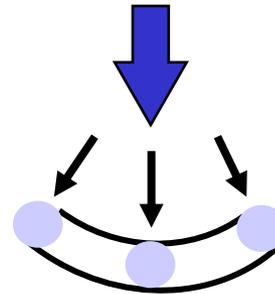
2ª escolha : diferença diâmetro < 1 [μm] (casos especiais de precisão)



Montagem :

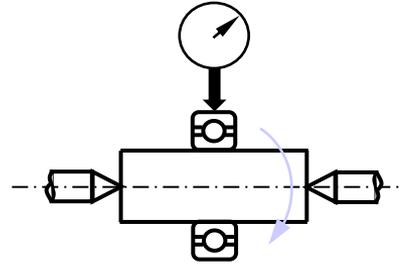


- Inserção é feita sem gaiola.
- Gaiola é rebitada depois.
- Exige grande distância entre esferas.



- Mais esferas → Melhorar distribuição de esforços
- Rolamentos especiais com maior número de esferas

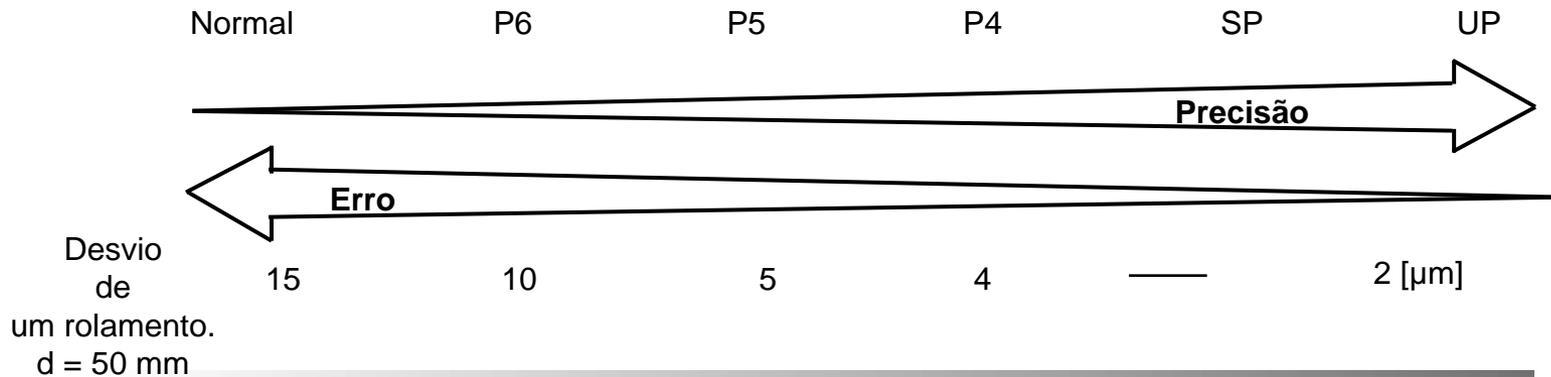
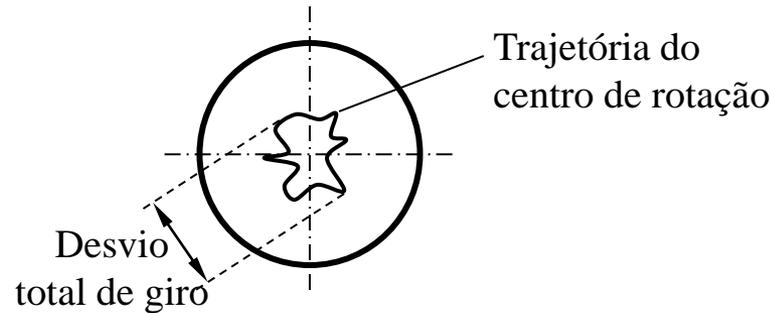
Canaleta no anel interno p/ inserção → menor carga axial



Desvio de batida radial (run out)

Precisão

Soma dos desvios dos componentes do rolamento

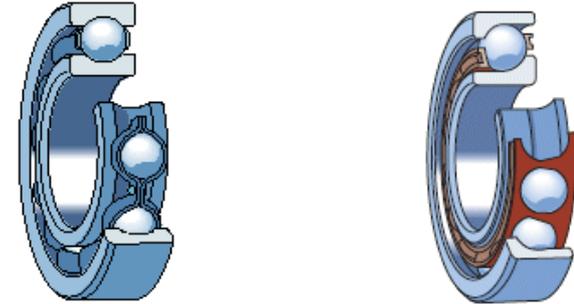


9.5 –Tipos de Rolamentos

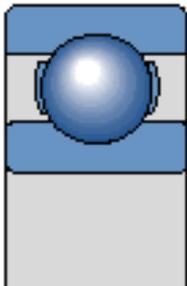
ROLAMENTO RÍGIDO DE ESFERAS

- mais comum, mais barato
- suporta cargas radiais e um pouco de carga axial
- baixo atrito → altas rotações
- cargas leves e médias

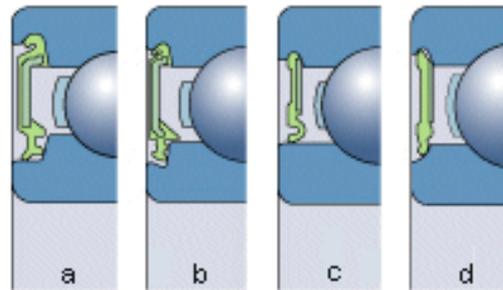
Rolamento rígido de uma carreira de esferas



