

| Catálogo Geral Industry

> Bem-vindo ao Universo SNR





SNR, uma grande marca, valores essenciais

Há quase um século, a SNR concentra as suas atividades de concepção, desenvolvimento e fabricação de rolamentos, onde essa peça, normalmente invisível, tem um papel fundamental e às vezes vital.

Presente hoje nos cinco continentes, a SNR expandiu-se mundialmente graças aos valores essenciais que fazem a força da empresa: preocupação permanente de inovar, experiência das suas equipas e presença juntos aos clientes.

Essa inovação, que constituiu e constituirá ainda um eixo maior de apoio da SNR, afirma-se hoje através de uma política empenhada na pesquisa fundamental e aplicada. Consciente desse sucesso nos programas maiores em todos os setores da aeronáutica, da ferrovia, do automóvel (rolamentos ASB) e da indústria, essa política empenha-se em atender às expectativas cada vez mais exigentes dos seus clientes.

Complementar e indispensável à boa expansão da empresa, o profissionalismo das suas equipas e a sua especialização conferem com o tempo experiência e credibilidade, valores com os quais os seus clientes podem contar.

Reconhecida como uma empresa de dimensão humana, a SNR sempre privilegiou com os seus clientes e parceiros relações de confiança e de proximidade baseadas no respeito.

Porque "a união faz a força", a SNR empenha-se atualmente no processo de integração no Grupo NTN, nº 5 do rolamento no mundo.

Com o apoio da capacidade e força da SNR, a NTN beneficia-se de um potente motor de desenvolvimento das suas atividades no mundo e, em especial, na Europa. Para a marca SNR, essa evolução constitui uma oportunidade que permite oferecer uma gama ainda mais ampla e um serviço mais eficaz.

A especialização, o serviço e a inovação são os verdadeiros motores da empresa.

Acompanhando o desenvolvimento internacional dos seus clientes, a SNR deseja compartilhar com você a sua paixão pelo rolamento. Não hesite em nos contatar.

"SNR, os nossos rolamentos giram a serviço da humanidade."

Patrick Désire
Diretor da Divisão Indústria SNR.



Prefácio

O catálogo geral Indústria SNR contém todas as informações sobre os rolamentos padronizados e acessórios que são utilizados nas montadoras e na reposição. É de certa forma o "estado da arte" da tecnologia e do know-how SNR.

Um sistema de abas foi desenvolvido para facilitar a identificação das diferentes famílias de produtos. Além disso, no interior de cada capítulo, os elementos técnicos são classificados na ordem lógica de reflexão do engenheiro à procura de informações.

Ele foi concebido para fornecer elementos que permitem:

- conhecer bem os rolamentos SNR e as suas características,
- pré-selecionar o rolamento que melhor convém à aplicação considerada e calcular a sua vida útil,
- determinar a sua fixação, regulagem e manutenção.

Este catálogo é um instrumento de diálogo entre você e a SNR. Os serviços técnicos SNR estão à sua disposição para uma boa interpretação das informações fornecidas, para ir mais longe no conselho e recomendação do rolamento e a sua integração no seu mecanismo. Quando as condições econômicas e técnicas o permitem, a SNR pode então propor-lhe um rolamento adaptado à sua aplicação específica.

Para obter melhores desempenhos do rolamento SNR, convém empregá-lo conforme as prescrições gerais do catálogo, respeitando as condições operacionais e ambientais que determinaram a sua escolha.

A assistência SNR aplica-se completamente à função de rotação garantida pelo rolamento sem abranger a função do órgão no qual ele está incluído, que permanece sob a responsabilidade do seu construtor.

Este catálogo está disponível também em versão eletrônica que pode ser obtida no nosso portal internet: www.snr-bearings.com

Os erros ou omissões que possam ocorrer neste catálogo, apesar do cuidado tomado na sua realização, não são da responsabilidade da SNR ROULEMENTS.

Devido à nossa política de pesquisa e desenvolvimento contínuos, reservamo-nos o direito de modificar sem aviso prévio, total ou parcialmente, produtos e especificações mencionados neste documento.

SNR copyright internacional 2009.

Sumário



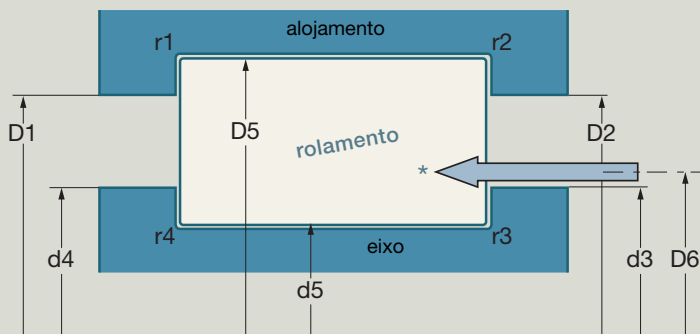
Noções gerais	5
Tecnologia dos rolamentos	37
Vida útil	55
Fixação e jogo dos rolamentos	89
Lubrificação	121
Montagem, desmontagem e manutenção	135
Anexos e léxico	147

→ Rolamentos com uma fileira de esferas de contato radial	153
Rolamentos com uma fileira de esferas de contato oblíquo	231
Rolamentos com duas fileiras de esferas	261
Rolamentos de rolos cilíndricos	291
Rolamentos de rolos cônicos	313
Rolamentos autocompensadores de rolos	333
Batentes	377
Buchas e acessórios	391
Mancais auto-alinháveis	421
Mancais bipartidos	637
Manutenção	669
Outros produtos	677
Mecatrônica	695



- Com o objetivo de simplificar e facilitar a leitura e interpretação das informações técnicas contidas neste catálogo, a SNR harmonizou a nomenclatura das cotas que definem geometricamente as diferentes famílias de rolamentos, procurando que de uma família à outra os símbolos de cotas sejam os mesmos.

Com esta uniformização, a SNR lhe ajuda na procura e seleção de seus rolamentos.



* Entrada de óleo lubrificante (para rolamentos de máquinas-operatrizes)

Noções gerais

Tipos de rolamentos	6
■ Definições	6
■ Vocabulário	8
■ Aptidões	9
Normalização e intercambiabilidade	12
■ As normas	12
■ Intercambiabilidade	12
Dimensões e simbologia	14
■ Simbologia geral	14
<i>Símbolo completo</i>	14
<i>Símbolo de base</i>	15
■ Simbologia dos rolamentos de rolos cônicos	16
■ Simbologia dos rolamentos específicos	17
Precisão de execução dos rolamentos	18
■ Normalização	18
<i>Definição das tolerâncias</i>	19
<i>Equivalência das normas de precisão dos rolamentos</i>	22
■ Tolerâncias dos rolamentos	22
<i>Rolamentos radiais - Classe de tolerâncias Normal</i>	23
<i>Rolamentos radiais de alta precisão - Classe de tolerâncias 6</i>	24
<i>Rolamentos radiais de alta precisão - Classe de tolerâncias 5</i>	25
<i>Rolamentos radiais de alta precisão - Classe de tolerâncias 4</i>	26
<i>Rolamentos radiais de alta precisão - Classe de tolerâncias 2</i>	27
<i>Rolamentos de rolos cônicos - Classe de tolerâncias Normal</i>	28
<i>Rolamentos de rolos cônicos de alta precisão</i>	
<i>Classe de precisão 6X</i>	29
<i>Rolamentos de rolos cônicos de alta precisão</i>	
<i>Classe de tolerâncias 5</i>	30
<i>Batente de esferas - Classe de tolerâncias Normal</i>	31
<i>Furos cônicos: conicidade 1/12 e conicidade 1/30</i>	32
Jogo interno inicial dos rolamentos	34
■ Jogo radial dos rolamentos de contato radial. Definição	34
■ Grupo de jogo radial interno	34
Jogo axial dos rolamentos de contato angular	35
■ Jogo axial recomendado	35

Tipos de rolamentos

Definições

O rolamento é uma peça que garante a ligação móvel entre dois elementos de um mecanismo, em rotação um com relação ao outro. A sua função é permitir a rotação relativa desses elementos, sob carga, com precisão e com um atrito mínimo.








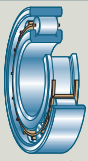










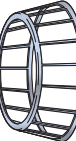
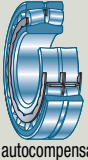






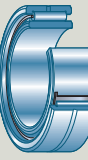
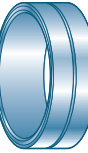









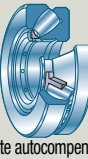




■ O rolamento é constituído:

- de dois anéis ligados, um ao elemento fixo e o outro ao elemento móvel, e que comportam as pistas de rolamento
- de corpos rolantes que permitem o deslocamento relativo dos dois anéis com um atrito mínimo
- de uma gaiola que separa os corpos rolantes

■ Os rolamentos dividem-se em duas grandes famílias:

- os rolamentos de esferas onde o contato esfera-pista é teoricamente pontual, permitindo velocidades de rotação elevadas
- os rolamentos de rolos onde o contato rolo-pista é teoricamente linear. Esses permitem suportar cargas radiais mais elevadas do que os rolamentos de esferas

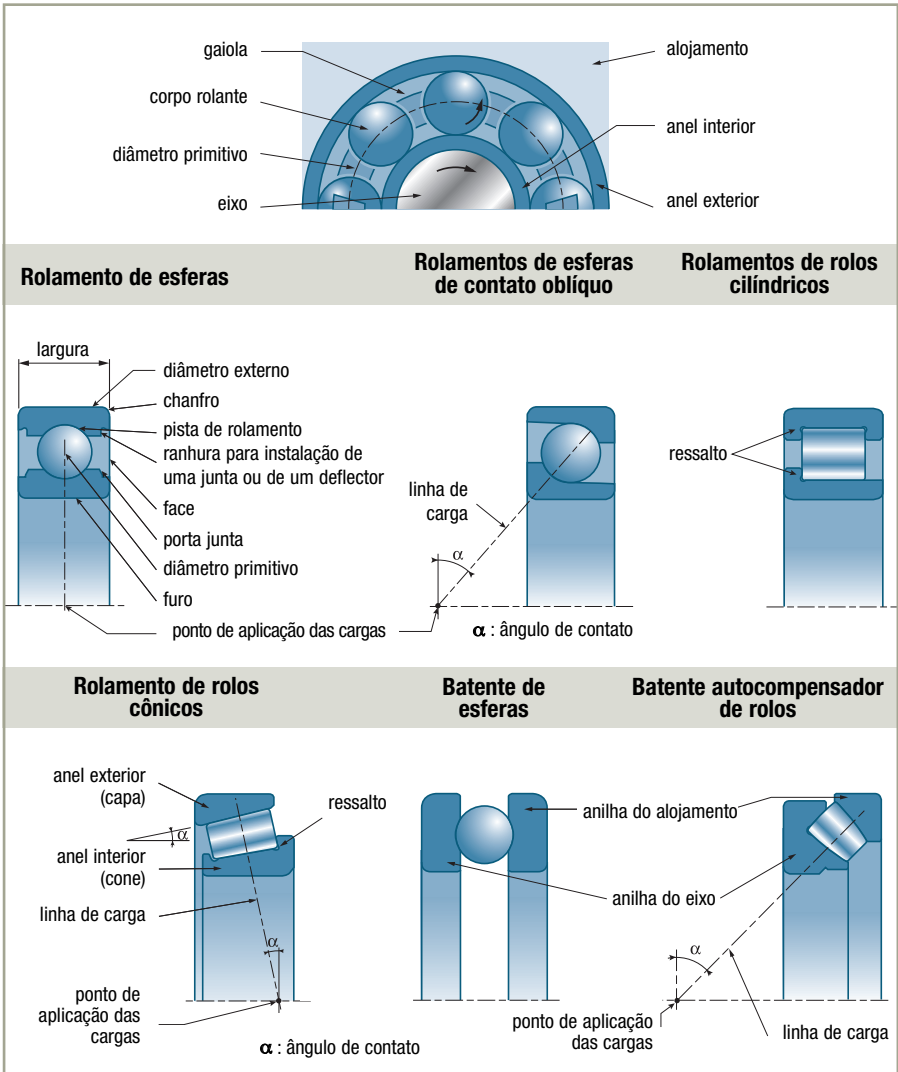


Tipos	Anel exterior	Anel interior	Corpos rolantes	Material sintético	Chapa embutida	Maciço usinado
 Rolamento de esferas						
 Rol. de rolos cilíndricos						
 Rol. de rolos cônicos	 (capa)	 (cone)				
 Rol. autocompensador de rolos						
 Rolamento de agulhas						
 Batente de esferas	 (anilha do alojamento)	 (anilha do eixo)				
 Batente autocompensador de rolos	 (anilha do alojamento)	 (anilha do eixo)				

Tipos de rolamentos (continuação)

Vocabulário

A norma ISO 5593 estabeleceu um vocabulário de termos de uso corrente no setor dos rolamentos e da sua tecnologia. Os termos e as suas definições são dados num vocabulário multilíngüe.



■ Rolamentos de esferas

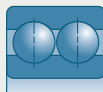
▶ Rolamentos de esferas de contato radial com uma ou duas fileiras de esferas

Rolamentos muito difundidos graças à sua relação preço-desempenho.

Numerosas variantes (proteção, vedação...) e grande seleção de dimensões.



Motor elétrico
Roda de reboque
Eletrodoméstico
Fuso de máquina para madeira
Pequeno redutor
Caixa de velocidades



▶ Rolamentos de esferas de contato oblíquo com uma fileira de esferas

Montados sempre em oposição a outro rolamento do mesmo tipo.

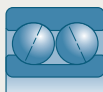
Permitem uma grande rigidez da montagem, sobretudo quando são pré-carregados.



Caixa de redução
Fuso de máquina

▶ Rolamentos de esferas de contato oblíquo com duas fileiras de esferas

Suportam cargas axiais nos dois sentidos. Podem ser utilizados sozinhos como mancal duplo.



Redutor
Roda de automóvel
Material agrícola

▶ Rolamentos de esferas com quatro pontos de contato

Suportam cargas axiais nos dois sentidos. Geralmente associados a um rolamento de contato radial.

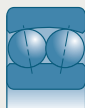


Redutor

■ Rolamento autocompensador de esferas ou de rolos

▶ Rolamento autocompensador de esferas

A pista esférica do anel exterior permite um deslocamento angular. Uma variante com furo cônico simplifica a montagem.



Eixo longo e flexível

▶ Rolamentos autocompensadores de rolos

A pista esférica do anel exterior permite um deslocamento angular. Uma variante com furo cônico simplifica a montagem.



Gaiola de laminador
Grande redutor
Grande ventilador industrial
Cilindro de máquina de impressão
Máquina de pedreira

Tipos de rolamentos (continuação)

Características gerais e aptidões

Exemplos de aplicações

■ Rolamentos de rolos

▶ Rolamentos de rolos cilíndricos

Excelente resistência às sobrecargas instantâneas e aos choques.

Permitem uma simplificação das montagens graças aos seus elementos separáveis.

Consentem, para certos tipos, um deslocamento axial ou para outros uma carga axial baixa.

▶ Rolamentos de rolos cônicos com uma fileira de corpos rolantes

Montados sempre em oposição a outro rolamento do mesmo tipo.

Permitem uma grande rigidez da montagem, especialmente quando são pré-carregados.

▶ Rolamentos de rolos cônicos com duas fileiras de rolos (SNR TWINLINE)

Suportam cargas axiais nos dois sentidos.

Freqüentemente utilizados sozinhos como mancal duplo.

▶ Rolamentos de agulhas

Admitem cargas radiais relativamente elevadas num espaço reduzido e com grande rigidez radial.

■ Batentes

Os batentes são sempre associados a rolamentos de outros tipos.

▶ Batentes de esferas

Suportam unicamente as cargas axiais. Devem ser associados a um rolamento radial.

▶ Batentes autocompensadores de rolos

Permitem suportar um esforço radial e axial, admitindo um defeito de alinhamento.



Grande motor elétrico
Caixa de eixos de vagão
Rolo de pressão
Cilindro de laminação



Eixo de redutor
Roda de veículos pesados
Transmissão angular de pinhão cônico



Caixa de eixos do TGV
Roda de automóvel



Eixo vertical
Contra-ponto
Bomba de plátô



Eixo vertical pesado
Turboalternador
Pivô de grua
Parafuso de injeção de plástico



	Aptidão às cargas radiais			Velocidade limite de rotação			Defeito de alinhamento admissível entre eixo e alojamento	
	baixo	médio	bom	baixo	médio	bom	baixo	bom

Types	Corte	Aptidão às cargas radiais			Velocidade limite de rotação			Defeito de alinhamento admissível entre eixo e alojamento	
		baixo	médio	bom	baixo	médio	bom	baixo	bom
Rolamentos de esferas de contato radial									
Rolamentos de esferas de contato radial com duas fileiras de esferas									
Rolamentos de esferas de contato oblíquo									
Rolamentos de esferas de contato oblíquo com quatro pontos de contato									
Rolamentos de esferas de contato oblíquo com duas fileiras de esferas									
Rolamentos de esferas de contato oblíquo TWINLINE									
Rolamento autocompensador de esferas									
Rolamentos de rolos cilíndricos (1)									
Rolamento de rolos cônicos									
Rolamento de rolos cônicos TWINLINE									
Rolamento autocompensador de rolos									
Batente de esferas de simples efeito									
Batente autocompensador de rolos									

(1) Os tipos NJ e NUP admitem cargas axiais baixas

Normalização e intercambiabilidade

As normas

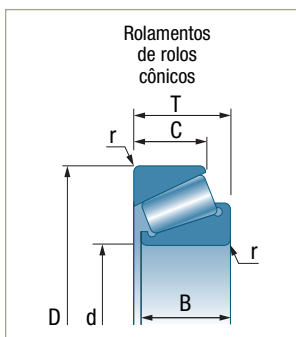
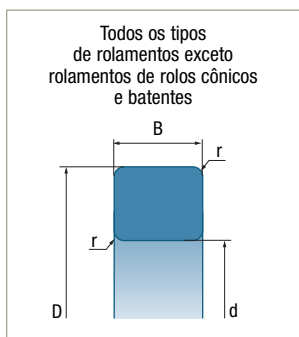
A Organização Internacional de Normas (ISO) tem a missão de desenvolver e coordenar a normalização para facilitar o intercâmbio de produtos e serviços entre as nações. Ela reúne os comitês nacionais de normalização de 89 países (AFNOR - França, AENOR - Espanha, DIN - Alemanha, UNI - Itália, BS - Grã-Bretanha, ANSI - Estados Unidos...).

A normalização do rolamento é uma atribuição do Comitê Técnico "TC 4" da ISO do qual a SNR participa ativamente. As principais normas utilizadas para os rolamentos e batentes são definidas no anexo (pág. 147).

Intercambiabilidade

■ A intercambiabilidade dimensional é garantida pelos valores e tolerâncias relativas às dimensões totais do rolamento: d , D , B , C , r e T .

- d Diâmetro do furo
- D Diâmetro externo
- B Largura do rolamento ou largura do anel interior (cone)
- C Largura do anel exterior (capa)
- T Largura ou altura total
- r Chanfro



A aplicação estrita das normas na fabricação dos rolamentos permite obter uma perfeita intercambiabilidade entre os rolamentos de mesmo símbolo, qualquer que seja o seu fabricante, o local ou a época da sua fabricação.

A normalização do rolamento permite também uma intercambiabilidade dimensional entre rolamentos de tipos diferentes, seja total ou parcial. É conveniente garantir a intercambiabilidade funcional.

■ Códigos de série dos rolamentos em função dos diferentes diâmetros externos e larguras

As normas prevêem para um mesmo furo várias séries de diâmetros (série 8, 9, 0, 1, 2, 3, 4 em ordem crescente).

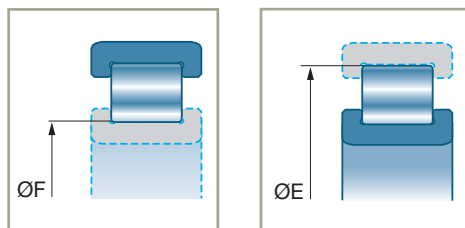
Para cada série de diâmetro, existem várias séries de largura (série 0, 1, 2, 3, 4 em ordem crescente).

■ Intercambiabilidade dos elementos separáveis dos rolamentos de rolos cilíndricos ou cônicos

Os rolamentos de rolos cilíndricos ou cônicos podem ser separados em duas partes: um anel solidário à gaiola e aos rolos e um anel livre.

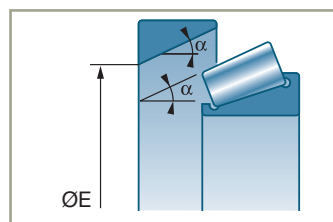
Rolamentos de rolos cilíndricos

A intercambiabilidade é garantida pelas cotas sob rolos **F** e sobre rolos **E**.



Rolamentos de rolos cônicos

A intercambiabilidade dos subconjuntos interiores (cones revestidos) e anéis exteriores (capas) é garantida pela norma ISO 355 que define o ângulo de contato α e o diâmetro interno teórico da capa **E**. Deve-se garantir que os rolamentos sejam realmente idênticos (mesmo sufixo).



Atenção: A intercambiabilidade é total entre elementos SNR. A ISO normalizou os valores das cotas acima sem precisar as suas tolerâncias. Assim, por um lado, se a montagem de elementos de fabricantes diferentes não apresenta perigo, por outro lado ela não permite sempre obter os desempenhos máximos e deve ser assim evitada.

Dimensões e simbologia

Simbologia geral

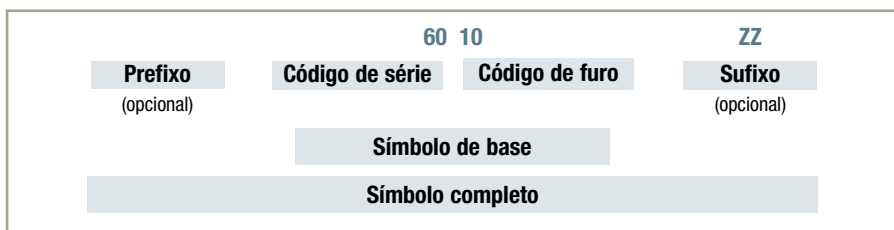
A ISO estabeleceu padrões sob a forma de um plano geral de dimensões correspondente às normas ISO 15, ISO 355 e ISO 104. Esses padrões permitem utilizar de modo universal os diferentes tipos de rolamentos.

- A simbologia geral, a partir das normas ISO 15 e ISO 104, aplica-se a todos os tipos de rolamentos normalizados.
- Os rolamentos de rolos cônicos estão sujeitos a uma simbologia específica da norma ISO 355.

Os rolamentos específicos utilizam uma simbologia particular.

→ Símbolo completo

■ O símbolo de cada rolamento é formado dos seguintes elementos:



Exemplos:

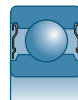
62 04 ZZ

Sem prefixo —————

Código série 62 —————

Sufixo ZZ proteção bilateral —————

Código de furo 04 x 5 = 20 mm furo —————



NU 314

Série NU3: rolamentos de rolos cilíndricos —————

14 x 5 = 70 mm de furo —————



302 08

Série 302 rolamentos de rolos cônicos —————









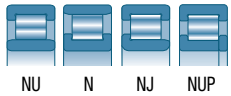

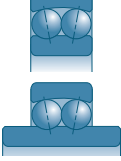


08 x 5 = 40 mm de furo —————



A tabela da página seguinte define as diferentes possibilidades para os códigos de série e códigos de furo. Os principais sufixos e prefixos são definidos no capítulo correspondente a cada família.

→ Símbolo de base

60 XX

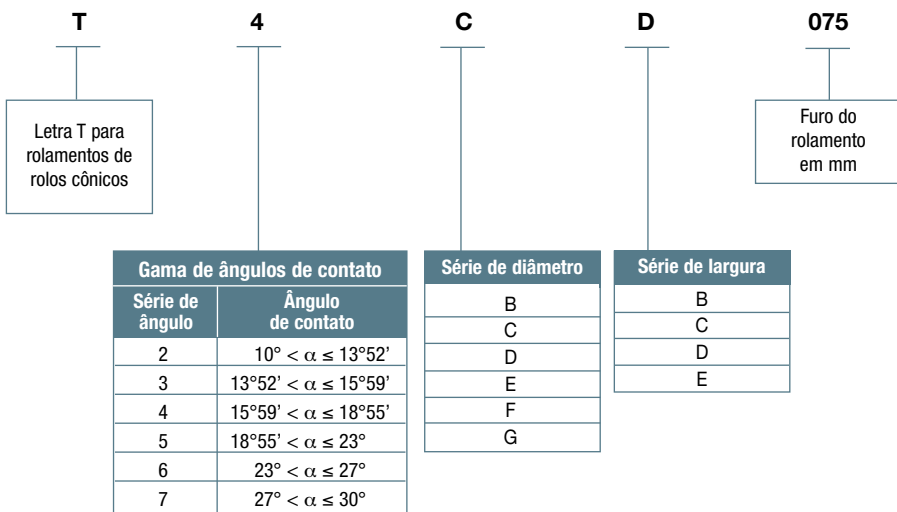
Símbolo	Tipo de rolamento	Símbolo	Tipo de rolamento	Código furo	Diâmetro furo mm
60 X 62 X 63 XX 64 XX 160 XX 618 XX 619 XX 622 XX 623 XX	Rolamentos de esferas de contato radial  Com uma fileira de esferas	72 XX 73 XX 718 XX	Rolamentos de esferas de contato oblíquo  Com uma fileira de esferas	3 /4 4	3 4 4
2 XX 3 XX	 Com entalhe	QJ2 XX QJ3 XX	 Com quatro pontos de contato	5 6 /6	5 6 6
42 XX 43 XX	 Com duas fileiras de esferas	32 XX 33 XX	 Com duas fileiras de esferas	7 /7	7 7
302 XX 303 XX 313 XX 320 XX 322 XX 323 XX 330 XX 331 XX 332 XX	Rolamento de rolos cônicos 	52 XX 53 XX	 Com duas fileiras de esferas ZZ ou EE	8 /8 9	8 8 9
N..2 XX N..3 XX N..4 XX N..10 XX N..22 XX N..23 XX	Rolamentos de rolos cilíndricos  NU N NJ NUP	213 XX 222 XX 223 XX 230 XX 231 XX 232 XX 240 XX 241 XX	Rolamento autocompensador de rolos 	00 01 02 03 /22 /28 /32	10 12 15 17 22 28 32
12 XX 13 XX 22 XX 23 XX	Rolamento autocompensador de esferas  Anel interior largo	511 XX 512 XX 513 XX 514 XX	Batente de esferas 	04 05 06 07 08 09 10	04x5 = 20 05x5 = 25 06x5 = 30 07x5 = 35 08x5 = 40
112 XX 113 XX		293 XX 294 XX	Batente autocompensador de rolos 		

Dimensões e simbologia (continuação)

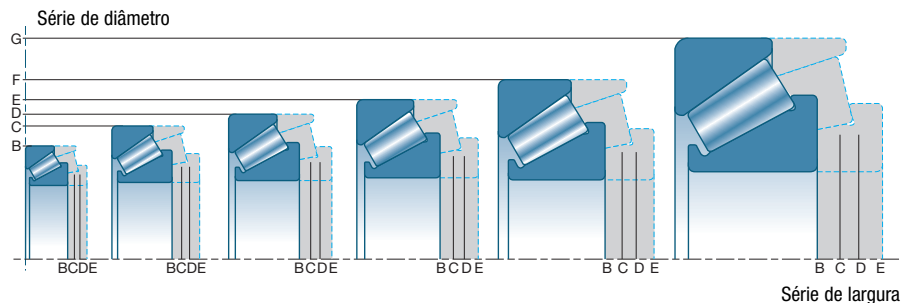
Simbologia dos rolamentos de rolos cônicos

A norma ISO 355 define as séries de dimensões dos rolamentos de rolos cônicos.

➔ A antiga simbologia foi conservada neste catálogo. Contudo, a nova simbologia é mencionada para cada rolamento.

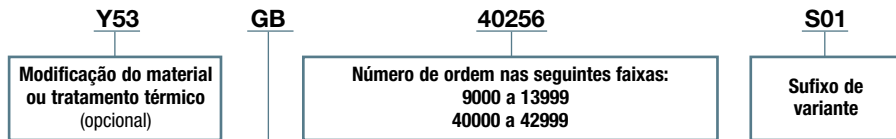


■ Séries de largura e de diâmetro



Simbologia dos rolamentos específicos

A simbologia dos rolamentos específicos não é normalizada e é própria de cada fabricante. A simbologia definida pela SNR é apresentada a seguir.



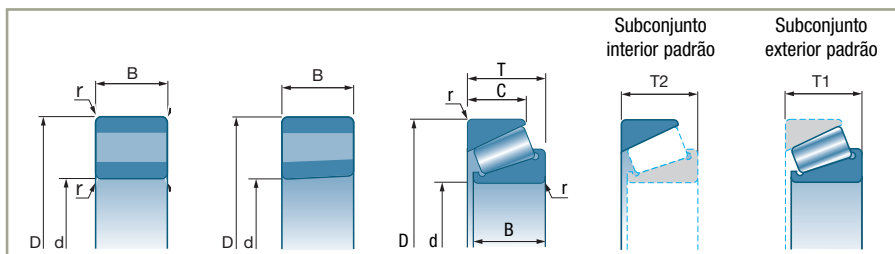
	Tipo de rolamento	Exemplos
AB	Rolamento com uma fileira de esferas de contato radial	
BB	Rolamento com uma fileira de esferas de contato oblíquo	
GB	Rolamento com duas fileiras de esferas de contato oblíquo em duas	
TGB	Rolamento com duas fileiras de esferas de contato oblíquo monoflange	
HGB	Rolamento com duas fileiras de esferas de contato oblíquo biflange	
DB	Rolamento com duas fileiras de esferas de contato radial	
AP	Batente de esferas	
QJ	Rolamento com quatro pontos de contato	
TJ	Rolamento com três pontos de contato	
N..	Rolamento de rolos cilíndricos: N, NU, NUP	
GNU	Rodizio de rolos cilíndricos	
EC	Rolamento com uma fileira de rolos cônicos	
FC	Rolamento com duas fileiras de rolos cônicos	
TFC	Rolamento com duas fileiras de rolos cônicos monoflange	
QR	Rolamento com rolos cruzados	
X...	Rolamentos com captação: XGB, XTGB, XHGB, XFC, XTFC	
CH	Rolamentos com corpos rolantes de cerâmica	

Precisão de execução dos rolamentos

Normalização

■ A norma **ISO 492** especifica as tolerâncias aplicáveis às dimensões totais e exatidão de rotação dos rolamentos radiais de série métrica

As tolerâncias dimensionais definidas por essa norma referem-se às seguintes cotas:



■ Classes de tolerâncias definidas pela norma **ISO 492**:

- ▶ A classe **Normal**, que é a de todos os rolamentos padronizados, e que não é normalmente indicada na designação do rolamento
- ▶ As classes de **Alta precisão** que são, por ordem crescente de precisão: ISO 6, ISO 5, ISO 4, ISO 2

Essas classes são indicadas num sufixo junto ao símbolo do rolamento.

Exemplo:

Jogo categoria 3
C3
P5
Precisão classe ISO 5

A norma **ISO 199** fixa igualmente as tolerâncias das dimensões dos batentes.

A norma **ISO 582** fixe as tolerâncias dos chanfros do rolamento. Nas tabelas das características dos rolamentos indicam-se as cotas dos rebaixos e ressaltos a serem respeitadas.

A norma **ISO 5753** define as tolerâncias sobre o jogo radial dos rolamentos.

→ Definição das tolerâncias

As classes de tolerâncias definem vários tipos de tolerâncias e características, dadas para uma temperatura de $20^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$.

■ Tolerâncias dimensionais

A norma **ISO 492** fixa as tolerâncias das três dimensões principais de um rolamento:

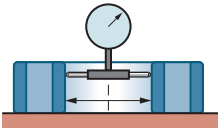
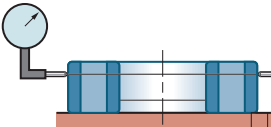
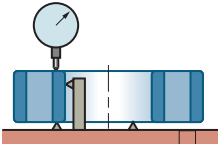
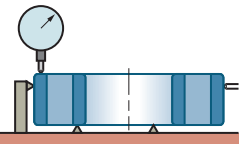
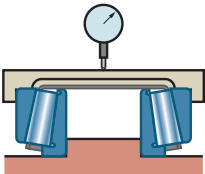
- o diâmetro do furo d
- o diâmetro externo D
- a largura de cada anel B e C , com, adicionalmente, para os rolamentos cônicos, a largura total T

■ Tolerâncias funcionais

A norma define também a precisão de rotação dos rolamentos:

- o desvio axial de cada anel. Ele é medido sobre o anel móvel com relação ao anel fixo
- a torção na face de referência do anel interior com relação ao furo
- a torção na superfície exterior com relação à face de referência
- a torção na face de referência com relação à pista

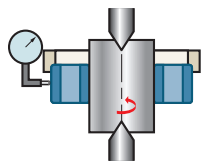
Precisão de execução dos rolamentos (continuação)

Tolerâncias dimensionais	Desvios
<p>d: diâmetro nominal do furo</p> 	<p>Δd_{mp} • Desvio de um diâmetro médio de furo num plano isolado (tolerância sobre o diâmetro médio)</p> <p>V_{dp} • Variação de diâmetro do furo, num plano radial isolado (ovalidade)</p> <p>V_{dmp} • Variação do diâmetro médio do furo (aplica-se somente a um furo considerado cilíndrico) (conicidade)</p>
<p>D: diâmetro externo nominal</p> 	<p>ΔD_{mp} • Desvio de um diâmetro externo médio num plano isolado (tolerância sobre o diâmetro médio)</p> <p>V_{Dp} • Variação do diâmetro externo, num plano radial isolado (ovalidade)</p> <p>V_{Dmp} • Variação do diâmetro externo médio (conicidade)</p>
<p>B: largura nominal do anel</p> 	<p>ΔB_s • Desvio de uma largura isolada do anel interior (tolerância largura)</p> <p>V_{B_s} • Variação da largura do anel interior (paralelismo das faces)</p>
<p>C: largura nominal do anel</p> 	<p>ΔC_s • Desvio de uma largura isolada do anel exterior (tolerância largura)</p> <p>V_{C_s} • Variação da largura do anel exterior (paralelismo das faces)</p>
<p>T : largura nominal do rolamento cônico</p> <p>T1: largura efetiva nominal do subconjunto interior</p> <p>T2: largura efetiva nominal do subconjunto exterior</p> 	<p>ΔT_s • Desvio da largura real do rolamento</p> <p>$\Delta T1_s$ • Desvio da largura efetiva real do subconjunto interior</p> <p>$\Delta T2_s$ • Desvio da largura efetiva real do subconjunto exterior</p>

Tolerâncias dimensionais

Desvios

desvio axial

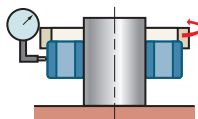


Kia

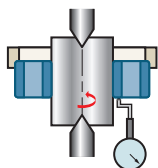
- Desvio axial do anel interior sobre rolamento montado

Kea

- Desvio axial do anel exterior sobre rolamento montado



torção da face de referência

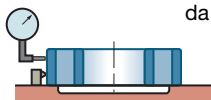


Sd

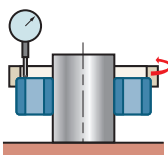
- Batimento axial da face de referência (ou da grande face se for o caso) do anel interior com relação ao furo (torção da face do anel interior)

SD

- Erro de ortogonalidade da superfície exterior com relação à face de referência (ou a grande face) do anel exterior (torção da superfície exterior)



torção da pista de rolamento

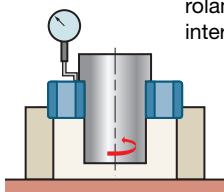


Sea

- Batimento axial da face de referência (ou da grande face) do anel exterior com relação à pista de rolamento, sobre rolamento montado (torção da pista do anel exterior)

Sia

- Batimento axial da face de referência (ou da grande face) do anel interior com relação à pista de rolamento, sobre rolamento montado (torção da pista do anel interior)



Método de medição, consultar a SNR.

Precisão de execução dos rolamentos *(continuação)*

→ Equivalência das normas de precisão dos rolamentos

	Classe de tolerâncias ISO	Classe de tolerâncias AFNOR	Classe de tolerâncias ABEC	Classe de tolerâncias DIN
Precisão normal	Normal	Normal	1	P0
Alta precisão	6	6	3	P6
	5	5	5	P5
	4	4	7	P4
	2	2	9	P2

Para certas características, os valores indicados pelas diferentes normas não são rigorosamente idênticos.

A classe de tolerâncias, quando indicada sobre o rolamento, impõe que todas as tolerâncias de tal classe sejam respeitadas.

Contudo, certas aplicações do rolamento exigem tolerâncias reduzidas sobre certas dimensões ou características.

Para evitar o emprego de um rolamento de alta precisão demasiado oneroso, a SNR pode fornecer somente rolamentos com tolerâncias reduzidas sobre certas dimensões ou características. Por exemplo: desvio axial de anel interior para os rolamentos grande velocidade para fuso de máquina para madeira.

Consultar a SNR.

Tolerâncias dos rolamentos

■ Rolamentos radiais

- Classe de tolerâncias Normal
- Classe de tolerâncias 6
- Classe de tolerâncias 5
- Classe de tolerâncias 4
- Classe de tolerâncias 2

Norma ISO 492

- pág. 23
- pág. 24
- pág. 25
- pág. 26
- pág. 27

■ Rolamentos de rolos cônicos

- Classe de tolerâncias Normal
- Classe de tolerâncias 6X
- Classe de tolerâncias 5

Norma ISO 492

- pág. 28
- pág. 29
- pág. 30

■ Batentes

- Classe de tolerâncias Normal, 6 e 5

Norma ISO 199

- pág. 31

■ Furos cônicos

- Furo cônico conicidade 1/12 e 1/30

Norma ISO 492

- pág. 32

→ Rolamentos radiais - Classe de tolerâncias Normal

Com exceção dos rolamentos de rolos cônicos e dos batentes. Norma ISO 492.

■ Anel interior

Tolerâncias em micrômetros

d mm	Δdmp		Vdp ⁽¹⁾			Vdmp	Kia	ΔBs			VBs
			Séries de diâmetros					todos	normal	modif. ⁽¹⁾	
	sup.	inf.	9	0,1	2,3,4	máx.	máx.				sup.
0,6 ≤ d ≤ 2,5	0	-8	10	8	6	6	10	0	-40	-	12
2,5 < d ≤ 10	0	-8	10	8	6	6	10	0	-120	-250	15
10 < d ≤ 18	0	-8	10	8	6	6	10	0	-120	-250	20
18 < d ≤ 30	0	-10	13	10	8	8	13	0	-120	-250	20
30 < d ≤ 50	0	-12	15	12	9	9	15	0	-120	-250	20
50 < d ≤ 80	0	-15	19	19	11	11	20	0	-150	-380	25
80 < d ≤ 120	0	-20	25	25	15	15	25	0	-200	-380	25
120 < d ≤ 180	0	-25	31	31	19	19	30	0	-250	-500	30
180 < d ≤ 250	0	-30	38	38	23	23	40	0	-300	-500	30
250 < d ≤ 315	0	-35	44	44	26	26	50	0	-350	-500	35
315 < d ≤ 400	0	-40	50	50	30	30	60	0	-400	-630	40
400 < d ≤ 500	0	-45	56	56	34	34	65	0	-450	-	50
500 < d ≤ 630	0	-50	63	63	38	38	70	0	-500	-	60
630 < d ≤ 800	0	-75	-	-	-	-	80	0	-750	-	70
800 < d ≤ 1000	0	-100	-	-	-	-	90	0	-1000	-	80

(1) Refere-se ao anel dos rolamentos isolados para montagem por par ou por conjunto.