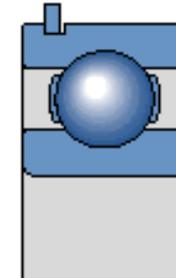
Rolamento do tipo básico aberto



Rolamentos vedados



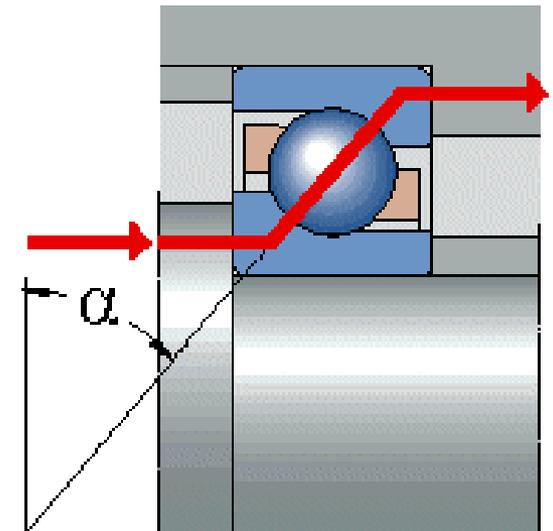
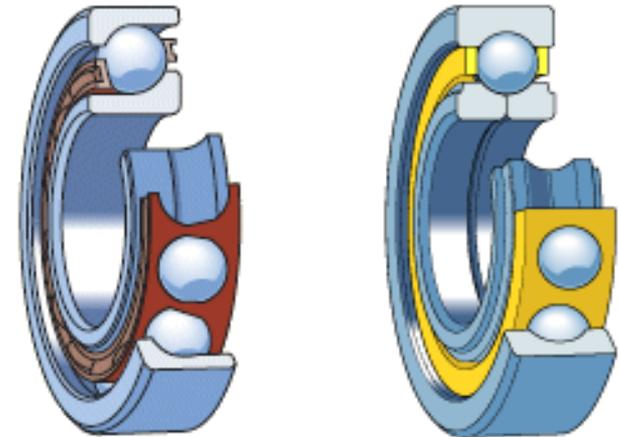
Rolamento com ranhura para anel de retenção e anel de retenção



9.5 –Tipos de Rolamentos

ROLAMENTOS DE CONTATO ANGULAR

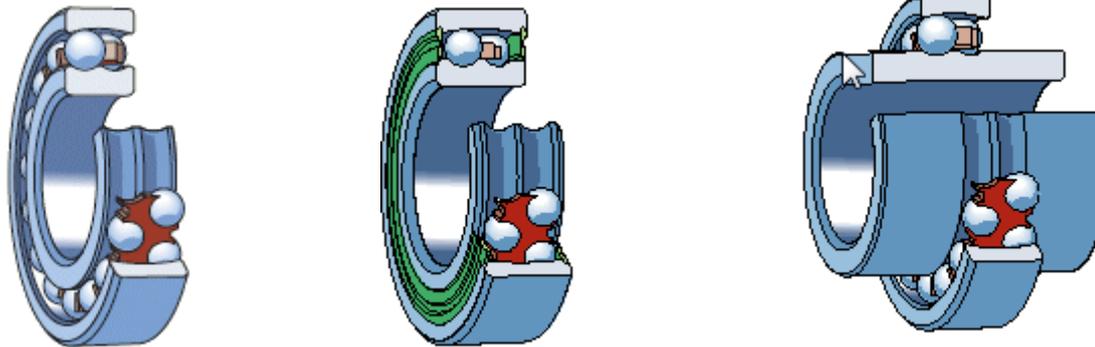
- uso parecido ao anterior
- inclinação do contato aumenta cargas axiais suportadas
- carga axial só num sentido



9.5 – Tipos de Rolamentos

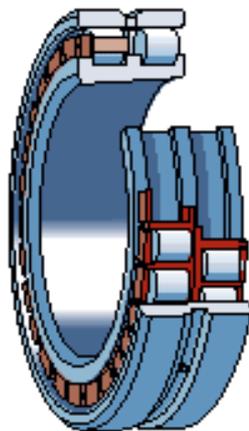
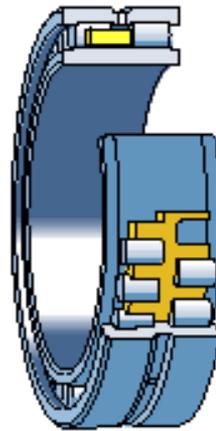
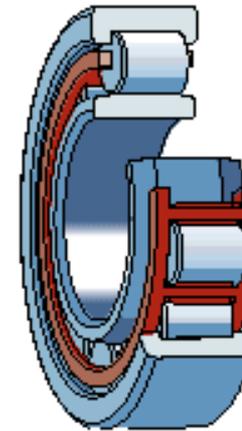
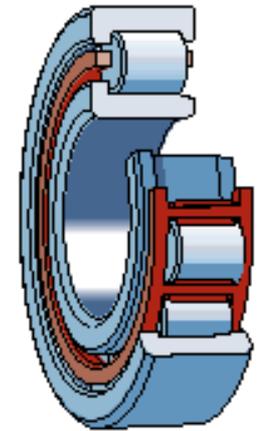
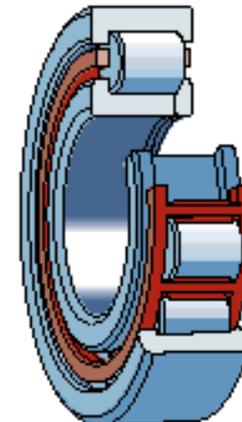
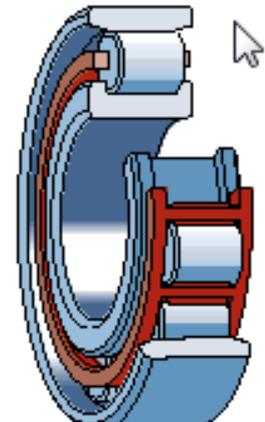
ROLAMENTO AUTOCOMPENSADOR DE ESFERAS

- uma ou duas fileiras de esferas
- compensam desalinhamento angular de até 3 graus
- suporta cargas radiais e axiais leves