■ Anel exterior

Tolerâncias em micrômetros

D mm	ΔDmp		VDp ⁽¹⁾				VDmp ⁽¹⁾	Kea	ΔCs		VCs
			Rolamentos abertos		Rol. protegidos	ΔC1s ⁽²⁾			VC1s ⁽²⁾		
	sup.	inf.	9	0,1			2,3,4	2,3,4		sup.	inf.
2,5 ≤ D ≤ 6	0	-8	10	8	6	10	6	15			
6 < D ≤ 18	0	-8	10	8	6	10	6	15			
18 < D ≤ 30	0	-9	12	9	7	12	7	15			
30 < D ≤ 50	0	-11	14	11	8	16	8	20			
50 < D ≤ 80	0	-13	16	13	10	20	10	25			
80 < D ≤ 120	0	-15	19	19	11	26	11	35			
120 < D ≤ 150	0	-18	23	23	14	30	14	40			
150 < D ≤ 180	0	-25	31	31	19	38	19	45			
180 < D ≤ 250	0	-30	38	38	23	-	23	50			
250 < D ≤ 315	0	-35	44	44	26	-	26	60			
315 < D ≤ 400	0	-40	50	50	30	-	30	70			
400 < D ≤ 500	0	-45	56	56	34	-	34	80			
500 < D ≤ 630	0	-50	63	63	38	-	38	100			
630 < D ≤ 800	0	-75	94	94	55	-	55	120			
800 < D ≤ 1000	0	-100	125	125	75	-	75	140			

Nota: As tolerâncias sobre o diâmetro externo, D1, do flange sobre o anel exterior são indicadas na norma ISO 492.

(1) Entende-se antes da montagem e após a remoção do segmento de retenção interior ou do segmento de bloqueio exterior.

(2) Aplica-se somente aos rolamentos de esferas, com ranhura.

Precisão de execução dos rolamentos (continuação)

➔ Rolamentos radiais de alta precisão - Classe de tolerâncias 6

Com exceção dos rolamentos de rolos cônicos e dos batentes. Norma ISO 492.

■ Anel interior

Tolerâncias em micrômetros

d mm	Δdmp		Vdp				Vdmp	Kia	ΔBs			VBs
			Séries de diâmetros						todos	normal	modif. ⁽¹⁾	
	sup.	inf.	9	0,1	2,3,4	máx.	máx.	sup.				inf.
0,6 < d ≤ 2,5	0	-7	9	7	5	5	5	0	-40	-	12	
2,5 < d ≤ 10	0	-7	9	7	5	5	6	0	-120	-250	15	
10 < d ≤ 18	0	-7	9	7	5	5	7	0	-120	-250	20	
18 < d ≤ 30	0	-8	10	8	6	6	8	0	-120	-250	20	
30 < d ≤ 50	0	-10	13	10	8	8	10	0	-120	-250	20	
50 < d ≤ 80	0	-12	15	15	9	9	10	0	-150	-380	25	
80 < d ≤ 120	0	-15	19	19	11	11	13	0	-200	-380	25	
120 < d ≤ 180	0	-18	23	23	14	14	18	0	-250	-500	30	
180 < d ≤ 250	0	-22	28	28	17	17	20	0	-300	-500	30	
250 < d ≤ 315	0	-25	31	31	19	19	25	0	-350	-500	35	
315 < d ≤ 400	0	-30	38	38	23	23	30	0	-400	-630	40	
400 < d ≤ 500	0	-35	44	44	26	26	35	0	-450	-	45	
500 < d ≤ 630	0	-40	50	50	30	30	40	0	-500	-	50	

(1) Refere-se ao anel dos rolamentos isolados para montagem por par ou por conjunto.

■ Anel exterior

Tolerâncias em micrômetros

D mm	ΔDmp		VDp ⁽¹⁾					VDmp ⁽¹⁾	Kea	ΔCs		VCs
			Rolamentos abertos			Rol. protegidos	ΔC1s ⁽²⁾			VC1s ⁽²⁾		
	sup.	inf.	9	0,1	2,3,4			0,1,2,3,4	máx.		máx.	sup.
2,5 ≤ D ≤ 6	0	-7	9	7	5	9	5	8				
6 < D ≤ 18	0	-7	9	7	5	9	5	8				
18 < D ≤ 30	0	-8	10	8	6	10	6	9				
30 < D ≤ 50	0	-9	11	9	7	13	7	10	Idêntico ao ΔBs e VBs do anel interior do mesmo rolamento			
50 < D ≤ 80	0	-11	14	11	8	16	8	13				
80 < D ≤ 120	0	-13	16	16	10	20	10	18				
120 < D ≤ 150	0	-15	19	19	11	25	11	20				
150 < D ≤ 180	0	-18	23	23	14	30	14	23				
180 < D ≤ 250	0	-20	25	25	15	-	15	25				
250 < D ≤ 315	0	-25	31	31	19	-	19	30				
315 < D ≤ 400	0	-28	35	35	21	-	21	35				
400 < D ≤ 500	0	-33	41	41	25	-	25	40				
500 < D ≤ 630	0	-38	48	48	29	-	29	50				
630 < D ≤ 800	0	-45	56	56	34	-	34	60				
800 < D ≤ 1000	0	-60	75	75	45	-	45	75				

Nota: As tolerâncias sobre o diâmetro externo, D1, do flange sobre o anel exterior são indicadas na norma ISO 492.

(1) Não se aplica aos rolamentos com anel exterior com flange.

(2) Aplica-se somente aos rolamentos de esferas, com ranhura.

→ Rolamentos radiais de alta precisão - Classe de tolerâncias 5

Com exceção dos rolamentos de rolos cônicos e dos batentes. Norma ISO 492.

■ Anel interior

Tolerâncias em micrômetros

d mm	Δdmp		Vdp		Vdmp	Kia	Sd	Sia ⁽¹⁾	ΔBs			VBs
			Séries de Ø						máx.	máx.	máx.	
	9	0,1,2,3,4	sup.	inf.	sup.	normal	modif. ⁽²⁾	máx.				
0,6 ≤ d ≤ 2,5	0	-5	5	4	3	4	7	7	0	-40	-250	5
2,5 < d ≤ 10	0	-5	5	4	3	4	7	7	0	-40	-250	5
10 < d ≤ 18	0	-5	5	4	3	4	7	7	0	-80	-250	5
18 < d ≤ 30	0	-6	6	5	3	4	8	8	0	-120	-250	5
30 < d ≤ 50	0	-8	8	6	4	5	8	8	0	-120	-250	5
50 < d ≤ 80	0	-9	9	7	5	5	8	8	0	-150	-250	6
80 < d ≤ 120	0	-10	10	8	5	6	9	9	0	-200	-380	7
120 < d ≤ 180	0	-13	13	10	7	8	10	10	0	-250	-380	8
180 < d ≤ 250	0	-15	15	12	8	10	11	13	0	-300	-500	10
250 < d ≤ 315	0	-18	18	14	9	13	13	15	0	-350	-500	13
315 < d ≤ 400	0	-23	23	18	12	15	15	20	0	-400	-630	15

(1) Aplica-se somente aos rolamentos de esferas, com ranhuras

(2) Refere-se ao anel dos rolamentos isolados para montagem por par ou por conjunto.

■ Anel exterior

Tolerâncias em micrômetros

D mm	ΔDmp		VDp		VDmp	Kea	SD ⁽¹⁾ SD1 ⁽²⁾	Sea ⁽¹⁾⁽²⁾	Sea1 ⁽²⁾	ΔCs ΔC1s ⁽²⁾		VCs VC1s ⁽²⁾
			Séries de Ø							máx.	máx.	
	9	0,1,2,3,4	sup.	inf.	sup.	normal	modif. ⁽²⁾	máx.				
2,5 ≤ D ≤ 6	0	-5	5	4	3	5	8	8	11	Idêntico ao ΔBs do anel interior do mesmo rolamento	5	
6 < D ≤ 18	0	-5	5	4	3	5	8	8	11		5	
18 < D ≤ 30	0	-5	6	5	3	6	8	8	11		5	
30 < D ≤ 50	0	-7	7	5	4	7	8	8	11		5	
50 < D ≤ 80	0	-9	9	7	5	8	8	10	14		6	
80 < D ≤ 120	0	-10	10	8	5	10	9	11	16		8	
120 < D ≤ 150	0	-11	11	8	6	11	10	13	18		8	
150 < D ≤ 180	0	-13	13	10	7	13	10	14	20		8	
180 < D ≤ 250	0	-15	15	11	8	15	11	15	21		10	
250 < D ≤ 315	0	-18	18	14	9	18	13	18	25		11	
315 < D ≤ 400	0	-20	20	15	10	20	13	20	28		13	
400 < D ≤ 500	0	-23	23	17	12	23	15	23	33		15	
500 < D ≤ 630	0	-28	28	21	14	25	18	25	35		18	
630 < D ≤ 800	0	-35	35	26	18	30	20	30	42		20	

Nota: As tolerâncias sobre o diâmetro externo, D1, do flange sobre o anel exterior são indicadas na norma ISO 492.

(1) Aplica-se somente aos rolamentos de esferas, com ranhuras.

(2) Refere-se ao anel dos rolamentos isolados para montagem por par ou por conjunto.

Precisão de execução dos rolamentos (continuação)

→ Rolamentos radiais de alta precisão - Classe de tolerâncias 4

Com exceção dos rolamentos de rolos cônicos e dos batentes. Norma ISO 492.

■ Anel interior

Tolerâncias em micrômetros

d mm	Δdmp		Δds ⁽¹⁾		Vdp		Vdmp	Kia	Sd	Sia ⁽²⁾	ΔBs			VBs					
	sup.	inf.	sup.	inf.	Séries de Ø						máx.	máx.	máx.		máx.	sup.	normal	modif. ⁽³⁾	máx.
					9	0,1,2,3,4													
0,6 <d≤ 2,5	0	-4	0	-4	4	3	2	2,5	3	3	0	-40	-250	2,5					
2,5 <d≤ 10	0	-4	0	-4	4	3	2	2,5	3	3	0	-40	-250	2,5					
10 <d≤ 18	0	-4	0	-4	4	3	2	2,5	3	3	0	-80	-250	2,5					
18 <d≤ 30	0	-5	0	-5	5	4	2,5	3	4	4	0	-120	-250	2,5					
30 <d≤ 50	0	-6	0	-6	6	5	3	4	4	4	0	-120	-250	3					
50 <d≤ 80	0	-7	0	-7	7	5	3,5	4	5	5	0	-150	-250	4					
80 <d≤ 120	0	-8	0	-8	8	6	4	5	5	5	0	-200	-380	4					
120 <d≤ 180	0	-10	0	-10	10	8	5	6	6	7	0	-250	-380	5					
180 <d≤ 250	0	-12	0	-12	12	9	6	8	7	8	0	-300	-500	6					

(1) Esses desvios aplicam-se somente às séries de diâmetros 0, 1, 2, 3 e 4.

(2) Aplicam-se somente aos rolamentos de esferas, com ranhura.

(3) Refere-se ao anel dos rolamentos isolados para montagem por par ou por conjunto.

■ Anel exterior

Tolerâncias em micrômetros

D mm	ΔDmp		ΔDs ⁽¹⁾		VDp		VDmp	Kea	Sd ⁽²⁾ Sd1 ⁽³⁾	Sea ⁽²⁾⁽³⁾	Sea1 ⁽³⁾	ΔCs ΔC1s ⁽³⁾		VCs VC1s ⁽³⁾					
	sup.	inf.	sup.	inf.	Séries de Ø							máx.	máx.		máx.	máx.	sup.	inf.	máx.
					9	0,1,2,3,4													
2,5 <D≤ 6	0	-4	0	-4	4	3	2	3	4	5	7	Idêntico ao ΔBs do anel interior do mesmo rolamento	2,5						
6 <D≤ 18	0	-4	0	-4	4	3	2	3	4	5	7		2,5						
18 <D≤ 30	0	-5	0	-5	5	4	2,5	4	4	5	7		2,5						
30 <D≤ 50	0	-6	0	-6	6	5	3	5	4	5	7		2,5						
50 <D≤ 80	0	-7	0	-7	7	5	3,5	5	4	5	7		3						
80 <D≤ 120	0	-8	0	-8	8	6	4	6	5	6	8		4						
120 <D≤ 150	0	-9	0	-9	9	7	5	7	5	7	10	5							
150 <D≤ 180	0	-10	0	-10	10	8	5	8	5	8	11	5							
180 <D≤ 250	0	-11	0	-11	11	8	6	10	7	10	14	7							
250 <D≤ 315	0	-13	0	-13	13	10	7	11	8	10	14	7							
315 <D≤ 400	0	-15	0	-15	15	11	8	13	10	13	18	8							

Nota: As tolerâncias sobre o diâmetro externo, D1, do flange sobre o anel exterior são indicadas na norma ISO 492.

(1) Esses desvios aplicam-se somente às séries de diâmetros 0, 1, 2, 3 e 4.

(2) Não se aplica aos rolamentos com anel exterior com flange.

(3) Aplica-se somente aos rolamentos de esferas, com ranhura.

→ Rolamentos radiais de alta precisão - Classe de tolerâncias 2

Com exceção dos rolamentos de rolos cônicos e dos batentes. Norma ISO 492.

■ Anel interior

Tolerâncias em micrômetros

d mm	Δd_{mp}		Δd_s		$V_{dp}^{(1)}$	V_{dmp}	K_{ia}	S_d	$S_{ia}^{(2)}$	ΔB_s			V_Bs
	sup.	inf.	sup.	inf.	máx.	máx.	máx.	máx.	máx.	todos	normal	modif. ⁽³⁾	máx.
										sup.	inf.	inf.	
0,6 <d≤ 2,5	0	-2,5	0	-2,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	-40	-250	1,5
2,5 <d≤ 10	0	-2,5	0	-2,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	-40	-250	1,5
10 <d≤ 18	0	-2,5	0	-2,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	-80	-250	1,5
18 <d≤ 30	0	-2,5	0	-2,5	2,5	1,5	2,5	1,5	2,5	0	-120	-250	1,5
30 <d≤ 50	0	-2,5	0	-2,5	2,5	1,5	2,5	1,5	2,5	0	-120	-250	1,5
50 <d≤ 80	0	-4	0	-4	4	2	2,5	1,5	2,5	0	-150	-250	1,5
80 <d≤ 120	0	-5	0	-5	5	2,5	2,5	2,5	2,5	0	-200	-380	2,5
120 <d≤ 150	0	-7	0	-7	7	3,5	2,5	2,5	2,5	0	-250	-380	2,5
150 <d≤ 180	0	-7	0	-7	7	3,5	5	4	5	0	-250	-380	4
180 <d≤ 250	0	-8	0	-8	8	4	5	5	5	0	-300	-500	5

(1) Esses desvios aplicam-se somente às séries de diâmetros 0, 1, 2, 3 e 4.

(2) Aplicam-se somente aos rolamentos de esferas, com ranhura.

(3) Refere-se ao anel dos rolamentos isolados para montagem por par ou por conjunto.

■ Anel exterior

Tolerâncias em micrômetros

D mm	ΔD_{mp}		ΔD_s		$V_{Dp}^{(1)}$	V_{Dp}	K_{ea}	$S_{d1}^{(2)}$	$S_{d1}^{(3)}$	$S_{ia}^{(2)(3)}$	$S_{ia1}^{(3)}$	ΔC_s $\Delta C1s^{(3)}$		VC_s $VC1s^{(3)}$
	sup.	inf.	sup.	inf.	máx.	máx.	máx.	máx.	máx.	máx.	máx.	sup.	inf.	máx.
2,5 ≤ D ≤ 6	0	-2,5	0	-2,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	3	Idêntico ao ΔB_s do anel interior do mesmo rolamento	1,5	
6 < D ≤ 18	0	-2,5	0	-2,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	3	1,5			
18 < D ≤ 30	0	-4	0	-4	4	2	2,5	1,5	2,5	4	1,5			
30 < D ≤ 50	0	-4	0	-4	4	2	2,5	1,5	2,5	4	1,5			
50 < D ≤ 80	0	-4	0	-4	4	2	4	1,5	4	6	2,5			
80 < D ≤ 120	0	-5	0	-5	5	2,5	5	2,5	5	7	2,5			
120 < D ≤ 150	0	-5	0	-5	5	2,5	5	2,5	5	7	2,5			
150 < D ≤ 180	0	-7	0	-7	7	3,5	5	2,5	5	7	2,5			
180 < D ≤ 250	0	-8	0	-8	8	4	7	4	7	10	4			
250 < D ≤ 315	0	-8	0	-8	8	4	7	5	7	10	5			
315 < D ≤ 400	0	-10	0	-10	10	5	8	7	8	11	7			

Nota: As tolerâncias sobre o diâmetro externo, D1, do flange sobre o anel exterior são indicadas na norma ISO 492.

(1) Esses desvios aplicam-se somente às séries de diâmetros 0, 1, 2, 3 e 4.

(2) Não se aplica aos rolamentos com anel exterior com flange.

(3) Aplica-se somente aos rolamentos de esferas, com ranhura.

Precisão de execução dos rolamentos (continuação)

→ Rolamentos de rolos cônicos - Classe de tolerâncias Normal

■ Diâmetro e desvio axial - anel interior

Tolerâncias em micrômetros

d mm	Δd_{mp}		V _{dp}	V _{dmp}	K _{ia}
	sup.	inf.	máx.	máx.	máx.
10 $\leq d \leq$ 18	0	-12	12	9	15
18 $< d \leq$ 30	0	-12	12	9	18
30 $< d \leq$ 50	0	-12	12	9	20
50 $< d \leq$ 80	0	-15	15	11	25
80 $< d \leq$ 120	0	-20	20	15	30
120 $< d \leq$ 180	0	-25	25	19	35
180 $< d \leq$ 250	0	-30	30	23	50
250 $< d \leq$ 315	0	-35	35	26	60
315 $< d \leq$ 400	0	-40	40	30	70

■ Diâmetro e desvio axial - anel exterior

Tolerâncias em micrômetros

D mm	ΔD_{mp}		V _{Dp}	V _{Dmp}	K _{ea}
	sup.	inf.	máx.	máx.	máx.
18 $\leq D \leq$ 30	0	-12	12	9	18
30 $< D \leq$ 50	0	-14	14	11	20
50 $< D \leq$ 80	0	-16	16	12	25
80 $< D \leq$ 120	0	-18	18	14	35
120 $< D \leq$ 150	0	-20	20	15	40
150 $< D \leq$ 180	0	-25	25	19	45
180 $< D \leq$ 250	0	-30	30	23	50
250 $< D \leq$ 315	0	-35	35	26	60
315 $< D \leq$ 400	0	-40	40	30	70
400 $< D \leq$ 500	0	-45	45	34	80
500 $< D \leq$ 630	0	-50	50	38	100

Nota: As tolerâncias sobre o diâmetro externo, D1, do flange sobre o anel exterior são indicadas na norma ISO 492.

■ **Largura - Anéis interior e exterior, rolamentos com uma fileira e subconjuntos com uma fileira**

Tolerâncias em micrômetros

d mm	ΔBs		ΔCs		ΔTs		ΔT1s		ΔT2s	
	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.
10 ≤d≤ 18	0	-120	0	-120	+200	0	+100	0	+100	0
18 <d≤ 30	0	-120	0	-120	+200	0	+100	0	+100	0
30 <d≤ 50	0	-120	0	-120	+200	0	+100	0	+100	0
50 <d≤ 80	0	-150	0	-150	+200	0	+100	0	+100	0
80 <d≤ 120	0	-200	0	-200	+200	-200	+100	-100	+100	-100
120 <d≤ 180	0	-250	0	-250	+350	-250	+150	-150	+200	-100
180 <d≤ 250	0	-300	0	-300	+350	-250	+150	-150	+200	-100
250 <d≤ 315	0	-350	0	-350	+350	-250	+150	-150	+200	-100
315 <d≤ 400	0	-400	0	-400	+400	-400	+200	-200	+200	-200

➔ **Rolamentos de rolos cônicos de alta precisão - Classe de tolerâncias 6X**

As tolerâncias do diâmetro ao ajuste dos anéis interiores (cones) e exteriores (capas) desta classe de tolerâncias são as mesmas que aparecem na pág. 28 para a classe normal. As tolerâncias sobre a largura são definidas a seguir.

■ **Largura - Anéis interior e exterior, rolamentos com uma fileira e subconjuntos com uma fileira**

Tolerâncias em micrômetros

d mm	ΔBs		ΔCs		ΔTs		ΔT1s		ΔT2s	
	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.
10 ≤d≤ 18	0	-50	0	-100	+100	0	+50	0	+50	0
18 <d≤ 30	0	-50	0	-100	+100	0	+50	0	+50	0
30 <d≤ 50	0	-50	0	-100	+100	0	+50	0	+50	0
50 <d≤ 80	0	-50	0	-100	+100	0	+50	0	+50	0
80 <d≤ 120	0	-50	0	-100	+100	0	+50	0	+50	0
120 <d≤ 180	0	-50	0	-100	+150	0	+50	0	+100	0
180 <d≤ 250	0	-50	0	-100	+150	0	+50	0	+100	0
250 <d≤ 315	0	-50	0	-100	+200	0	+100	0	+100	0
315 <d≤ 400	0	-50	0	-100	+200	0	+100	0	+100	0

Precisão de execução dos rolamentos (continuação)

→ Rolamentos de rolos cônicos de alta precisão - Classe de tolerâncias 5

■ Anel interior (cone) e largura do rolamento com uma fileira

Tolerâncias em micrômetros

d mm	Δd_{mp}		V _{dp}	V _{dmp}	K _{ia}	S _d	ΔB_s		ΔT_s	
	sup.	inf.	máx.	máx.	máx.	máx.	sup.	inf.	sup.	inf.
10 $\leq d \leq$ 18	0	-7	5	5	5	7	0	-200	+200	-200
18 $< d \leq$ 30	0	-8	6	5	5	8	0	-200	+200	-200
30 $< d \leq$ 50	0	-10	8	5	6	8	0	-240	+200	-200
50 $< d \leq$ 80	0	-12	9	6	7	8	0	-300	+200	-200
80 $< d \leq$ 120	0	-15	11	8	8	9	0	-400	+200	-200
120 $< d \leq$ 180	0	-18	14	9	11	10	0	-500	+350	-250
180 $< d \leq$ 250	0	-22	17	11	13	11	0	-600	+350	-250

■ Anel exterior (capa)

Tolerâncias em micrômetros

D mm	Δd_{mp}		V _{dp}	V _{dmp}	Kea	S _d ⁽¹⁾ , SD1	ΔT_s	
	sup.	inf.	máx.	máx.	máx.	máx.	sup.	inf.
18 $< D \leq$ 30	0	-8	6	5	6	8	Idêntico ao ΔB_s do anel interior do mesmo rolamento	
30 $< D \leq$ 50	0	-9	7	5	7	8		
50 $< D \leq$ 80	0	-11	8	6	8	8		
80 $< D \leq$ 120	0	-13	10	7	10	9		
120 $< D \leq$ 150	0	-15	11	8	11	10		
150 $< D \leq$ 180	0	-18	14	9	13	10		
180 $< D \leq$ 250	0	-20	15	10	15	11		
250 $< D \leq$ 315	0	-25	19	13	18	13		
315 $< D \leq$ 400	0	-28	22	14	20	13		

Nota: As tolerâncias sobre o diâmetro externo, D1, do flange sobre o anel exterior são indicadas na norma ISO 492.

(1) Não se aplica aos rolamentos com anel exterior com flange.

→ Batente de esferas - Classe de tolerâncias Normal

■ Norma ISO 199

Símbolos

d	Diâmetro nominal de furo da anilha do eixo de um batente de efeito simples	<p>O diagrama mostra um batente de esferas com duas esferas de cor azul montadas em um anel de suporte de cor cinza. O diâmetro nominal do furo da anilha do eixo é denotado por 'd'. O diâmetro externo nominal da anilha do alojamento é denotado por 'D'. A largura do batente é denotada por 'T'. A espessura da anilha do alojamento é denotada por 'Si'.</p>
Δdmp	Desvio do diâmetro médio de furo da anilha do eixo de um batente de efeito simples, num plano isolado	
Vdp	Varição do diâmetro de furo da anilha do eixo de um batente de efeito simples, num plano radial isolado	
D	Diâmetro externo nominal da anilha do alojamento	
ΔDmp	Desvio do diâmetro externo médio da anilha do alojamento num plano isolado	
VDp	Varição do diâmetro externo da anilha do alojamento num plano radial isolado	
Si	Varição de espessura entre a pista de rolamento e a face de apoio da anilha do eixo	
Se	Varição de espessura entre a pista de rolamento e a face de apoio da anilha do alojamento	
ΔTs	Varição de altura total.	

■ Anilha do eixo e altura de batente

Tolerâncias em micrômetros

d mm		Δdmp		Vdp	Si	ΔTs	
>	≤	sup.	inf.	máx.	máx.	sup.	inf.
–	18	0	-8	6	10	+20	-250
18	30	0	-10	8	10	+20	-250
30	50	0	-12	9	10	+20	-250
50	80	0	-15	11	10	+20	-300
80	120	0	-20	15	15	+25	-300
120	180	0	-25	19	15	+25	-400
180	250	0	-30	23	20	+30	-400
250	315	0	-35	26	25	+40	-400
315	400	0	-40	30	30	+40	-500
400	500	0	-45	34	30	+50	-500

Precisão de execução dos rolamentos (continuação)

Anilha do alojamento

Tolerâncias em micrômetros

D mm		ΔD_{mp}		VDp	Se
>	\leq	sup.	inf.	máx.	máx.
10	18	0	-11	8	Idêntico a Si da anilha do eixo do mesmo tipo
18	30	0	-13	10	
30	50	0	-16	12	
50	80	0	-19	14	
80	120	0	-22	17	
120	180	0	-25	19	
180	250	0	-30	23	
250	315	0	-35	26	
315	400	0	-40	30	
400	500	0	-45	34	
500	630	0	-50	38	

➔ Furos cônicos: conicidade 1/12 e conicidade 1/30

■ Norma ISO 492

▶ Semi-ângulo nominal no topo do cone:

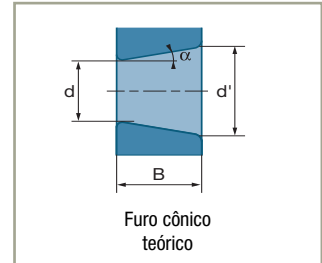
$$1/12 : \alpha = 2^\circ 23' 9,4'' = 2,38594^\circ = 0,041643 \text{ rad}$$

$$1/30 : \alpha = 0^\circ 57' 17,4'' = 0,95484^\circ = 0,016665 \text{ rad}$$

▶ Diâmetro nominal na maior abertura teórica do furo:

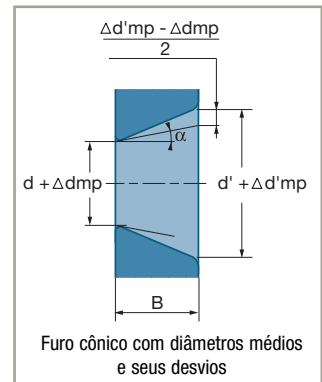
$$1/12 : d' = d + B / 12$$

$$1/30 : d' = d + B / 30$$



▶ As tolerâncias de um furo cônico constituem-se:

- de uma tolerância sobre o diâmetro médio, dada pelos limites do desvio real do diâmetro médio na menor abertura teórica do furo,
- de uma tolerância de conicidade, dada pelos limites da diferença entre os desvios do diâmetro médio em cada extremidade do furo,
- de uma tolerância sobre a variação de diâmetro Vdp dada por um valor máximo aplicável a todo o plano radial do furo



■ Furo cônico, conicidade 01:12

Tolerâncias em micrômetros

d mm	Δd_{mp}		$\Delta d'_{mp} - \Delta d_{mp}$		$V_{dp}^{(1)(2)}$
	sup.	inf.	sup.	inf.	máx.
$d \leq 10$	22	0	15	0	9
$10 < d \leq 18$	27	0	18	0	11
$18 < d \leq 30$	33	0	21	0	13
$30 < d \leq 50$	39	0	25	0	16
$50 < d \leq 80$	46	0	30	0	19
$80 < d \leq 120$	54	0	35	0	22
$120 < d \leq 180$	63	0	40	0	40
$180 < d \leq 250$	72	0	46	0	46
$250 < d \leq 315$	81	0	52	0	52
$315 < d \leq 400$	89	0	57	0	57
$400 < d \leq 500$	97	0	63	0	63
$500 < d \leq 630$	110	0	70	0	70
$630 < d \leq 800$	125	0	80	0	–
$800 < d \leq 1000$	140	0	90	0	–

(1) Aplica-se a todo o plano radial isolado do furo.

(2) Não se aplica às séries de diâmetros 7 e 8.

■ Furo cônico, conicidade 01:30

Tolerâncias em micrômetros

d mm	Δd_{mp}		$\Delta d'_{mp} - \Delta d_{mp}$		$V_{dp}^{(1)(2)}$
	sup.	inf.	sup.	inf.	máx.
$50 < d \leq 80$	15	0	30	0	19
$80 < d \leq 120$	20	0	35	0	22
$120 < d \leq 180$	25	0	40	0	40
$180 < d \leq 250$	30	0	46	0	46
$250 < d \leq 315$	35	0	52	0	52
$315 < d \leq 400$	40	0	57	0	57
$400 < d \leq 500$	45	0	63	0	63
$500 < d \leq 630$	50	0	70	0	70

(1) Aplica-se a todo o plano radial isolado do furo.

(2) Não se aplica às séries de diâmetros 7 e 8.

Jogo interno inicial dos rolamentos

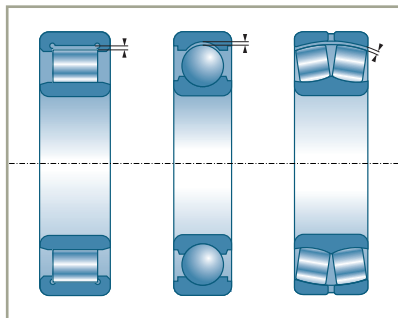
Jogo radial dos rolamentos de contato radial. Definição

O jogo radial interno é o deslocamento sem carga de um anel com relação ao outro na direção radial.

Os rolamentos de contato radial devem funcionar com um leve jogo radial.

Os rolamentos de contato radial têm um jogo interno por construção. A montagem do rolamento deve permitir que exista um jogo residual.

Esse jogo radial provoca um jogo axial (exceto para os rolamentos de rolos cilíndricos).



Grupo de jogo radial interno

As tolerâncias ou grupos de jogos são normalizados (Norma ISO 5753).

A escolha do grupo de jogo interno é feita em função do caderno de encargos da aplicação e do cálculo do jogo residual.

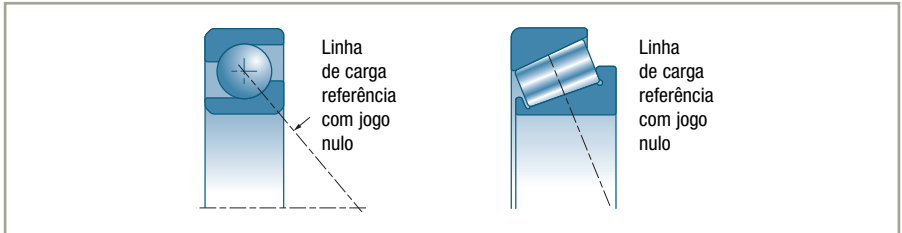
Jogo radial		Designação dos rolamentos	Aplicações
Tipo	Grupo	Sufixo SNR	
Jogo normal	N		Conveniente para cargas baixas ou moderadas, aperto normal de apenas um dos dois anéis, temperaturas normais.
Jogo aumentado	3	C3	<p>Jogo utilizado frequentemente nos seguintes casos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - aperto importante de um ou dos dois anéis - defeito de alinhamento, flexão do eixo - aumento do ângulo de contato dos rolamentos de esferas de contato radial, sob carga axial elevada - temperaturas elevadas <p>Os grupos de jogos 4 e 5 são utilizados nos casos precedentes quando o jogo de grupo 3 é insuficiente.</p>
	4	C4	
	5	C5	
Jogo reduzido	2	C2	<p>Esse grupo de jogo é empregado (raramente) quando é necessário um guia muito boa com jogo reduzido, bem como em aplicação com cargas alternadas e choques importantes.</p> <p>A utilização desse grupo de jogo é muito particular, porque ela tem geralmente como objetivo anular o jogo de funcionamento do rolamento. O estudo da montagem (alinhamento), dos ajustes e das condições de funcionamento (temperatura, velocidade) deve ser feito com cuidado especial. Consultar a SNR.</p>

Jogo axial dos rolamentos de contato angular

Jogo axial recomendado

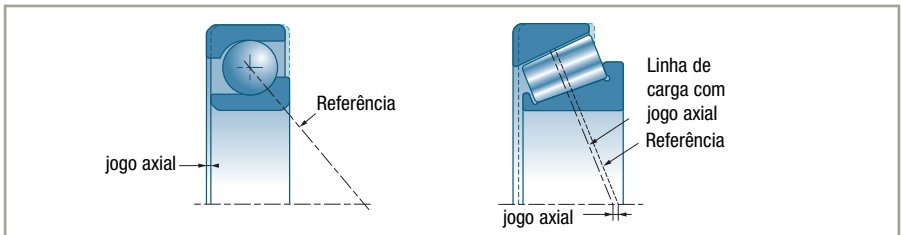
Por construção, os rolamentos de contato angular com uma fileira de esferas ou de rolos cônicos não têm jogo interno.

O jogo do rolamento é nulo quando os seus elementos, anel interior, corpos rolantes, anel exterior, estão em contato sem aplicação de carga.



Com relação a essa posição de referência, pode-se dar ao rolamento um jogo ou uma pré-carga durante a montagem.

A figura a seguir mostra os elementos no caso de um jogo axial.



■ Ordem de grandeza do jogo axial de uma montagem em funcionamento

O valor jogo inicial na montagem deve levar em conta as condições de funcionamento.

A relação entre o jogo axial e o jogo radial de uma montagem sobre dois rolamentos é indicada para cada tipo de rolamento no capítulo correspondente a cada família.

d = furo do rolamento	Ja = Jogo axial
$d < 20 \text{ mm}$	Ja = 0,03 a 0,08 mm
$20 < d \leq 80 \text{ mm}$	Ja = 0,05 a 0,15 mm
$80 < d \leq 120 \text{ mm}$	Ja = 0,05 a 0,25 mm
$d > 120 \text{ mm}$	Ja = 0,10 a 0,30 mm

Tecnologia dos rolamentos

Características dos rolamentos	38
■ Conceção do rolamento	38
■ Materiais e tratamentos de superfície	39
<i>Conhecimento e acompanhamento da qualidade dos materiais</i>	39
<i>Materiais e tratamentos de superfície</i>	39
<i>Tratamento térmico</i>	40
■ Fabricação do rolamento	42
<i>Moldagem dos anéis do rolamento</i>	42
<i>Acabamento do rolamento</i>	42
<i>Gama de fabricação padrão</i>	43
Variantes dos componentes do rolamento	44
■ Anel interior	44
<i>Furo cônico</i>	44
<i>Chanfros especiais</i>	45
■ Definições	46
■ Outras variantes de anéis	48
■ Gaiola	49
<i>Materiais</i>	49
<i>Centragem</i>	50
<i>Escolha de uma gaiola especial</i>	50
Proteção e vedação	52
■ Dispositivos de proteção e de vedações exteriores ao rolamento	53
■ Outros tipos de juntas	54

Características dos rolamentos

Concepção do rolamento

O crescimento contínuo dos desempenhos dos rolamentos SNR e da sua vida útil baseia-se num progresso tecnológico constante em três níveis: a concepção, o material e a fabricação.

■ Rolamento normalizado

O objetivo da concepção é determinar a geometria interna do rolamento, respeitando uma envoltória normalizada. O rolamento deve satisfazer o maior número possível de aplicações, encontrando o melhor compromisso custo/desempenho.

A otimização refere-se aos elementos do rolamento: corpos rolantes (número, dimensões, perfil), pistas de rolamento (perfil), gaiola (material, desenho), bem como às juntas de vedação, levando em conta:

- a resistência mecânica dos materiais,
- os meios de fabricação,
- o preço de custo.

■ Rolamento específico

Quando é tecnicamente necessário e economicamente possível, o rolamento SNR pode apresentar uma função de rotação mais completa, seja por uma aptidão especialmente desenvolvida, seja integrando um conjunto de funções associadas à função de rotação: fixação, proteção, lubrificação transmissão, medição, ...

A adaptação estreita entre esses rolamentos e a aplicação traz lucros importantes para uma otimização técnica e industrial. Ela permite adicionalmente proteger uma concepção original e de modo mais geral melhorar os desempenhos dos seus produtos. Aconselhamos que consulte o seu representante SNR para estudar em conjunto essa abordagem muito interessante.

Materiais e tratamentos de superfície

→ Conhecimento e acompanhamento da qualidade dos materiais

Em colaboração com as siderúrgicas, a SNR efetua pesquisas profundas sobre a durabilidade dos aços. Para cada matiz, definimos cadernos de encargos extremamente precisos e exigentes que se referem aos seguintes pontos:

- o método de produção do aço,
- a composição química,
- a dureza, aptidão e endurecimentos da têmpera,
- a microestrutura e a saúde macrográfica,
- a microestrutura e a microlimpeza,
- a durabilidade,
- a apresentação do produto,
- as condições de recepção e de inspeção

O controle prévio do material é efetuado por exame metalográfico e espectrográfico completo por meio de ensaios de bancada.

Apresentamos em seguida os materiais e tratamentos de superfície mais freqüentemente usados. Os seus representantes SNR estão à sua disposição para estudar com vocês as soluções que atendem ao seu caderno de encargos.