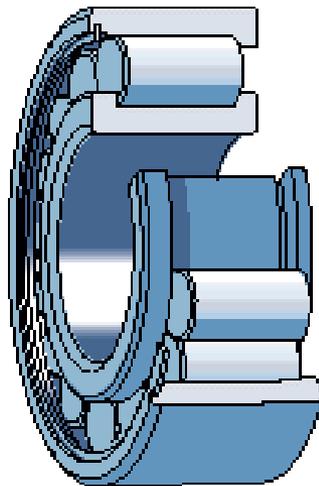


ROLAMENTOS DE ROLOS CILÍNDRICOS

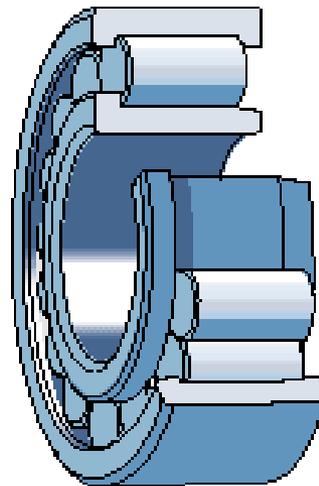
- maior capacidade de carga
- os anéis são separáveis
- com duas flanges não suporta carga axial (N, NU)
- com três flanges → axial em um sentido
- com quatro flanges → axial em dois sentidos


NN

NNU

NU

NJ

NUP

N

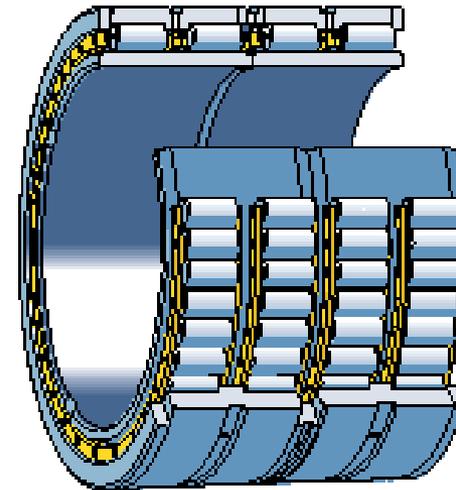
ROLAMENTOS DE ROLOS CILÍNDRICOS



NCF

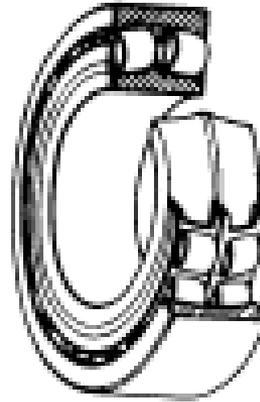
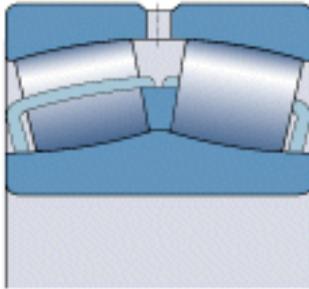


NJG



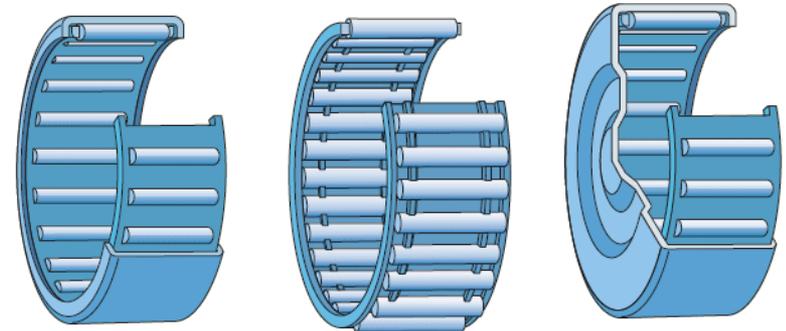
ROLAMENTO AUTOCOMPENSADOR DE ROLOS

- cargas axiais e radiais maiores que anterior



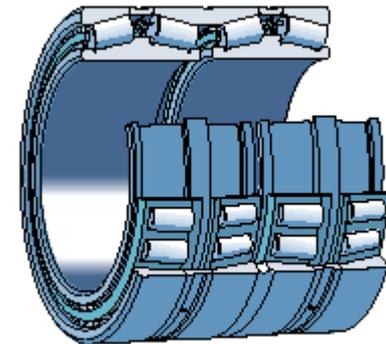
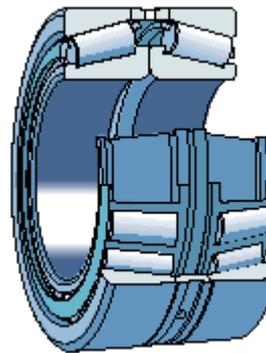
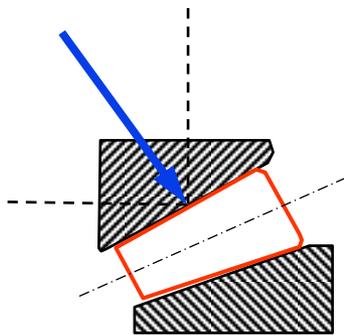
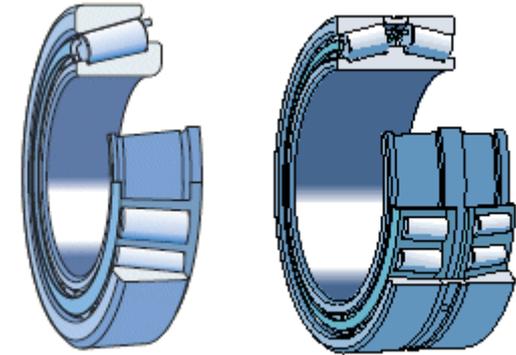
ROLAMENTOS DE AGULHAS

- $d = 1,5 \sim 5 \text{ mm}$, $L = 2,5 \cdot d$
- Usados nos casos de falta de espaço na direção radial
- São separáveis
- Somente carga radial