→ Materiais e tratamentos de superfície

■ Aplicações padrão

Exigências	Proposições
<ul style="list-style-type: none">▶ Grande resistência à fadiga e ao desgaste.▶ Pode aceitar uma dureza idêntica entre o núcleo e superfície.	<ul style="list-style-type: none">▶ 100Cr6 (AFNOR): aço cromado com alto teor de carbono. Esse aço, utilizado muito freqüentemente, apresenta várias vantagens: limpeza inclusionária, aptidão à têmpera sem carburação, flexibilidade do tratamento térmico. O nosso acompanhamento contínuo dos materiais permitiu-nos aumentar significativamente a durabilidade desse tipo de aço.
	<ul style="list-style-type: none">▶ Composição química<ul style="list-style-type: none">C de 0,98 a 1,10 %Si de 0,15 a 0,35 %Mn de 0,25 a 0,45 %Cr de 1,30 a 1,60 %
	<ul style="list-style-type: none">▶ Características mecânicas<ul style="list-style-type: none">Coefficiente de dilatação : $C1=12 \times 10^{-6} \text{ mm/mm/}^{\circ}\text{C}$Módulo de elasticidade : $E = 205 \text{ 000 N/mm}^2$Coefficiente de Poisson : $\eta = 0,3$
	<ul style="list-style-type: none">▶ 100 Cr6 refundido a vácuo quando um ganho de desempenho na mesma envoltória é absolutamente necessário▶ XC68 para os rolamentos realizados a partir de tira

Características dos rolamentos (continuação)

■ Aplicações específicas

Exigências	Proposições
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Grande resistência à fadiga e ao desgaste. ▶ Grande resistência ao impacto no núcleo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Aço 100Cr6 com têmpera superficial das pistas de rolamento e das superfícies úteis (faces de apoio por exemplo), permanecendo o núcleo da peça no estado metalúrgico inicial. ▶ Aços de cimentação.
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Integridade a alta temperatura. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Aço 100Cr6 com tratamento térmico de estabilização. Para os rolamentos realizados em quantidade limitada: ▶ Aço E80DCV40 (AFNOR) ou M50 (AIS) dito "rápido" elaborado e refundido a vácuo quando se pode aceitar uma dureza idêntica entre núcleo e superfície. ▶ Aços de cimentação alta temperatura. ▶ Aços de nitruração se os rolamentos são carregados moderadamente.
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Maior resistência ao desgaste das superfícies externas do rolamento. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Tratamentos de superfície antidesgaste tipo fosfatização, cromo duro, brunidura ou outros conforme caderno de encargos.
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Maior resistência à corrosão. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Tratamentos de superfície tipo eletrólise a Zinco ou outros conforme caderno de encargos. ▶ Aços inoxidáveis.
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Maior resistência à corrosão de contato entre o eixo ou o alojamento e o rolamento. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Tratamentos de superfície tipo cobre ou cromo duro sobre as superfícies externas do rolamento.
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Lubrificação em muito pouca quantidade ou lubrificação pelo meio ar circundante (gasolina, gasóleo, ...). 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Utilização de esferas de cerâmica. ▶ Tratamentos de superfície autolubrificante tipo prata + bissulfureto de molibdênio ou outros para rolamentos pouco carregados.
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Maior resistência à poluição. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Os trabalhos entre a SNR e as siderúrgicas alcançaram a criação de um aço para rolamento menos sensível à poluição. Esse aço, de composição química e microestrutura particulares, exige um tratamento térmico adaptado. Esse novo material concilia uma dureza significativa na superfície para resistir ao desgaste e uma ductilidade da matriz que permite reduzir o risco de fissuração, tudo isso conservando uma boa estabilidade dimensional.

➔ Tratamento térmico

O princípio do tratamento térmico do aço para rolamento é de proporcionar uma estrutura martensítica que lhe confere:

- a dureza desejada (62 HRC aproximadamente),
 - a resistência à fadiga,
 - a estabilidade dimensional,
- necessárias para cobrir a maioria das aplicações.

Ele requer, antes da têmpera, uma fase de austenitização a alta temperatura acima do ponto de transformação.

Tipos de tratamentos

A SNR definiu como padrão vários tipos de têmpera do aço 100 Cr6 adaptadas às exigências da aplicação.

Por exemplo:

A **têmpera martensítica profunda** que permite obter, com auxílio de revenimentos sabiamente escolhidos, compromissos perfeitamente controlados entre a aptidão para resistir às condições de Hertz e a estabilidade dimensional, com isso, mantendo a precisão geométrica dos rolamentos nas condições mais gerais de utilização.

A **têmpera superficial** das pistas de rolamento e das superfícies úteis (por exemplo, faces de apoio), enquanto o núcleo da peça permanece no estado metalúrgico inicial.

A **têmpera bainítica profunda** que permite obter na massa e sobre as pistas um compromisso interessante entre dureza e tenacidade.

Estabilidade dimensional do aço e influência sobre o jogo do rolamento

O aço temperado com estrutura martensítica contém sempre uma porcentagem de austenita residual que limita a sua utilização numa faixa de temperatura compreendida entre -20°C e $+150^{\circ}\text{C}$ aproximadamente.

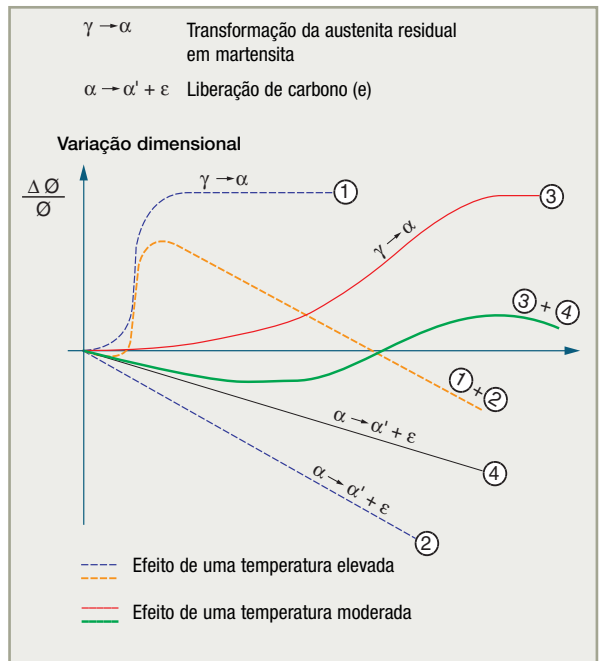
A baixa temperatura

▶ a têmpera prossegue e a austenita residual (γ) se transforma em martensita secundária (α) e aumenta o volume específico do aço.

A alta temperatura

▶ a transformação da austenita residual ($\gamma \rightarrow \alpha$) provoca um aumento do volume específico do aço (1)

▶ o empobrecimento da martensita por liberação de carbono (ϵ) leva a uma diminuição do volume específico do aço (2)



Esses dois fenômenos irreversíveis compensam-se apenas em parte. O rolamento sofre uma variação dimensional, cuja amplitude e velocidade dependem do tempo de manutenção na sua temperatura de funcionamento, acarretando uma modificação dos apertos eixo-rolamento e rolamento-alojamento e, conseqüentemente, do jogo de funcionamento.

Além da temperatura normal de $+150^{\circ}\text{C}$, considera-se que a variação dimensional do aço já não é desprezível, utilizam-se rolamentos que tenham sido submetidos a um tratamento térmico especial, dito de estabilização, que traz as variações dimensionais a um nível compatível com as aplicações.

→ Consultar a SNR.

Características dos rolamentos *(continuação)*

Fabricação do rolamento

A SNR desenvolveu um sistema eficaz de garantia de qualidade em produção com base no autocontrole e no acompanhamento contínuo dos nossos procedimentos (SPC). O sistema permite garantir a qualidade ótima dos nossos produtos no tempo pelo controle de todos os componentes do processo (meios, métodos, mão de obra, ambiente e material).

→ **Moldagem dos anéis do rolamento**

Moldagem dos anéis de rolamento realiza-se:

- por torneamento,
- por deformação (forjamento, rolagem, estampagem)

A deformação do metal permite um alinhamento dos grãos paralelo à pista de rolamento favorável à resistência, à fadiga e, conseqüentemente, à durabilidade. O desenvolvimento das técnicas de deformação está ligado à obtenção da melhor relação custo-desempenho.



→ **Acabamento do rolamento**

O acabamento determina a qualidade das superfícies dos elementos em contato, qualidade fundamental do ponto de vista da resistência às solicitações e da lubrificação.

■ A qualidade é obtida em três níveis:

- ▶ **Geometria:** formas, geometria microscópica das superfícies de contato (curvaturas, perfis...)

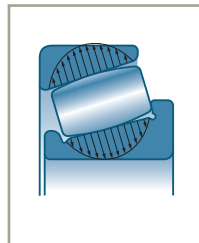
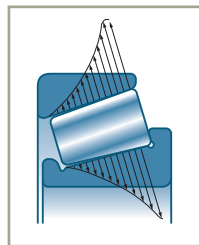
Para os rolamentos de rolos, a distribuição dos esforços ao nível dos contatos rolos-anéis não é homogênea e depende:

- das cargas aplicadas,
- dos desalinhamentos impostos ao rolamento,
- das geometrias em contato.

A realização de perfis corrigidos para os rolamentos de rolos permite:

- melhorar a distribuição dos esforços sobre as geratrizes dos rolos,
- evitar as solicitações excessivas nas extremidades.

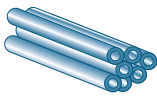


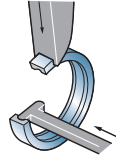
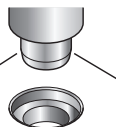
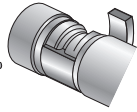
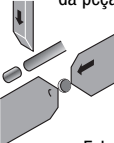
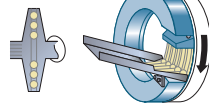
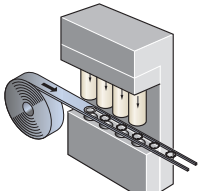
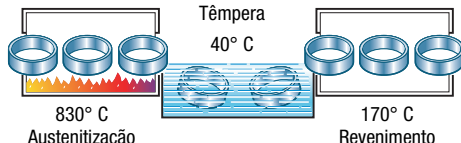
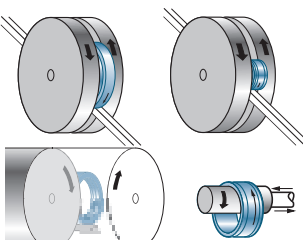
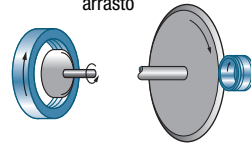
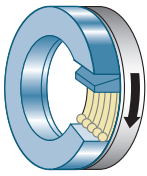
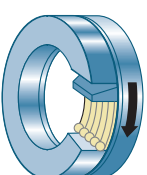
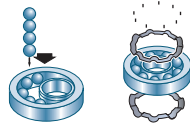
Para os rolamentos de esferas, a adaptação das curvaturas às condições de funcionamento permite a otimização da geometria do rolamento e, conseqüentemente, uma diminuição do torque de atrito e um aumento da vida útil.



- ▶ **Estado de superfície**

- ▶ **Estado metalúrgico:** o modo de usinagem deve respeitar as qualidades metalúrgicas superficiais

→ **Gama de fabricação padrão**

Operação	Anéis	Corpos rolantes	Gaiola	
Material	Tubos, barras 	Fios 	Tiras 	
Moldagem	Torneamento  Forjamento  Rolagem 	Corte e martelagem da peça bruta  Esboço 	Estampagem das gaiolas de chapa  Moldagem das gaiolas plásticas Torneamento das gaiolas maciças	
Tratamento térmico	 <p>830° C Austenitização Têmpera 40° C 170° C Revenimento</p>			
Acabamento	<p>Retificação</p> <p>Anel exterior Anel interior</p>  <p>Rebolo Cilindro de arrasto</p>  <p>Superacabamento</p>		<p>Retificação sobre rebolo</p>  <p>Rodagem por massa abrasiva entre 2 platôs</p> 	
Montagem do rolamento	Lavagem, Marcação, Controle final, Embalagem			
				

Variantes dos componentes do rolamento

Anel interior

Esse capítulo expõe as características particulares de execução que podem modificar o rolamento padrão ou os rolamentos concebidos para uma aplicação específica. Algumas dessas modificações são de fabricação corrente, as outras podem ser realizadas a pedido.

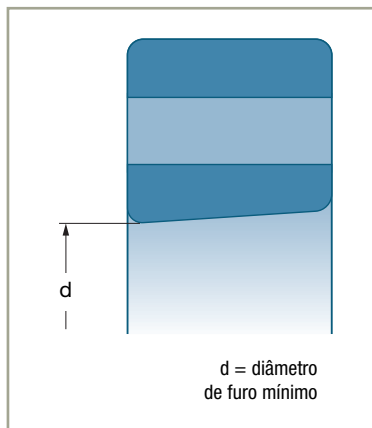
→ Furo cônico

■ O furo cônico é utilizado geralmente quando se deseja montar o rolamento num eixo com tolerância larga com uma bucha cônica de aperto, cuja conicidade é geralmente de 1/12 ou quando se impõe a utilização de uma bucha de desmontagem.

Em certas aplicações especiais (máquinas para papel, laminadoras...), o anel interior é montado sobre um apoio cônico do eixo. Pode-se determinar o jogo de modo muito preciso pelo deslocamento do anel interior sobre esse apoio.

A conicidade normal 1/12 é simbolizada pelo sufixo K.

A conicidade especial 1/30 é simbolizada pelo sufixo K30.



■ O furo de conicidade 1/12 é realizado em série em:

- rolamentos autocompensadores de esferas
- rolamentos autocompensadores de rolos

No entanto, nas séries 240xx e 241xx, adota-se o furo de conicidade 1/30.

As dimensões das buchas cônicas são indicadas na aba **Buchas e acessórios**.

Deve-se notar que na montagem com bucha, o diâmetro do eixo é 5 mm inferior ao diâmetro do furo nominal do rolamento, ou de um múltiplo de 5, conforme a dimensão do rolamento.

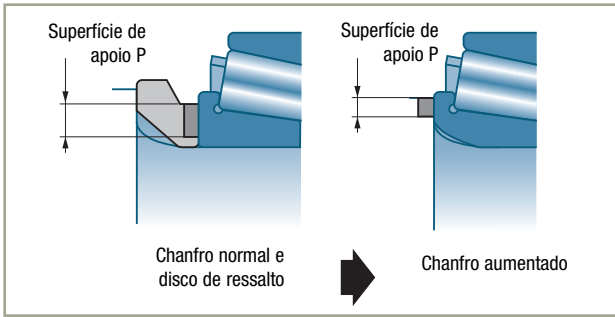
→ Chanfros especiais

Em certas montagens, um chanfro especial pode representar simplificação e economia.

■ Chanfro aumentado

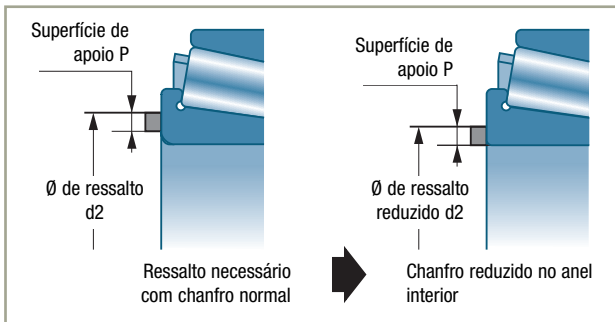
Um chanfro aumentado permite, suprimindo o disco de ressalto do rolamento, aumentar a rigidez do eixo, reduzir o comprimento do eixo e evitar as concentrações de sollicitações.

Exemplo: montagem dos rolamentos sobre os fusos de roda.



■ Chanfro reduzido

Ele permite aceitar diâmetros de ressalto menores, conservando uma superfície de apoio conveniente. Ele é interessante também no caso de um ressalto realizado por um segmento de bloqueio.

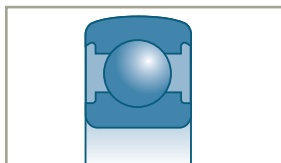


Variantes dos componentes do rolamento (cont.)

Definições

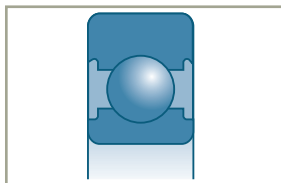
■ Diâmetro externo esférico

Para rolamentos destinados a serem montados dentro de mancais (ou flancos) auto-alinháveis (rolamentos de esferas de contato radial com uma fileira de esferas).



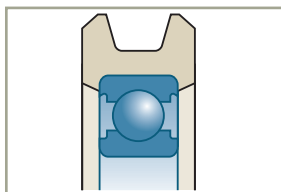
■ Espessura aumentada

Esse reforço permite ao rolamento preencher uma função de rolo, o anel exterior rolando diretamente sobre uma pista. O anel, de perfil retilíneo ou especial, é geralmente submetido a um tratamento térmico e a um tratamento de superfície adaptados, destinados a reforçar a sua resistência aos choques e deformações.



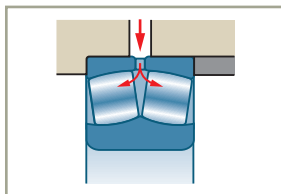
■ Revestimentos especiais

Em certas aplicações (cargas baixas, velocidades baixas), a encapsulação ou a adaptação de materiais sintéticos diretamente sobre o anel exterior permite a produção de rolos de forma complexa e de funcionamento silencioso.



■ Ranhura e furos de lubrificação

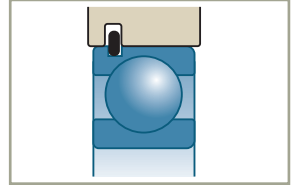
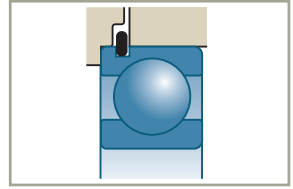
Essa variante, destinada a facilitar a lubrificação, é realizada nos rolamentos autocompensadores de rolos (sufixo W33), exceto à série 21300.



■ Ranhura para segmento de bloqueio

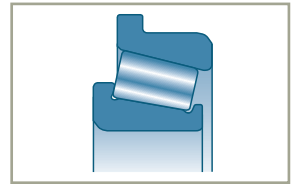
Essa ranhura é destinada a receber um segmento de bloqueio que permite posicionar e fixar axialmente o rolamento.

A ranhura (sufixo N) e o sistema ranhura-segmento de bloqueio (sufixo NR) são normalizados (ISO 464). As cotas da ranhura e as cotas de montagem são dadas na "lista dos rolamentos-padrão" com uma fileira de esferas.



■ Anel exterior flangeado

Ele substitui o sistema ranhura-segmento de bloqueio quando a espessura do anel não permite a ranhura.



■ Chanfros reduzidos

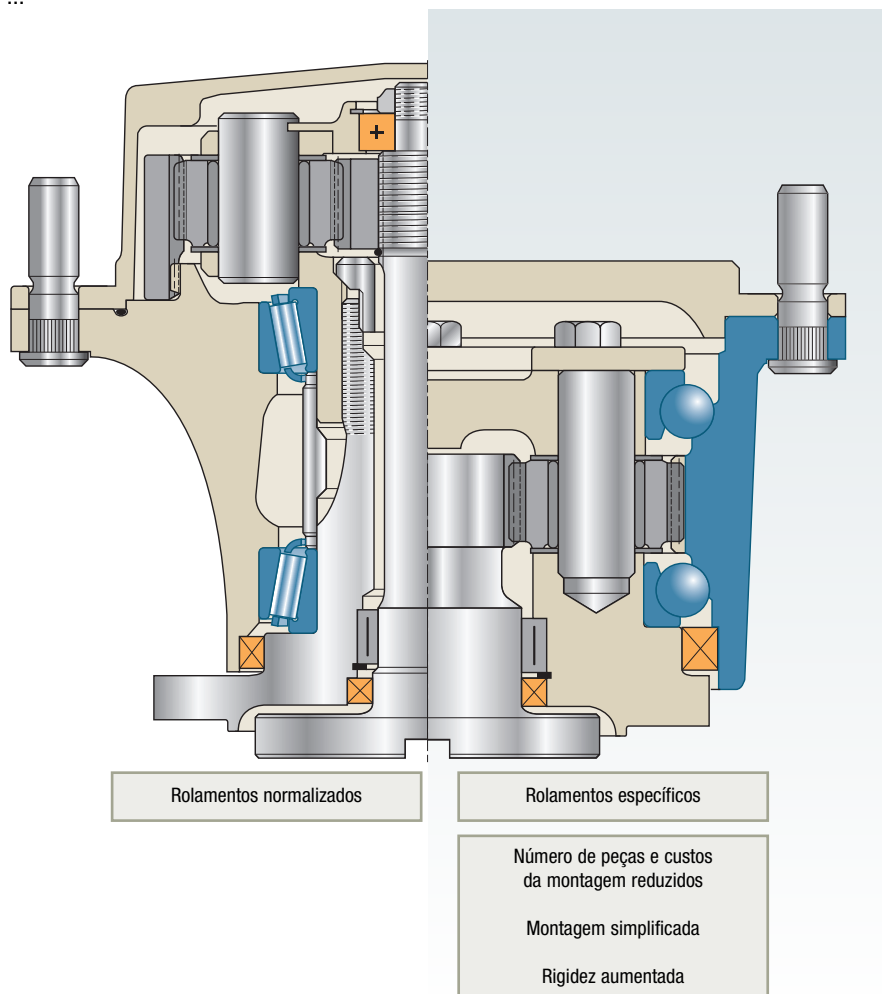
Os anéis exteriores podem ser realizados com chanfros reduzidos como para os anéis interiores e pelos mesmos motivos.

Variantes dos componentes do rolamento (cont.)

Outras variantes de anéis

A flexibilidade dos meios de usinagem da SNR permite associar a concepção do rolamento e das peças circundantes a fim de simplificar a montagem, diminuir o número de peças, aumentar os desempenhos com:

- flanges e colares com furos de fixação lisos ou roscados,
- engrenagens fresadas nos anéis,
- ...



Gaiola

A função da gaiola é de separar os corpos rolantes e de manter a sua equidistância para reduzir ao mínimo o atrito e o aquecimento.

Ela tem também funções complementares importantes:

- solidarizar os corpos rolantes com um anel no caso de rolamentos de elementos separáveis: rolamentos de rolos cônicos e cilíndricos ou rolamentos autocompensadores,
- ajudar na guia dos corpos rolantes,
- ...

→ Materiais

As gaiolas são feitas de vários materiais e com diversos procedimentos de fabricação.

Para cada tipo de rolamento existe um tipo de gaiola considerado padrão. Esse tipo sempre provou a sua eficácia em serviço e é considerado como a melhor concepção para a maioria das aplicações.

A gaiola padrão para rolamentos de grandes dimensões pode ser diferente da dos rolamentos de pequenas dimensões numa mesma série, considerando-se os diferentes setores de aplicações, as possibilidades de fabricação e os custos. Quando uma gaiola se torna padrão, o seu tipo já não é identificado por um sufixo específico na designação do rolamento SNR.

■ Gaiolas moldadas em material sintético

O material mais empregado atualmente é a poliamida 6/6 com fibras de vidro.

Essas gaiolas apresentam características mecânicas interessantes: baixo coeficiente de atrito, elasticidade e boa resistência aos choques e vibrações. Adicionalmente, a moldagem permite obter formas adaptadas e precisas que melhoram a guia dos corpos rolantes. Devido à evolução rápida dos materiais sintéticos, deve-se consultar a SNR para conhecer mais precisamente as condições de emprego dessas gaiolas.

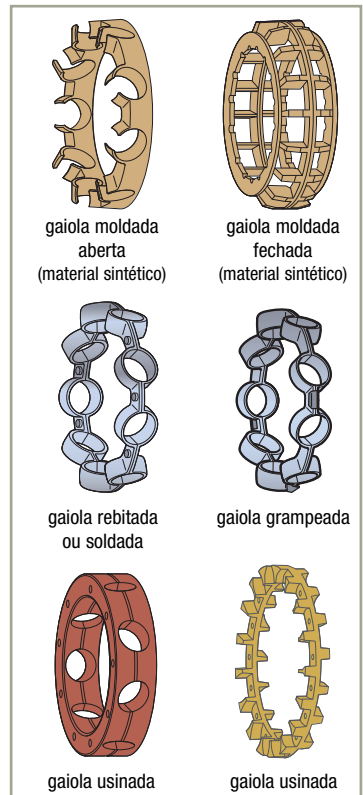
Os rolamentos SNR padrão, vedados ou protegidos, podem beneficiar-se desse tipo de gaiola e de uma graxa compatível.

■ Gaiolas de chapa estampada, aço doce, latão

Numa peça ou em duas peças rebitadas, grampeadas ou soldadas. Essas gaiolas podem receber um tratamento de superfície destinado a melhorar o coeficiente de atrito.

■ Gaiolas usinadas: resina fenólica, ligas de cobre (latão), ligas de alumínio

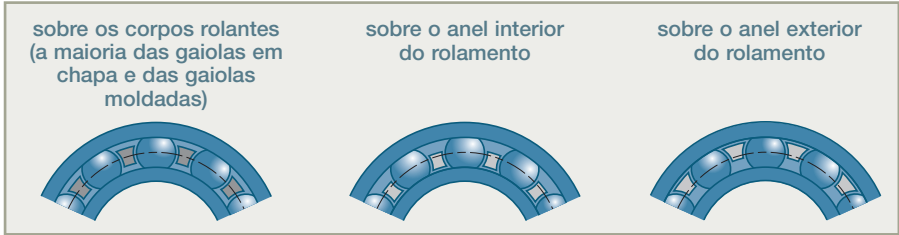
Geralmente para as gaiolas de grandes dimensões fabricadas em pequenas quantidades, a gaiola usinada em latão é padrão; nesse caso, o símbolo do rolamento é sempre seguido do sufixo da gaiola (M, MA, MB).



Variantes dos componentes do rolamento (cont.)

→ Centragem

As gaiolas podem ser centradas:



A escolha da centragem depende dos critérios de funcionamento do rolamento: vibrações, choques, grandes velocidades, variações de velocidade...

→ Escolha de uma gaiola especial

A escolha de uma gaiola especial será feita em função dos critérios de funcionamento particular do rolamento: temperatura, lubrificação, vibrações, acelerações e desacelerações bruscas, defeitos de alinhamento eixo-alojamento.

Ver tabela ao lado.

Para certas aplicações em que se procura um aumento importante da capacidade de carga dinâmica (redutores, caixas de velocidades...) ou da capacidade de carga estática (rolos, polias...), podem-se utilizar rolamentos especiais sem gaiola.

Deve-se notar que a velocidade limite desse tipo de rolamento é mais baixa do que a do rolamento padrão correspondente. A sua lubrificação exige certa atenção devido ao atrito relativo dos corpos rolantes.



	Gaiola moldada	Gaiola estampada de chapa de aço ou latão	Gaiola usinada de latão	Gaiola usinada de resina fenólica
Velocidade limite	<ul style="list-style-type: none"> ▶ A do rolamento 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ A do rolamento 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Permite aumentar a velocidade limite do rolamento 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Geralmente centrada sobre um anel, permite aumentar a velocidade limite do rolamento
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Poliamida 6/6: 120° contínua, 150°C intermitente ▶ Outros materiais, consultar a SNR 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Não limita a temperatura de funcionamento do rolamento 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Não limita a temperatura de funcionamento do rolamento 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 110°C maxi em utilização contínua
Lubrificação	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Bom coeficiente de atrito ▶ Bom comportamento no caso de lubrificação deficiente 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Contato metal / metal, portanto sensível à lubrificação 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Bom coeficiente de atrito latão / metal 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Excelente coeficiente de atrito ▶ Gaiola impregnada de óleo, conseqüentemente, lubrificação ótima do rolamento
Resistência sob vibrações	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Excelente comportamento - Leveza - Elasticidade 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Limitada a: <ul style="list-style-type: none"> - resistência mecânica - modo de montagem - desequilíbrio eventual 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Excelente resistência ▶ Mantém a centragem apesar dos desequilíbrios dinâmicos 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Bom comportamento com gaiola centrada sobre um anel ▶ Pequena inércia ▶ Bom equilíbrio
Acelerações e desacelerações bruscas	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Excelente comportamento - Leveza - Elasticidade 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Risco de ruptura da gaiola 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Resistência mecânica elevada, porém: <ul style="list-style-type: none"> - falta de flexibilidade - grande inércia 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Excelente comportamento, porque: <ul style="list-style-type: none"> - pequena inércia - Boa resistência mecânica
Defeitos de alinhamento eixo-alojamento	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Excelente comportamento - Elasticidade 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Risco de ruptura da gaiola 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Utilização não recomendada 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Utilização não recomendada
Observações	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Gaiola que substitui a gaiola de chapa para vários tipos de rolamentos 		<ul style="list-style-type: none"> ▶ Custo elevado ▶ Sensível ao fenômeno eletrolítico em presença de humidade 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Custo elevado ▶ Reservada geralmente para rolamentos de grande velocidade e/ou de alta precisão

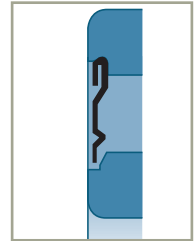
Proteção e vedação

As partes ativas do rolamento (corpos rolantes, pistas de rolamento, gaiola) devem estar sempre perfeitamente limpas e bem lubrificadas. A proteção e a vedação têm a função de garantir o desempenho desses fatores vitais para a durabilidade do rolamento, impedindo que os agentes poluidores penetrem no rolamento e mantendo a lubrificação.

Dois tipos de dispositivos de vedação são normalmente utilizados com os rolamentos

■ As proteções sem atrito

Esses dispositivos baseiam-se no efeito produzido por uma folga estreita entre as partes rotativas e elementos fixos. Essas proteções não permitem praticamente nenhum atrito e nenhum desgaste. Elas convêm especialmente para as grandes velocidades de rotação e às temperaturas elevadas. A sua eficácia pode ser reforçada injetando-se graxa na passagem estreita.

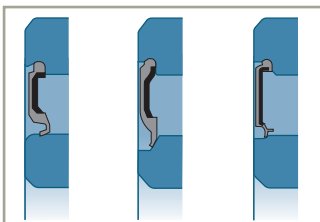
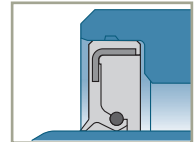
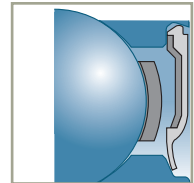


■ As juntas com atrito (contato)

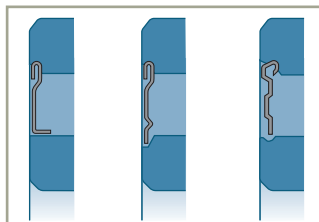
A junta exerce uma pressão sobre a superfície conjugada, em geral por meio de um lábio. A penetração de impurezas e de umidade e/ou as perdas de lubrificante são assim evitadas.

A pressão pode ser produzida:

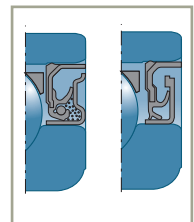
- seja pela elasticidade do material da junta e o aperto apropriado entre o lábio e a superfície de apoio,
- seja pelo esforço exercido por uma mola incorporada à periferia da junta.



Junta-padrão



Defletores



Juntas especiais



A SNR propõe uma gama ampla e variada de proteções e de vedações, que podem ser totalmente integradas ao rolamento ou reforçadas por um lábio frontal. Conforme as aplicações, esses dispositivos podem ser substituídos ou reforçados por uma proteção independente do rolamento.

Dispositivos de proteção e de vedações exteriores ao rolamento

Conforme as aplicações, os dispositivos de proteção ou de vedação integrados aos rolamentos podem ser substituídos ou reforçados por uma proteção independente do rolamento. Os dispositivos de proteção independentes do rolamento são com ou sem atrito. Eles podem ser associados para uma maior proteção.

	Dispositivos com atrito				Dispositivos sem atrito		
	Efeito radial		Efeito axial				
Tipo							
	Feltro	Junta metal-plástico	Junta mecânica	Junta com lábio frontal	Ranhas	Labirinto	Defletores
Velocidade linear máxima (m/s)	4	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Nitrilo acrílico NBR : 15 ▶ Poliacrilat ACM : 18 ▶ Elastômero fluorado FKM : 20 	16	7			
Temperaturas de utilização (°C)	-40 +110	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Nitrilo acrílico NBR -30 +110 ▶ Poliacrilato ACM -10 +170 ▶ Elastômero fluorado FKM -40 +200 	-40 +150	-40 +110			
Desalinhamento máximo	0,01 rad 0,5°	0,01 rad 0,5°	0,01 rad 0,5°	0,02 rad 1°	0,001 rad 0,06°	0,001 rad 0,06°	0,001 rad 0,06°
Suporte da junta	Dureza Estado de superfície (suporte) (Ra máx)	Mini 30HRc ou 300 HV 3,2 µm	Mini 40HRc ou 450 HV 0,8 µm	Suporte integrado à junta	3,2 µm	0,8 µm (eixo)	0,8 µm (eixo)
Pontos particulares	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Mergulhar o feltro em óleo a 80°C antes da montagem ▶ Ranhas normalizadas 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Prever um chanfro no eixo para facilitar o engate dos lábios ▶ Lubrificar os suportes e juntas antes da montagem 	Essa junta pode suportar pressões relativamente elevadas.	▶ A utilização de juntas de elastômero fluorado permite estender a margem de temperatura e de velocidade	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 3 ranhas mini ▶ Jogo entre eixo e alojamento 0,3 a 0,5 mm para $\varnothing < 50$ ▶ Jogo axial 1 a 2 mm para $\varnothing < 50$ ▶ 2 a 4 mm para $\varnothing > 50$ 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Jogo diametral 0,3 a 0,5 mm para $\varnothing < 50$ ▶ 0,8 a 1,2 mm para $\varnothing > 50$ ▶ Jogo axial 1 a 2 mm para $\varnothing < 50$ ▶ 2 a 4 mm para $\varnothing > 50$ 	
Aplicações	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Mancais de rolamento bipartidos 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Geral 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Estanqueidade aos fluidos 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Estanqueidade reforçada contra a poluição 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Órgão de precisão ▶ Alta velocidade ▶ Ambiente pouco poluído 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Órgão de precisão ▶ Alta velocidade ▶ Ambiente pouco poluído 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Utilizado para reforçar outro tipo de vedação contra a poluição ▶ Age por centrifugação
Lubrificação recomendada	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Graxa 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Graxa ▶ Óleo 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Graxa ▶ Óleo 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Graxa 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Graxa ▶ Óleo 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Graxa ▶ Óleo 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Óleo

Proteção e vedação (continuação)

Outros tipos de juntas

Outros tipos de vedações podem ser integrados no rolamento.

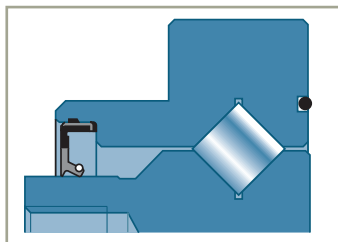
Essa integração oferece, para várias aplicações, um ganho de espaço e de massa, permitindo assim uma diminuição do custo da função de vedação.

Alguns exemplos:

■ Anel de vedação radial com mola

Os anéis de vedação com lábio radial equipados com uma mola são adequados para várias aplicações industriais. Eles são especialmente adaptados para uma vedação ao óleo, mas podem ser utilizados também com rolamentos engraxados.

Esse tipo de vedação pode ser também equipado de um lábio de proteção contra poeira e sujeira exteriores.



■ O-ring

As o-rings podem ser integradas ao rolamento para garantir uma vedação estática ao óleo ou à graxa.

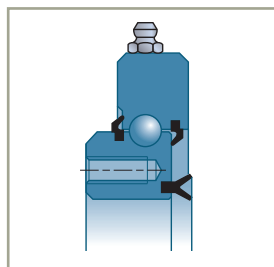
■ Junta linear

Junta formada de um ou mais lábios de elastômero não armado.

A junta é produzida por metro e pode adaptar-se a rolamentos de diâmetros diferentes.

Esse tipo de junta é adequado para rolamentos engraxados.

É muito utilizado aplicação robótica.

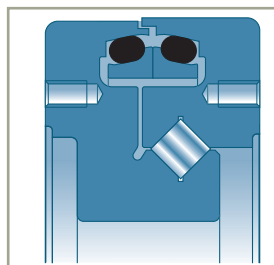


■ Junta espelhada

Para todas as aplicações expostas a altas solicitações de desgaste devidas à lama, areia ou poeira, é possível integrar ao rolamento uma junta espelhada.

Essas juntas são formadas de dois anéis de atrito metálicos montados de modo elástico com duas o-rings.

Esse tipo de vedação convém especialmente às aplicações de obras públicas (veículos de esteira, instalações de preparação de areia, ...) e nos equipamentos de trabalhos em minas.



Vida útil nominal	56
■ Tipos de deterioração	56
■ Fórmulas de base	58
■ Carga dinâmica de base do rolamento	59
■ Carga dinâmica equivalente P	60
■ Definição	61
<i>Fator de carga axial Y</i>	61
■ Definição da capacidade estática	61
■ Carga estática equivalente	63
■ Cargas ou velocidades variáveis	64
■ Cálculo de um eixo montado sobre dois rolamentos de contato angular	65
<i>Equilíbrio radial do eixo</i>	65
<i>Equilíbrio axial do eixo</i>	66
■ Vida útil requerida	67
Vida útil nominal corrigida	68
■ Confiabilidade dos rolamentos	74
<i>Definição do coeficiente a_1</i>	74
<i>Confiabilidade para uma duração de funcionamento escolhida</i>	75
<i>Determinação de a_1 e da confiabilidade para uma duração escolhida</i>	75
<i>Duração e confiabilidade de um conjunto de rolamentos</i>	76
■ influência da lubrificação	77
<i>Poder de separação do lubrificante</i>	77
<i>Teoria elasto-hidrodinâmica (EHD)</i>	77
<i>Determinação da viscosidade mínima necessária</i>	78
Parâmetros influentes para a duração de vida	80
■ Influência da temperatura	80
<i>Temperaturas de funcionamento normais</i>	80
■ Influência do jogo de funcionamento	81
<i>Rolamentos de contato radial sob carga radial</i>	81
<i>Rolamentos de contato oblíquo sob carga radial e axial</i>	81
■ Influência de uma carga excessiva	82
■ Influência dos defeitos de forma e de posição dos suportes	82
<i>Defeito de forma</i>	82
<i>Defeito de alinhamento</i>	82
Atrito e velocidade dos rolamentos	84
■ Atrito	84
■ Velocidade dos rolamentos	85
<i>Teoria da norma ISO 15312</i>	85
<i>Teoria SNR</i>	87

Vida útil nominal

Tipos de deterioração

A medida principal do desempenho de um rolamento é a sua vida útil, ou seja, o número de revoluções que ele pode efetuar antes do primeiro sinal de escamação na superfície.

Além das deteriorações do tipo "gripagem", que podem ser consequência de uma lubrificação inadequada, as principais deteriorações encontradas podem ser classificadas em três categorias:

- escamação profunda iniciada em profundidade (EPIP)
- escamação superficial iniciada em superfície (ESIS)
- escamação profunda iniciada em superfície (EPIS)

■ Escamação profunda iniciada em profundidade (EPIP)

Trata-se da deterioração "convencional" de um rolamento funcionando em condições normais, ou seja, em presença de um filme de óleo separador das superfícies em contato (corpo rolante/pista do anel).

O princípio de construção do rolamento leva a contatos entre corpos rolantes e anéis que são a sede de cargas específicas muito elevadas.