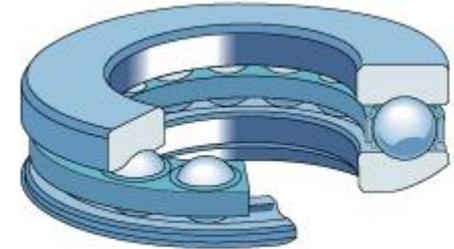
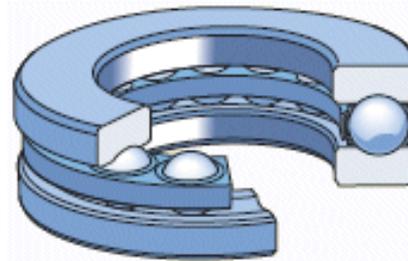
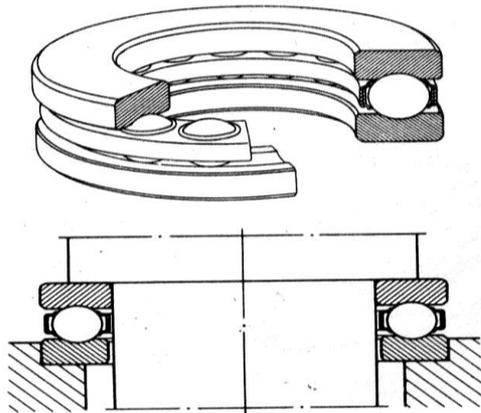
ROLAMENTO DE ROLOS CÔNICOS

- Grandes forças inclinadas $\rightarrow \uparrow F_a, \uparrow F_r$
- São separáveis. Montados aos pares, pois recebem carga axial num só sentido

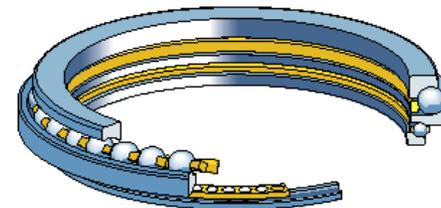
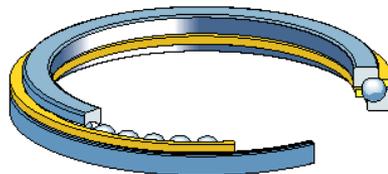


ROLAMENTOS AXIAIS DE ESFERAS

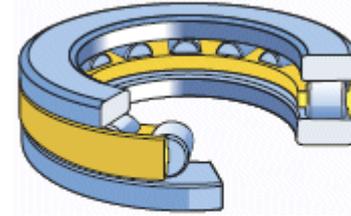
- Somente cargas axiais num só sentido
- Anel do eixo tem d menor
- Anel da caixa tem D maior



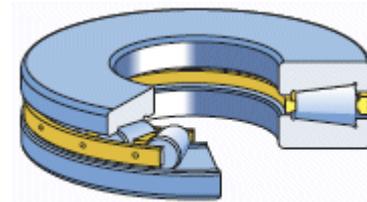
ROLAMENTOS AXIAIS DE ESFERAS DE CONTATO ANGULAR



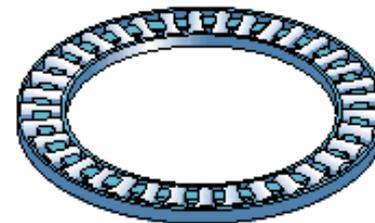
ROLAMENTOS AXIAIS DE ROLOS CILINDRICOS



ROLAMENTOS AXIAIS DE ROLOS CONICOS

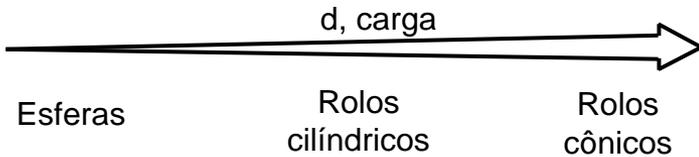
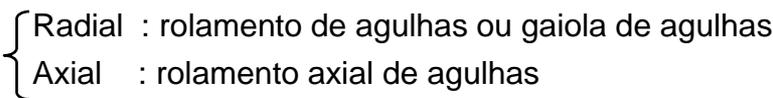


ROLAMENTOS AXIAIS DE ROLOS DE AGULHAS

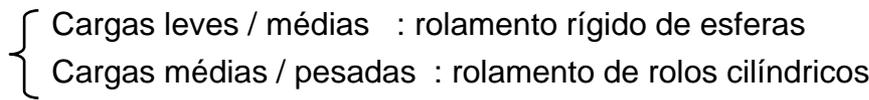


9.6 – Seleção de Rolamentos

a) Espaço disponível

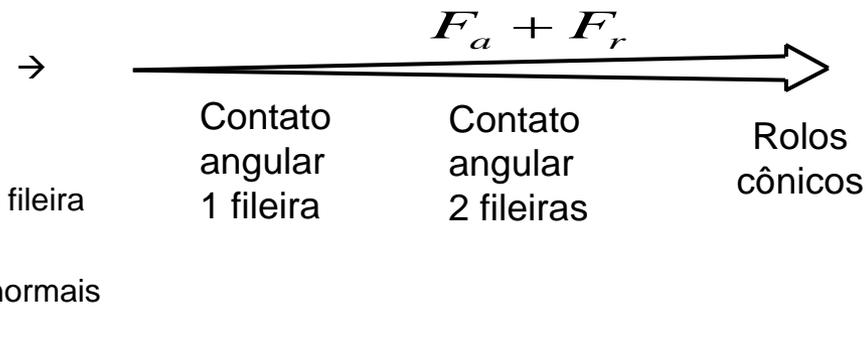
- Suficiente : 
 - Esferas
 - Rolos cilíndricos
 - Rolos cônicos
- Insuficiente : 
 - Radial : rolamento de agulhas ou gaiola de agulhas
 - Axial : rolamento axial de agulhas

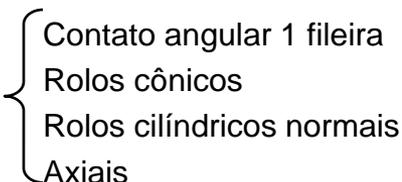
b) Carga

- Magnitude : 
 - Cargas leves / médias : rolamento rígido de esferas
 - Cargas médias / pesadas : rolamento de rolos cilíndricos
- Direção
 - Rolamentos de rolos sem flanges e de agulhas : só carga radial
 - Todos os demais suportam $F_a + F_r$ até certo ponto
 - Cargas combinadas :