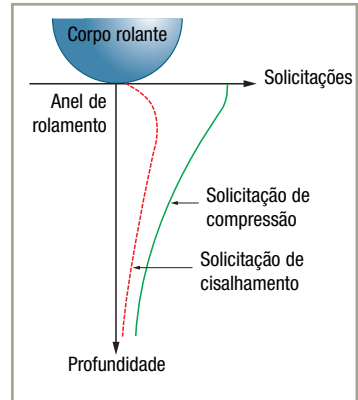
As pressões de Hertz (figura ao lado) nesse nível têm como consequência:

- solicitações de compressão, máximas em superfície, cujo valor pode atingir 3500 N/mm²
- solicitações de cisalhamento, máximas em subcamada, cujo valor pode atingir 1000 N/mm²

Se o nível de carga é suficiente e em condições de ambiente lubrificado limpo, (ver pág. 77) tipo EHD, as solicitações alternadas às quais estão submetidas as pistas de rolamento levam a mais ou menos longo prazo a uma fissura no interior do material. Ela inicia-se a partir de inclusões situadas em subcamada na zona onde as solicitações de Hertz são máximas.

A fissura aparece na matriz na vizinhança de uma inclusão.

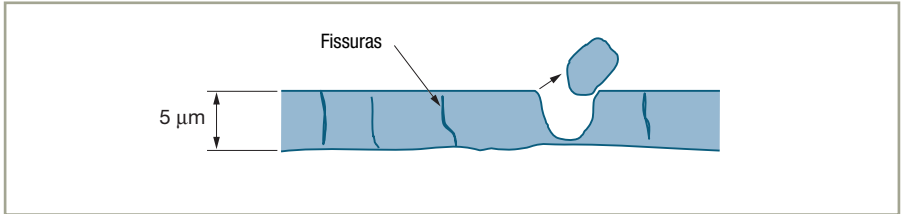
A fissura propaga-se em direção à superfície até provocar o desprendimento de uma partícula de aço, primeira manifestação da avaria por escamação.



■ Escamação superficial iniciada em superfície (ESIS)

Em presença de pequenas partículas (de alguns μm a $50 \mu\text{m}$) duras (superior à dureza dos elementos do rolamento, seja 700 HV_{10}), constata-se um desgaste dos elementos do rolamento devido ao contato metal/metal, uma consequência de uma lubrificação heterogênea nesse local sensível.

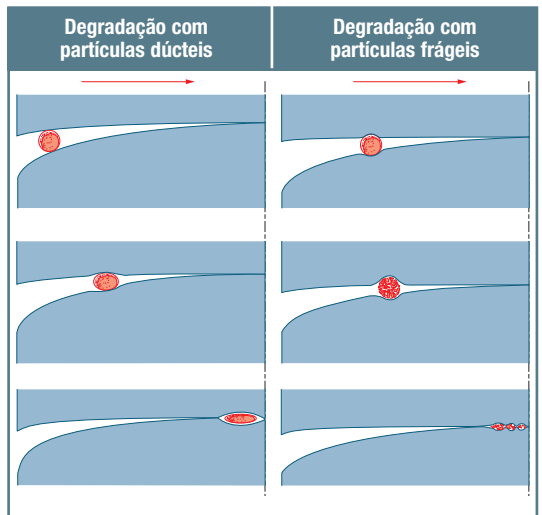
Isso leva à deterioração das superfícies ativas sob uma forma de escamação muito superficial, semelhante a um "descascamento" de algumas dezenas de microns de profundidade e afetando uma superfície extensa das pistas de rolamento. Esse processo de degradação é lento. Ele é da mesma natureza que o ocasionado por um filme de óleo insuficiente devido a uma viscosidade muito baixa.



■ Escamação profunda iniciada em superfície (EPIS)

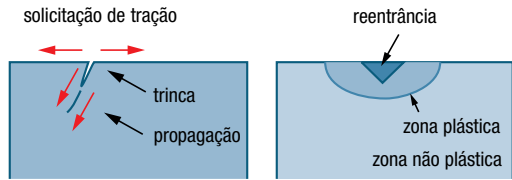
Quando a poluição se compõe de partículas mais grosseiras (de $20 \mu\text{m}$ a $300 \mu\text{m}$, e ainda maiores), a passagem da partícula entre o corpo rolante e o anel provoca uma deformação plástica local da pista do rolamento. O efeito dessa poluição varia conforme a dureza.

Se a partícula é suficientemente dúctil, ela pode deformar-se plasticamente como "massa folhada" sem se romper. Por outro lado, se a partícula é frágil, ela rompe-se ao passar pelo contato, deformando plasticamente os elementos do rolamento. Esses novos fragmentos comportam-se assim conforme o segundo mecanismo ESIS descrito anteriormente. Estamos diante de uma competição entre a degradação causada pela deformação plástica local devida à reentrância e a causada pelo desgaste abrasivo provocado pelos fragmentos de partícula.



Vida útil nominal (continuação)

No caso de uma reentrância, a escamação não se inicia diretamente no perímetro dessa. Constata-se uma zona protegida no volume deformado plasticamente e a fissura surge além dessa zona e leva a uma escamação profunda iniciada em superfície (EPIS).



Levando em conta a diversidade das partículas constitutivas da poluição encontrada num óleo de órgão mecânico e da sua evolução granulométrica em estado novo e após rodagem, e também, considerando igualmente a natureza do corpo rolante (rolos ou esferas), que é mais ou menos afetado pelo fenômeno de deslizamento, a deterioração encontrada é freqüentemente um misto entre os tipos ESIS e EPIS.

Fórmulas de base

A vida útil de um rolamento pode ser calculada de modo mais ou menos preciso conforme as condições de funcionamento definidas.

O método mais simples, preconizado pela norma ISO 281, permite calcular a vida útil alcançada por 90% dos rolamentos trabalhando sob carga dinâmica.

➔ O método de cálculo simplificado a seguir apóia-se na fadiga do material como causa de falha (escamação tipo EPIP)

■ Para determinar a vida útil simplificada conforme a norma ISO 281, calcula-se:

▶ A carga radial dinâmica equivalente P

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

▶ A vida útil nominal L_{10}

$$L_{10} = (C / P)^n \cdot 10^6 \text{ em revoluções}$$

ou

$$L_{10} = (C / P)^n \cdot 60N / 60N \text{ em hora}$$

n: 3 para os rolamentos ou batentes de esferas

n: 10/3 para os rolamentos ou batentes de rolos

Vê-se que: se $P = C$, $L_{10} = 1$ milhão de revoluções

É assim a carga sob a qual os rolamentos têm uma vida útil nominal de um milhão de revoluções.

Ela é chamada também capacidade de carga dinâmica..

Carga dinâmica de base do rolamento

■ A carga dinâmica de base do rolamento, definida no capítulo correspondente a cada família, é calculada conforme a norma ISO 281 com as fórmulas a seguir:

Rolamentos de esferas

(para um diâmetro de esferas < 25,4 mm)

$$C = f_c(i \cdot \cos\alpha)^{0,7} Z^{2/3} \cdot D_w^{1,8}$$

Rolamentos de rolos

$$C = f_c(i \cdot l \cdot \cos\alpha)^{7/9} Z^{3/4} \cdot D_w^{29/27}$$

Batente de esferas

(para um diâmetro de esferas < 25,4 e $\alpha = 90^\circ$)

$$C = f_c \cdot Z^{2/3} \cdot D_w^{1,8}$$

■ Observação

► Nota-se que o expoente que afeta o diâmetro D_w do corpo rolante é superior ao que se refere ao seu número Z . Não se pode então comparar a capacidade de dois rolamentos de mesmo símbolo, mas de definição interna diferente considerando apenas o número de corpos rolantes. Os outros parâmetros da fórmula de cálculo devem também intervir.

► Capacidade de carga dos rolamentos duplos

Com relação aos rolamentos com duas fileiras de corpos rolantes ($i = 2$) ou os conjuntos constituídos de dois rolamentos idênticos, a capacidade (C_e) do conjunto é a (C) de uma fileira multiplicada por:

para os conjuntos de esferas

$$2^{0,7} = 1,625$$

para os conjuntos de rolos

$$2^{7/9} = 1,715$$

Vê-se então que o fato de dobrar um rolamento melhora a capacidade de carga do mancal de 62,5 ou 71,5% conforme o tipo utilizado. A capacidade de carga e, conseqüentemente, a vida útil não são dobradas.



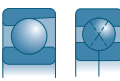







Vida útil nominal (continuação)

Carga dinâmica equivalente P

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

X e Y = fatores de carga definidos na tabela a seguir

F_a e F_r = esforços axial e radial aplicados ao rolamento

Tipo	Corte	Série	Ângulo de contato	F _a /C ₀	e	F _a / F _r ≤ e		F _a / F _r > e	
						X	Y	X	Y
Rolamentos de esferas de contato radial com uma ou duas fileiras de esferas		60-62-63-64 160-618-619 622-623 42-43		0,014	0,19	1	0	0,56	
				0,028	0,22				
				0,056	0,26				
				0,084	0,28				
				0,110	0,30				
				0,170	0,34				
				0,280	0,38				
				0,420	0,42				
0,560	0,44								
Rolamentos de esferas de contato radial com uma fileira de esferas com jogo residual superior ao jogo normal		60-62-63-64 160-618-619 622-623		0,014	0,29	1	0	0,46	
				0,029	0,32				
				0,057	0,36				
				0,086	0,38				
				0,110	0,40				
				0,170	0,44				
				0,280	0,49				
				0,430	0,52				
0,570	0,54								
Rolamentos de esferas de contato oblíquo com uma fileira de esferas		72-73 QJ2-QJ3	40° 30° 35°		1,14	1	0	0,35	0,57
					0,80	1	0	0,39	0,76
					0,95	1	0	0,37	0,66
Rolamentos de esferas de contato oblíquo com duas fileiras de esferas		32-33 32..A-33..A 52-53 32..B-33..B	35° 25° 32°		0,95	1	0,66	0,60	1,07
					0,68	1	0,92	0,67	1,41
					0,86	1	0,73	0,62	1,17
Rolamento autocompensador de esferas		12-13 22-23 112-113			Ver lista dos rolamentos	1	Ver lista dos rolamentos	0,65	Ver lista dos rolamentos
Rolamentos de rolos cônicos		302-303-313 320-322-322..B 323-323..B 330-331-332			Ver lista dos rolamentos	1	0	0,40	Ver lista dos rolamentos
Rolamentos autocompensadores de rolos		213-222-223 230-231-232 240-241			Ver lista dos rolamentos	1	Ver lista dos rolamentos	0,67	Ver lista dos rolamentos
Rolamentos de rolos cilíndricos		N..2-N..3-N..4 N..10 N..22-N..23			-	1	-	1,00	-
Batente de esferas de simples ou duplo efeito		511-512-513 514			-	-	-	-	1,00
Batente auto-compensador de rolos		293-294			1,82	-	-	1,20	1,00

Definição

→ Fator de carga axial Y

O fator de carga axial Y , que depende do ângulo de contato do rolamento, é calculado de uma maneira diferente, conforme o tipo de rolamento:

■ Rolamentos de esferas de contato radial

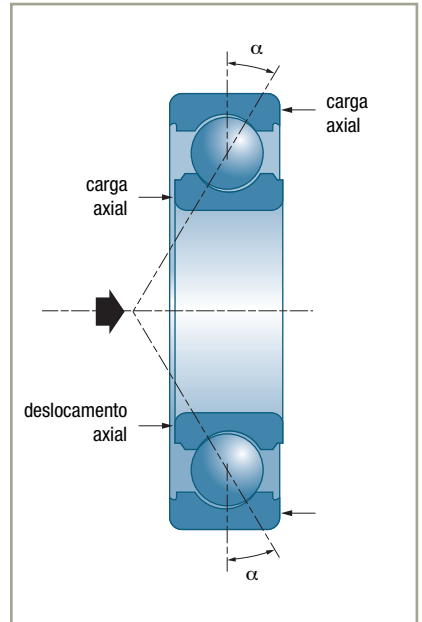
O ângulo de contato é nulo com uma carga radial única. Sob ação de uma carga axial, as deformações locais de contato entre esferas e pistas de rolamento provocam um deslocamento axial relativo dos dois anéis.

O ângulo de contato (α) aumenta então em função do esforço axial aplicado. A relação F_a/C_0 é utilizada para determinar o valor de Y , considerando assim a modificação do ângulo de contato devida ao esforço axial.

■ Rolamentos de contato angular

O ângulo de contato é dado por construção e varia pouco em função das cargas combinadas.

O fator de carga axial Y para um ângulo de contato dado é então considerado em primeira aproximação como constante. Os rolamentos de esferas de contato oblíquo, com um ângulo de contato idêntico para todos os rolamentos, são calculados com o mesmo fator de carga Y . Para os rolamentos de rolos cônicos, Y varia conforme a série e a dimensão.



Definição da capacidade estática

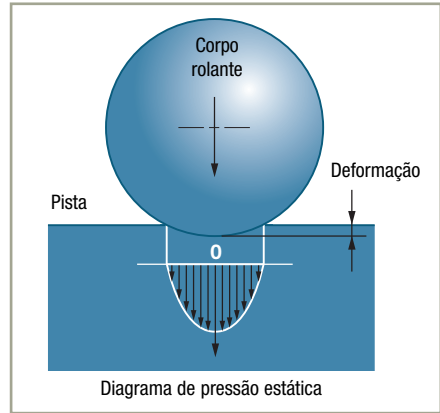
- As dimensões do rolamento devem ser escolhidas a partir da carga estática quando:
 - o rolamento está parado ou efetuando pequenos movimentos de oscilação e suportando cargas contínuas ou intermitentes,
 - o rolamento é submetido a choques durante uma rotação normal.

Vida útil nominal (continuação)

Uma carga estática aplicada a um rolamento pode, devido às solicitações ao nível dos contatos dos corpos rolantes com as pistas, provocar deformações permanentes localizadas nocivas ao bom funcionamento do rolamento quando se encontra em rotação.

Define-se então uma carga radial máxima admissível tal que a solicitação dela resultante no rolamento imóvel possa ser tolerada na maioria das aplicações sem alterar a sua vida útil e a sua rotação.

O valor C_0 dessa carga máxima admissível é chamado capacidade estática de base do rolamento (ou carga estática).



■ Capacidade estática de base de um rolamento C_0

Ela foi definida pela norma ISO 76 como a carga radial (axial para os batentes) que cria ao nível do contato (corpo rolante e pista) mais carregado uma pressão de Hertz de:

- 4200 MPa para os rolamentos e batentes de esferas (todos os tipos, exceto rolamentos auto-compensadores de esferas)
- 4600 MPa para os rolamentos autocompensadores de esferas
- 4000 MPa para os rolamentos e batentes de rolos (todos tipos)

$$1\text{MPa} = 1\text{Mega Pascal} = 1 \text{ N/mm}^2$$

■ Carga estática equivalente P_0

No caso em que o rolamento é submetido cargas estáticas combinadas tais que F_r seja a componente radial e F_a a componente axial, calcula-se uma carga estática equivalente a fim de comparar à capacidade estática do rolamento.

A capacidade de carga estática do rolamento deve ser considerada mais como uma ordem de grandeza do que um limite preciso que não se deve ultrapassar.

O fator de segurança

$$f_s = C_0 / P_0$$

C_0 é a capacidade estática de base definida nas tabelas de características dos rolamentos.

Valores de princípio mínimos para o coeficiente de segurança f_s :

- 1,5 a 3 para exigências severas
- 1,0 a 1,5 para condições normais
- 0,5 a 1 para funcionamentos sem exigências de ruído ou precisão

Se se deseja um rolamento girando com exigências severas quanto ao silêncio de funcionamento, o coeficiente de segurança f_s deve ser importante.

Carga estática equivalente












A carga estática equivalente é o maior dos dois valores

$$P_0 = F_r$$

$$P_0 = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a$$

F_r e F_a são os esforços estáticos aplicados.

■ Os coeficientes X_0 e Y_0 são definidos na tabela a seguir:

Tipo	Corte	Série	Ângulo de contato	X_0	Y_0
Rolamentos de esferas de contato radial com uma ou duas fileiras de esferas	 	60-62-63-64 160-618-619-622 623 42-43		0,6	0,5
Rolamentos de esferas de contato oblíquo com uma fileira de esferas	 	72 - 73	40°	0,5	0,26
		QJ2 - QJ3	35°	0,5	0,29
Rolamentos de esferas de contato oblíquo com duas fileiras de esferas		32 - 33	35°	1,0	0,58
		32..A - 33..A	25°	1,0	0,76
		52 - 53 32B - 33B	32°	1,0	0,63
Rolamento autocompensador de esferas		12 - 13 22 - 23 112 - 113		0,5	
Rolamentos de rolos cônicos		302 - 303 - 313 320 - 322 - 322..B 323 - 323..B - 330 331 - 332		1,0	Ver lista dos rolamentos
Rolamentos autocompensadores de rolos		213 - 222 - 223 230 - 231 - 232 240 - 241		1,0	
Rolamentos de rolos cilíndricos		N..2 - N..3 - N..4 N..10 N..22 - N..23		1,0	0
Batente de esferas de simples efeito		511 - 512 - 513 514		0	1
Batente autocompensador de rolos		293 - 294		2,7 se F_r / F_a $< 0,55$	1

Vida útil nominal (continuação)

Cargas ou velocidades variáveis

■ Quando um rolamento funciona sob cargas ou velocidades variáveis, determinam-se uma carga e uma velocidade equivalente para calcular a vida útil.

▶ Carga constante e velocidade de rotação variável

Velocidade equivalente $N_e = t_1 \cdot N_1 + t_2 \cdot N_2 + \dots + t_z \cdot N_z$ com $\sum_{i=1}^z t_i = 1$

▶ Carga variável e velocidade de rotação constante

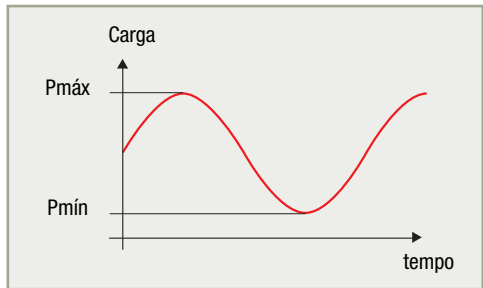
Carga equivalente $P_e = (t_1 \cdot P_1^n + t_2 \cdot P_2^n + \dots + t_z \cdot P_z^n)^{1/n}$ com $\sum_{i=1}^z t_i = 1$

▶ Carga periódica e velocidade de rotação constante

Carga equivalente

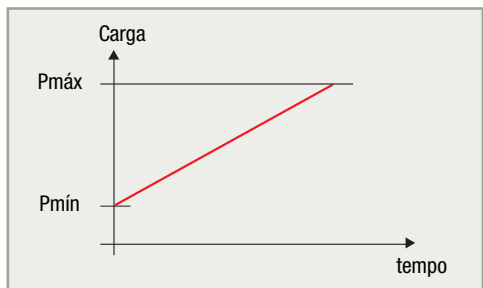
- Carga senoidal

$$P_e = 0,32 P_{\min} + 0,68 P_{\max}$$



- Carga linear

$$P_e = 1/3 (P_{\min} + 2 P_{\max})$$



■ Se a velocidade e a carga são variáveis, calcula-se a vida útil para cada taxa de utilização, em seguida a duração ponderada para o conjunto do ciclo.