Leves → rígido de esferas

Médios / pesados →



Supportam carga axial só num sentido : 

- Contato angular 1 fileira
- Rolos cônicos
- Rolos cilíndricos normais
- Axiais

c) Desalinhamento angular

- Rolamentos autocompensadores (cada tipo tem desalinhamento máximo suportado)

d) Rotação

- Rolamentos pequenos chegam a 40000 [rpm]
- Cargas radiais → máxima rotação com rolamento rígido de esferas
- Cargas combinadas → contato angular de esferas

e) Precisão

- Rolamentos com folga pequena ou pré-carga
- Máquinas de precisão (alta rotação) → classes P4, SP e UP

f) Funcionamento silencioso

- Mais silencioso → rolamento rígido de esferas

g) Rigidez – de 30 a 150 [Kgf/ μm]

- Rolos são mais rígidos que esferas
- Importante em equipamentos de precisão e máquinas ferramentas
- Pré-carga aumenta rigidez → aumenta número de esferas efetivas ativas

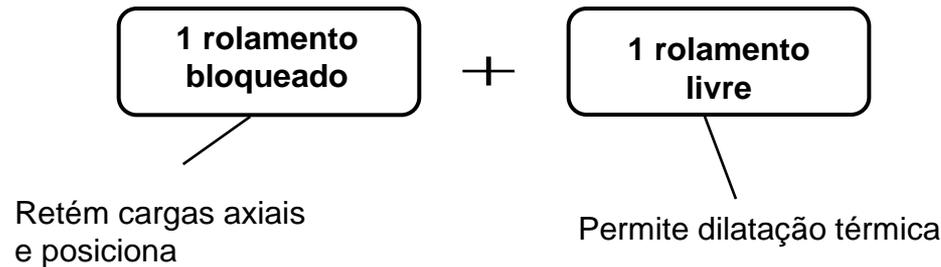
h) Facilidade de montagem

- Rolamentos separáveis
- Furo cônico

9.7 – Aplicação de Rolamentos

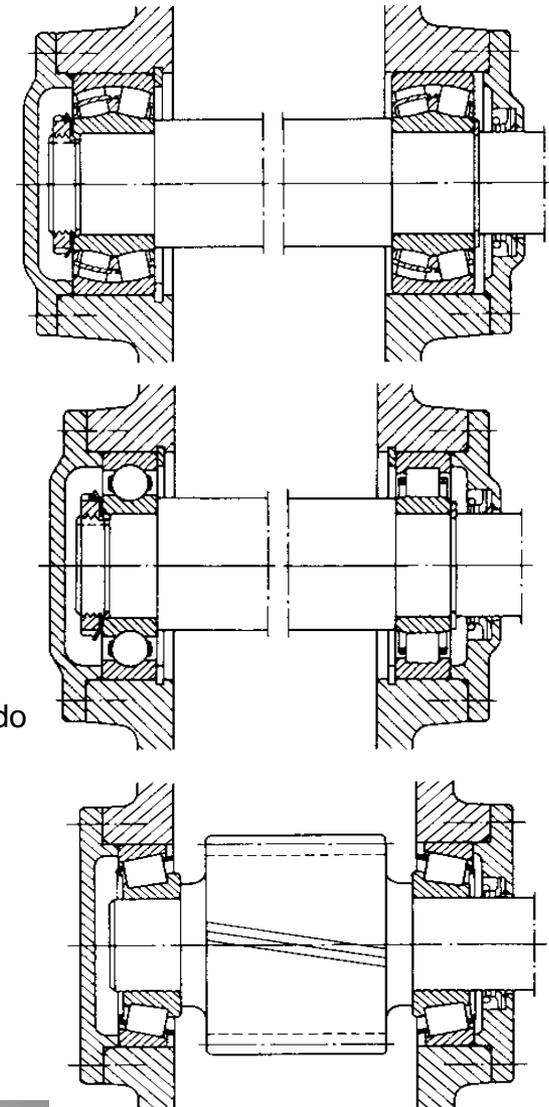
9.7.1 – Fixação Axial

Princípio básico :



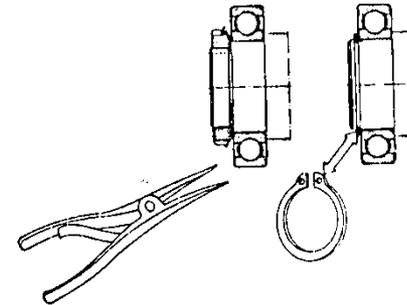
Rolamento bloqueado

- necessariamente tipo que suporte cargas axiais
- deve ser o mancal mais próximo da carga axial
- só em casos especiais de ausência de F_{axial} dispensa-se o rolamento bloqueado
- Alguns casos há bloqueio duplo:
 - eixos curtos
 - ausência de dilatação
 - prevê-se folga mínima de projeto
 - controle de aperto com torquímetro
 - montagem na temperatura de trabalho

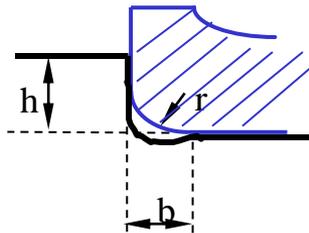


Fixação axial do anel interno :

- Furo cilíndrico
- Furo cônico



Assentos dos rolamentos devem ser acabados $\nabla\nabla$ ou $\nabla\nabla\nabla$ retificado se possível → tirar erros de forma



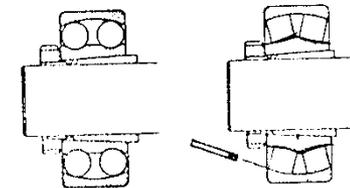
Canal dá melhor assento e saída de rebolo

$$b = (1.0 \sim 1.5) \cdot r$$

$$h_{\min} = (2.0 \sim 3.0) \cdot r$$

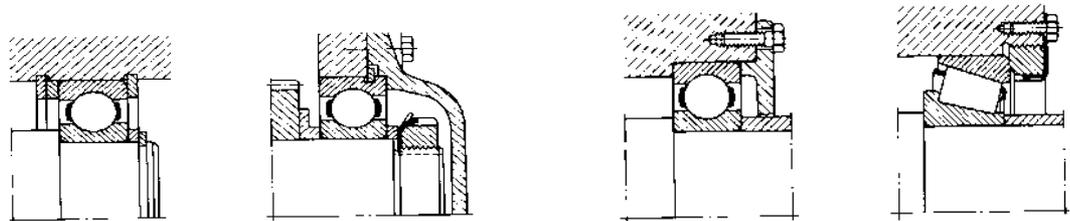
r : Catálogo de rolamento

Observar fadiga!!



Fixação axial do anel externo:

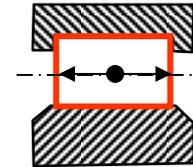
- Anel elástico
- Porca
- Tampa



Rolamento Livre

- Os rolamentos de rolos cilíndricos e de agulhas permitem deslocamento axial dentro do rolamento → ambos os anéis podem ser presos ou montados com interferência mesmo no rolamento livre.
- Nos outros casos um dos anéis tem que ser livre (montado com ajuste indeterminado com tendência à folga).

anel sob carga giratória → interferência

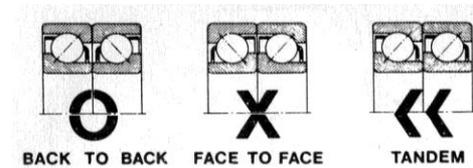


Forças axiais elevadas ou predominantes

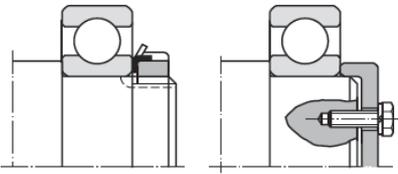
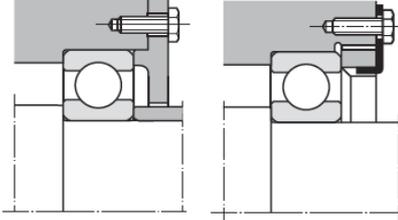
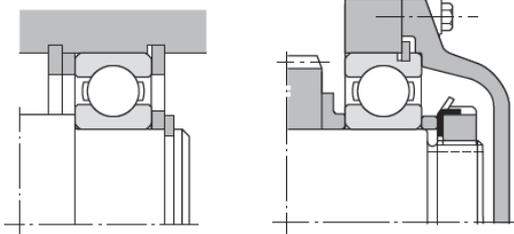
- Separar as ações e usar 1 rolamento específico para cargas axiais e 2 rolamentos radiais.
- Para cargas médias o “rol. específico” pode ser um que suporte carga combinada montado com grande folga radial → só recebe F_{ax} .

Montagens especiais (F_{ax} elevadas)

- “O” F_{ax} elevadas 2 sentidos, oferece momento de reação de vínculo
- “X” F_{ax} elevadas 2 sentidos
- “TANDEM” F_{ax} muito elevada em 1 sentido, são rolamentos especiais para montagem aos pares.
- Rolamentos de rolos cônicos também podem ser montados em O, X e TANDEM

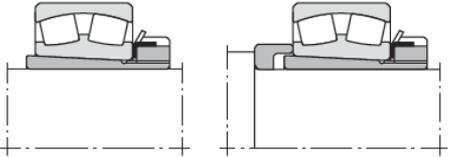
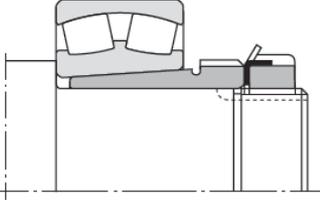
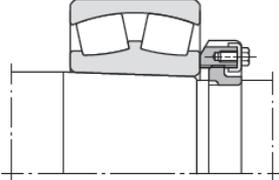


Fixações axiais

Fixação do anel interno	Fixação do anel externo	Anel elástico
		
<p>O método mais comum de fixação de rolamentos é utilizar porcas ou parafusos de fixação para segurar a borda do rolamento ou o ombro do alojamento contra a face do anel.</p>		<p>A utilização de anéis elásticos regulamentados sob a norma JIS B 2804, B 2805 e B 2806 facilita muito a construção. Entretanto, a interferência com os chanfros, dimensões de montagem do rolamento e outras especificações relacionadas, devem ser consideradas com muito cuidado.</p> <p>Os anéis elásticos não são apropriados em aplicações que requerem alta precisão e onde recebem altas cargas axiais.</p>

Fonte: www.ntn.com.br/servicos.htm

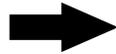
Fixações axiais

Montagem com uma bucha de montagem	Montagem com uma bucha de desmontagem	Montagem com anel bi-partido
		
<p>Quando se faz a instalação de rolamentos em eixos cilíndricos, buchas de montagem ou buchas de desmontagem podem ser utilizadas para fixar o rolamento axialmente.</p> <p>Fixar o rolamento axialmente por este método depende da fricção entre a bucha e o eixo.</p>		<p>Para a instalação de rolamentos com furos cônicos diretamente sobre o eixo cônico, o rolamento é fixado no lugar com um anel bi-partido montado sobre uma ranhura do eixo, e afixado no lugar com uma porca ou parafuso para anéis bipartidos.</p>

Fonte: www.ntn.com.br/servicos.htm

9.7.2 – Fixação Radial

Fixação radial

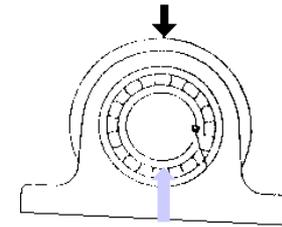
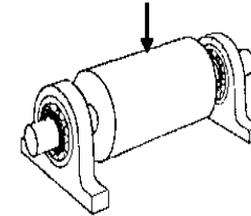


ajustes indeterminados (de precisão)

c/ tendência a folga
c/ tendência a interferência

$H_{7}g_6; H_7h_6$

$H_{7}j_6; H_7k_6; H_7m_6$



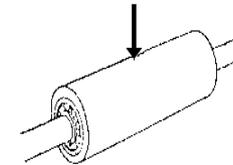
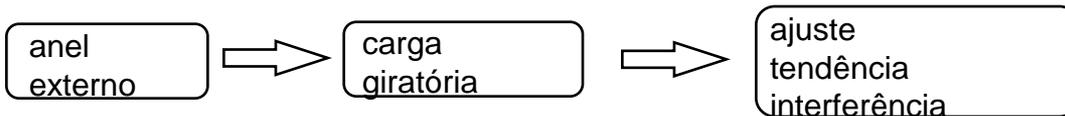
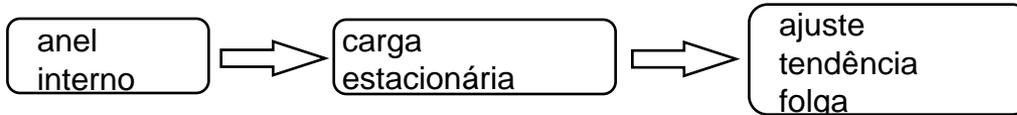
Se a carga gira em relação ao anel interno → cargas internas tendem a evitar que anel gire junto com o eixo !!!

carga giratória



ajuste com tendência a interferência

Anel interno tem carga estacionária → pode ter ajuste com tendência a folga (como no caso ao lado)



Folga interna de rolamentos

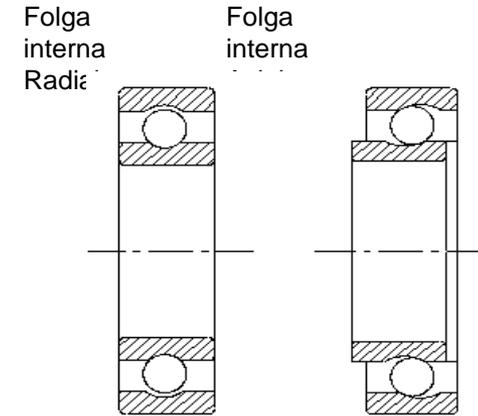
- Folga radial
- Folga axial

Folga ideal : $\left\{ \begin{array}{l} \text{Bom funcionamento} \\ \text{Vida longa} \\ \text{Precisão} \end{array} \right.$

Montagem com pré-carga : adequados diminuem folga

Folga excessiva : $\left\{ \begin{array}{l} \text{Ruído} \\ \text{Baixa rigidez} \end{array} \right.$

Folga insuficiente : vida menor !!

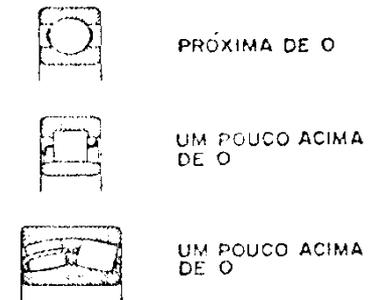


Denominação :

C1	C2	Normal	C3	C4	C5
~	1	8	23	38	55
	a	a	a	a	a
~	15 μm	28	43	61	90

Folga \rightarrow

FOLGA RADIAL



p/ rolamento esferas d = 50 mm

Ajustes

	Eixo - H_7^*	Caixa - h_6^*
Indeterminado com tendência à folga	g_6, h_6	F_7, G_7, H_7
Indeterminado com tendência à interferência	j_6, k_6, m_6, n_6	J_7, K_7, M_7
Com interferência	r_6, r_7	P_7

H_7^* : tolerância do furo do rolamento ligeiramente diferente de H_7

h_6^* : tolerância do diâmetro externo do rolamento ligeiramente diferente de h_6

- Para aplicações grosseiras usar até IT8 / IT9
- Consultar sempre Catálogo do Fabricante de rolamentos

Seleção de Ajustes

- Carga rotativa : interferência
Carga estacionária : folga
- Carga maior → interferência maior pois deformações diminuem a interferência efetiva
- Ajustes interferentes diminuem folga interna → grandes interferências pedem rolamentos com folga maior

d) Temperatura elevada de trabalho

- aumento do furo interno → interferência ↓ (folga ↑)
- aumento do diâmetro externo do anel externo interferência ↑ (folga ↓)

e) Pressão de giro → folgas baixas

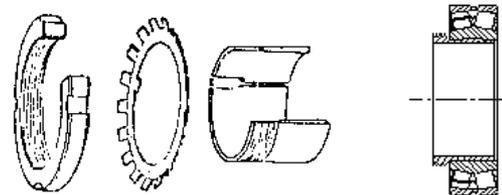
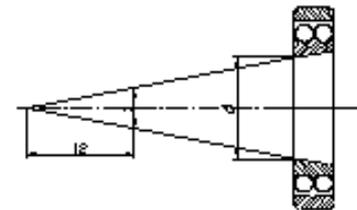
- Qualidade do assento do eixo → IT5
- Qualidade do assento da caixa → IT6

f) Se material / rigidez do eixo e / ou caixa permitirem deformações,
escolher interferência maior para resultar em interferência efetiva adequada

g) Facilidade de montagem / desmontagem → ajuste com tendência a folga

Rolamento com furo cônico

- facilita montagem e desmontagem;
- elimina folgas internas;
- controle de torque no aperto de montagem.



Uso de mais de dois rolamentos num só eixo

- Eixos muito esbeltos → uso de rolamento intermediário
- Cálculo → situação hiperestática
- Fabricação → difícil de obter colinearidade de três assentos de mancais.

O do meio pode ter seu assento preenchido, depois, com resina epoxi.

Examinar figuras do catálogo SKF/NSK

Observar : - rolamento selecionados
- montagens

Catálogo geral NSK: http://www.nsk.com.br/7_catalogo.asp

Tipos de rolamentos - projeto e características

A matriz pode oferecer apenas uma orientação aproximada de maneira que em cada caso individual é necessário fazer um mais seleção qualificada referente às informações fornecidas

Símbolos

+++ excelente - pobre
 ++ bom -- não apropriado
 + justo ← direção única
 ↔ direção dupla

Projeto

- 1 Furo cônico
- 2 Placas de proteção ou vedantes
- 3 Autocompensador
- 4 Não separável
- 5 Separável

Características

Adequação de rolamentos para

- 6 Carga puramente radial
- 7 Carga puramente axial
- 8 Carga combinada
- 9 Carga de momento
- 10 Alta velocidade
- 11 Alta precisão de giro
- 12 Alta rigidez
- 13 Funcionamento silencioso
- 14 Baixa fricção
- 15 Compensação para desalinhamento em funcionamento
- 16 Compensação de erros de alinhamento (inicial)
- 17 Arranjos de rolamentos bloqueados
- 18 Arranjo de rolamentos livres
- 19 Deslocamento axial possível no rolamento

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Rolamentos rígidos de esferas  a  b		a				+	↔	↔	-	+++	+++	+	+++	+++	-	-	↔	+	--
Rolamentos de esferas de contato angular  a  b  c		b		a, b	c	++	↔	↔	+	+	++	++	+	+	--	--	↔	+	--
Rolamentos autocompensadores de esferas 						-	↔	↔	+	++	+	+	+	+	--	--	↔	+	--
Rolamentos de rolos cilíndricos  a  a  b  b						++	--	--	--	++	++	++	++	++	-	-	--	+++	+++
conjunto completo de rolos  a  b				a	b	+++	-	↔	--	-	+	+++	-	-	-	-	↔	+	+
Rolamentos de rolos de agulhas  a  b  c		a	c			++	--	--	--	+	+	+++	+	-	--	--	↔	+++	+++
 a  b  c		b, c				++	--	--	--	+	+	++	+	-	--	--	↔	+++	+++
Rolamentos de rolos cônicos  a  b						++	↔	↔	+	+	+	+++	+	+	-	--	↔	+	--
Rolamentos autocompensadores de rolos 						+++	↔	↔	--	+	+	++	+	+	+++	+++	↔	+	--
Rolamentos CARB 						+++	--	--	--	+	+	++	+	+	+++	+++	--	+++	+++
conjunto completo de rolos 						+++	--	--	--	-	+	+++	+	+	+++	+++	--	+++	+++
Rolamentos axiais de esferas  a  b						--	↔	↔	--	-	++	+	-	+	-	--	↔	--	--
 a  b						--	↔	↔	--	-	+	+	-	+	-	++	↔	--	--
Rolamentos axiais de rolos  a  b - de agulhas - cilíndricos						--	++	--	--	-	+	++	-	-	--	--	↔	--	--
Rolamentos axiais de rolos esféricos 						--	+++	+	--	-	+	++	-	+	+++	+++	↔	--	--

1 TIPOS E CARACTERÍSTICAS DOS ROLAMENTOS

Tabela 1.1 Tipos e Características dos Rolamentos

Tipos de Rolamentos	Fixos de uma carreira de esferas	Mag-neto	Uma carreira de esfe-ras de contato angular	Duas carre-lras de esfe-ras de contato angular	Combi-nados	Esfe-ras de Quatro pontos de contato	Auto-compensadores de esfe-ras	Rolos Cilindrí-cos	Duas carre-lras de rolos Cilindrí-cos	Rolos Cilindrí-cos com Rebordo em um lado	Rolos Cilindrí-cos com anel de encosto	Rolos Agulha	Rolos Cônicos	Duas e multi-pias carre-lras de rolos Cônicos	Auto-compensadores de rolos	Axiais de esfe-ras	Axiais de esfe-ras com contra-placa esférica	Duas carre-lras de esfe-ras de contato angular	Axiais de Rolos Cilindrí-cos	Axiais de Rolos Cônicos	Axiais auto-compensadores de rolos	Referência na Página	
	Características																						
Capacidade de carga	Carga Radial	😊	😞	😊	😊	😊	😞	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😞	😞	😞	😞	😞	😞	😞	
	Carga Axial	↔️	↔️	↔️	↔️	↔️	↔️	😞	😞	↔️	↔️	😞	↔️	↔️	↔️	↔️	↔️	↔️	😊	😊	😊		
	Carga Combinada	😊	😞	😊	😊	😊	😊	😞	😞	😊	😊	😞	😊	😊	😊	😞	😞	😞	😞	😞	😞	😞	
Alta Velocidade	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😞	😞	😊	😞	😞	😞	A 18 A 37	
Alta Pressão	😊		😊		😊	😊		😊	😊				😊			😊		😊				A 19 A 58 A 81	
Baixo Torque e Ruído	😊							😊														A 19	
Rigidez					😊	😊		😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊					😊	😊	😊	A 19 A 96	
Desalinhamento Permissível	😊	😞	😞	😞	😞	😞	😊	😊	😞	😊	😊	😞	😊	😊	😊	😞	😊	😞	😞	😞	😊	A 18 No Pro-du-to de cada tipo	
Ação de Compensação							🟢								🟢		🟢				🟢	A 18	
Separação dos Anéis		🟢				🟢		🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢		🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	A 19 A 20	
Rolamento Lado Fixo	🟢			🟢	🟢	🟢	🟢				🟢			🟢	🟢							A 20- A 21	
Rolamento lado Livre	🟡			🟡	🟡	🟡	🟡	🟢	🟢			🟢		🟡	🟡							A 20- A 27	
Furo Cônico							🟢		🟢						🟢							A 80 A 118 A 122	
Observação		Usa-se duas peças contrapostas	Ângulo de contato de 15°, 25°, 30° e 40°. Duas peças contrapostas, a folga deve ser ajustada		Além disso, existem as combinações DF e DT, mas não permitem 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 disso, existem tipos KH e KV, mas igualmente não permitem uso no lado livre					Inclui os Rolamentos axiais de rolos Agulha		Usados com lubrifi-cação a óleo		

Muito Bom
 Bom
 Regular
 Precário
 Inviável
 ➔ Somente em um sentido
 ↔️ Dois sentidos
 🟢 Aplicável
 🟡 Aplicável, porém deve permitir a fuga da dilatação ou contração do eixo na superfície de ajuste do rolamento