► **Carga e velocidade de rotação variável**

Duração ponderada $L = (t_1 / L_1 + t_2 / L_2 + \dots + t_z / L_z)^{-1}$ com $\sum_{i=1}^z t_i = 1$

com:

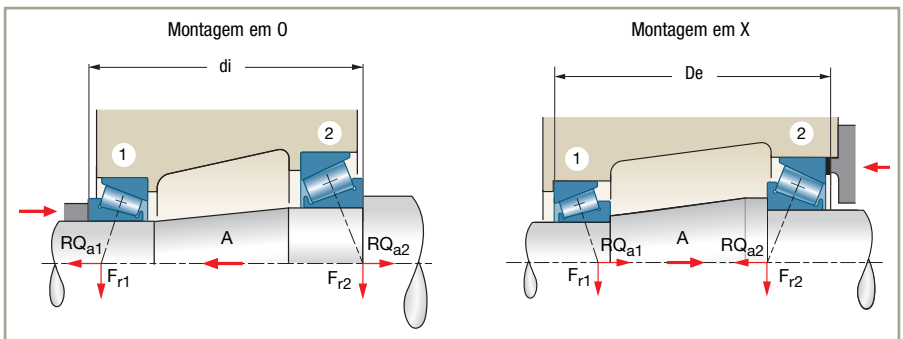
- t_i Taxa de utilização
- N_i Velocidade de rotação para a taxa de utilização t_i
- P_i Carga para a taxa de utilização t_i
- L_i Vida útil para a taxa de utilização t_i
- n 3 para os rolamentos e batentes de esferas
- n 10/3 para os rolamentos e batentes de rolos

Cálculo de um eixo montado sobre dois rolamentos de contato angular

Eixo montado sobre dois rolamentos simples não pré-carregados submetidos a esforços axiais e radiais.

→ **Equilíbrio radial do eixo**

■ Cálculo dos esforços radiais F_{r1} e F_{r2} aplicados aos pontos de aplicações das cargas dos rolamentos por equilíbrio radial estático do eixo.



Vida útil nominal (continuação)

→ Equilíbrio axial do eixo

■ As pistas de rolamentos de contato angular estando inclinadas, as cargas radiais F_{r1} e F_{r2} produzem uma força de reação axial chamada força axial induzida.

Se o rolamento 1 é aquele, cuja força axial induzida tem o sentido da força axial exterior A , o equilíbrio do eixo é:

$$A + RQ_{a1} = RQ_{a2}$$

Com RQ_{a1} e RQ_{a2} : cargas axiais aplicadas aos rolamentos calculadas nas tabelas a seguir:

► Caso de carga:

$$A + (F_{r1} / 2 Y_1) > (F_{r2} / 2 Y_2)$$

o rolamento 1 funciona com jogo

	Rolamento 1	Rolamento 2
Carga axial aplicada	$RQ_{a1} = F_{r1} / 2 Y_1$	$RQ_{a2} = A + (F_{r1} / 2 Y_1)$
Carga axial utilizada no cálculo da carga dinâmica equivalente	$F_{a1} = 0$	$F_{a2} = RQ_{a2}$

► Caso de carga:

$$A + (F_{r1} / 2 Y_1) < (F_{r2} / 2 Y_2)$$

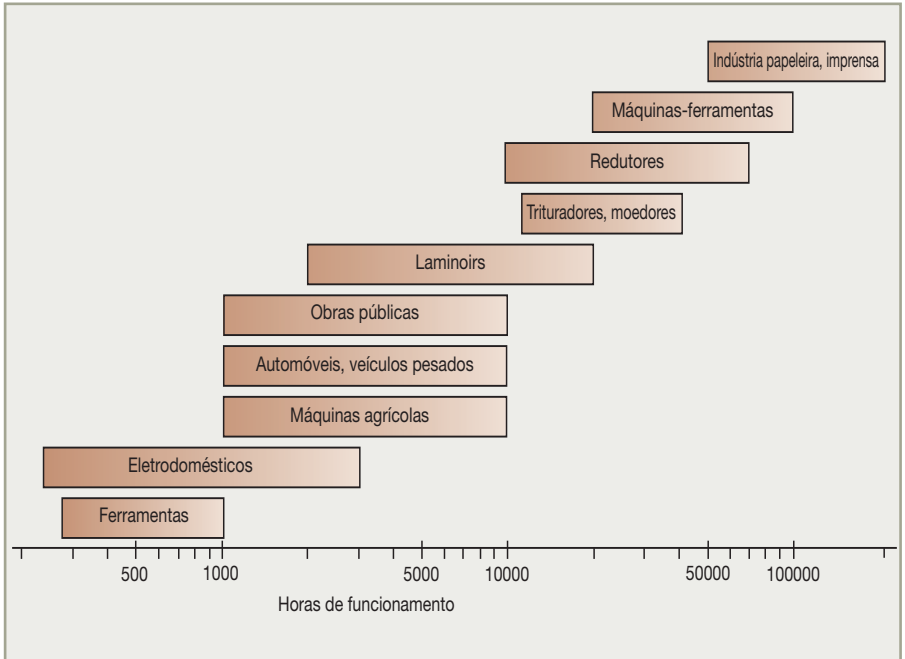
o rolamento 2 funciona com jogo

	Rolamento 1	Rolamento 2
Carga axial aplicada	$RQ_{a1} = (F_{r2} / 2 Y_2) - A$	$RQ_{a2} = F_{r2} / 2 Y_2$
Carga axial utilizada no cálculo da carga dinâmica equivalente	$F_{a1} = RQ_{a1}$	$F_{a2} = 0$

Vida útil requerida

■ A vida útil requerida do rolamento é fixada pelo construtor do equipamento no qual o rolamento se encontra incluído.

A título de exemplo, encontram-se a seguir ordens de grandeza das vidas úteis normalmente tomadas para máquinas trabalhando em setores mecânicos diversos:



Vida útil nominal corrigida

■ A vida útil nominal de base L_{10} é freqüentemente uma estimativa satisfatória dos desempenhos de um rolamento. Essa duração estende-se para uma confiabilidade de 90%, e às condições de funcionamento convencionais. Pode ser necessário em certas aplicações calcular a duração para um nível de confiabilidade diferente ou para condições de lubrificação e de contaminação.

Com os aços para rolamentos modernos de alta qualidade, é possível, sob uma carga baixa e em condições de funcionamento favoráveis, obter durações muito longas comparadas à duração L_{10} . Uma duração mais curta do que L_{10} pode aparecer em condições de funcionamento desfavoráveis.

Abaixo de uma certa carga C_U , um rolamento moderno de alta qualidade pode atingir uma duração infinita, se as condições de lubrificação, limpeza e outras condições de funcionamento são favoráveis.

Essa carga C_U pode ser determinada precisamente em função dos tipos de rolamento e das formas internas do rolamento, do perfil dos elementos rolantes e das pistas, e do limite de fadiga do material da pista. Uma aproximação suficiente pode ser feita a partir da capacidade estática do rolamento.

■ A norma internacional ISO 281 introduz um fator de correção de duração, a_{ISO} que permite calcular uma vida útil nominal corrigida de acordo com a fórmula:

$$L_{mm} = a_1 a_{ISO} L_{10}$$

Esse coeficiente permite estimar a influência da lubrificação e da contaminação sobre a duração do rolamento. Ele leva em conta o limite de fadiga do aço do rolamento.

O método de avaliação de a_{ISO} definido pela ISO281 é bastante difícil de ser aplicado por usuário não especializado. A SNR procurou então a melhor maneira de fornecer aos seus clientes um meio simples de determinação de a_{ISO} considerando que a carga de fadiga C_U dependa diretamente da capacidade estática do rolamento e que o fator de contaminação seja constante quaisquer que sejam as condições de lubrificação e o diâmetro médio do rolamento.

O método proposto pela SNR permite uma avaliação rápida, de maneira gráfica, do coeficiente a_{ISO} .

Os nossos engenheiros estão à sua disposição para determinar esse coeficiente de modo mais preciso se necessário.

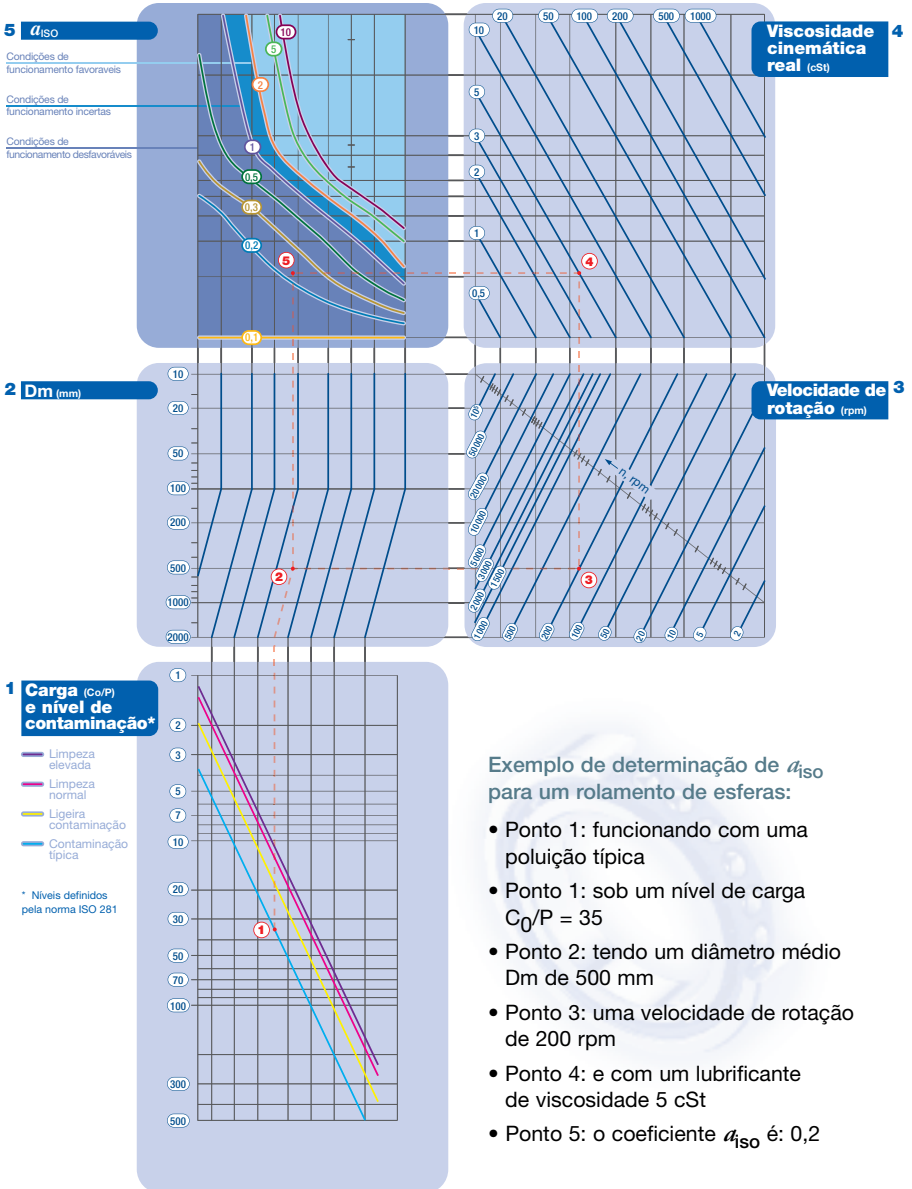
Os quatro diagramas nas páginas seguintes permitem determinar a_{ISO} para os rolamentos de esferas, rolamentos de rolos, batentes de esferas e batentes de rolos conforme o seguinte método:

■ Método de determinação de a_{ISO} (norma ISO 281)

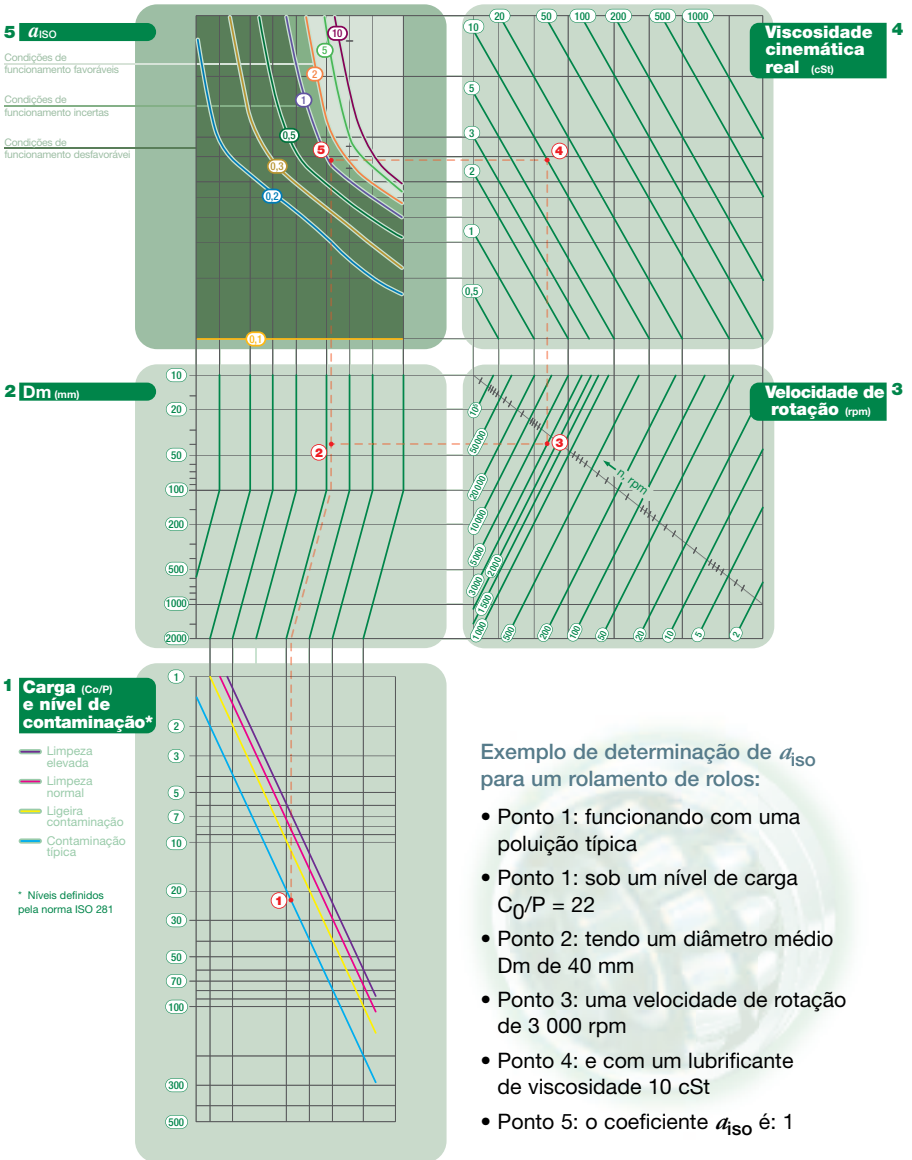
1. Definir a viscosidade do lubrificante à temperatura de funcionamento a partir do diagrama da página 78.
Tomar a viscosidade do óleo de base para os rolamentos engraxados.
2. Definir o nível de poluição:
 - ▶ **Limpeza elevada**
Óleo filtrado através de um filtro extremamente fino; condições habituais dos rolamentos engraxados à vida e vedados.
 - ▶ **Limpeza normal**
Óleo filtrado através de um filtro extremamente fino; condições habituais dos rolamentos engraxados à vida e com defletor.
 - ▶ **Ligeira contaminação**
Ligeira contaminação no lubrificante.
 - ▶ **Contaminação típica**
Óleo com filtração grosseira; partículas de desgaste ou partículas provenientes do meio ambiente.
Condições habituais dos rolamentos engraxados sem juntas de vedação integradas.
 - ▶ Para uma **grave contaminação**, considerar que a_{ISO} será inferior à 0.1.
3. A partir das cargas aplicadas sobre o rolamento, calcular a carga equivalente P e a relação Capacidade estática / carga equivalente: C_0 / P .
4. Sobre o gráfico correspondente ao tipo de rolamento ou batente a calcular, definir o ponto A em função do nível de poluição e do valor C_0/P .
5. Definir o ponto B a partir do diâmetro médio do rolamento:
 $d_m = (\text{furo} + \text{diâmetro exterior}) / 2$
6. Definir o ponto C em função da velocidade de rotação do rolamento.
7. Definir o ponto D em função da viscosidade do lubrificante à temperatura de funcionamento.
8. O ponto E, intersecção entre as retas originárias dos pontos B e D, define a zona de valor de a_{ISO} .

Vida útil nominal corrigida (continuação)

■ Rolamentos de esferas: estimativa do coeficiente a_{ISO}



Rolamentos de rolos: estimativa do coeficiente a_{ISO}

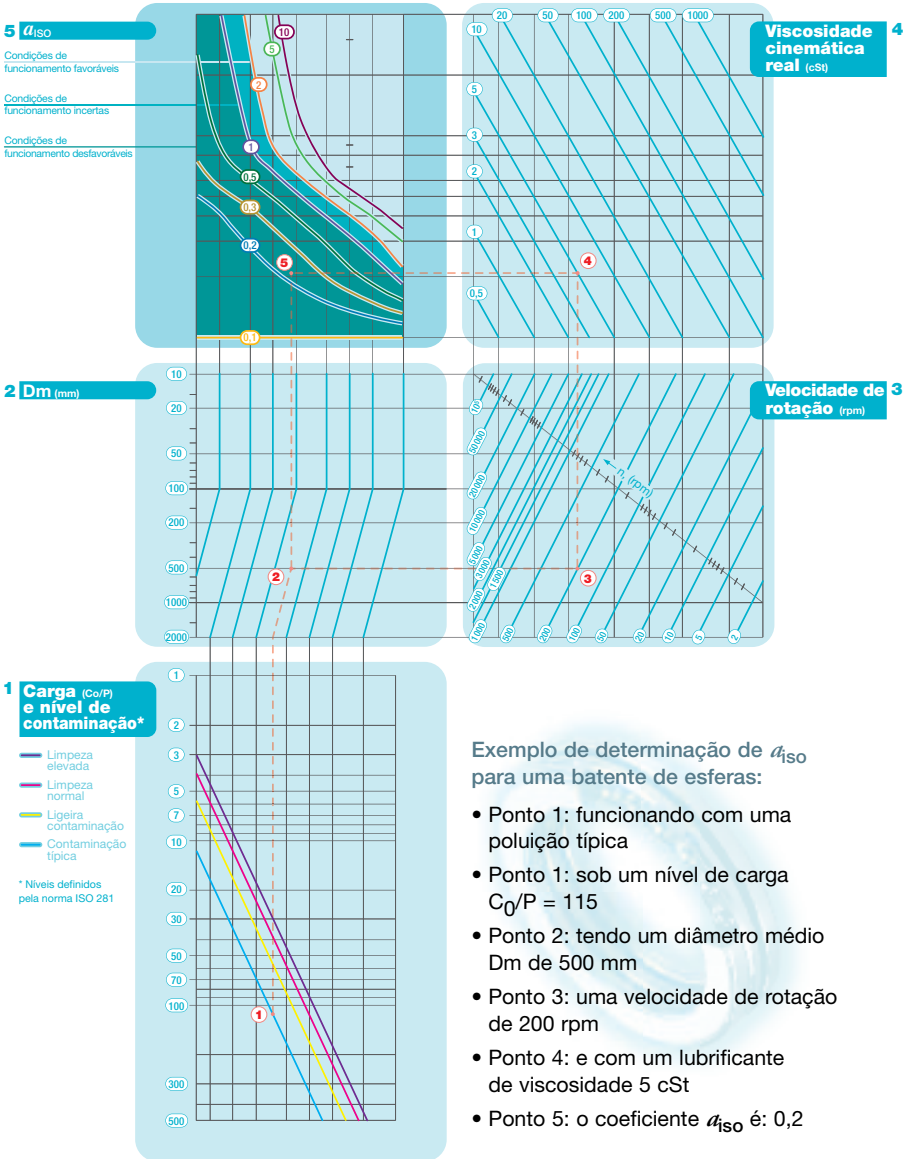


Exemplo de determinação de a_{ISO} para um rolamento de rolos:

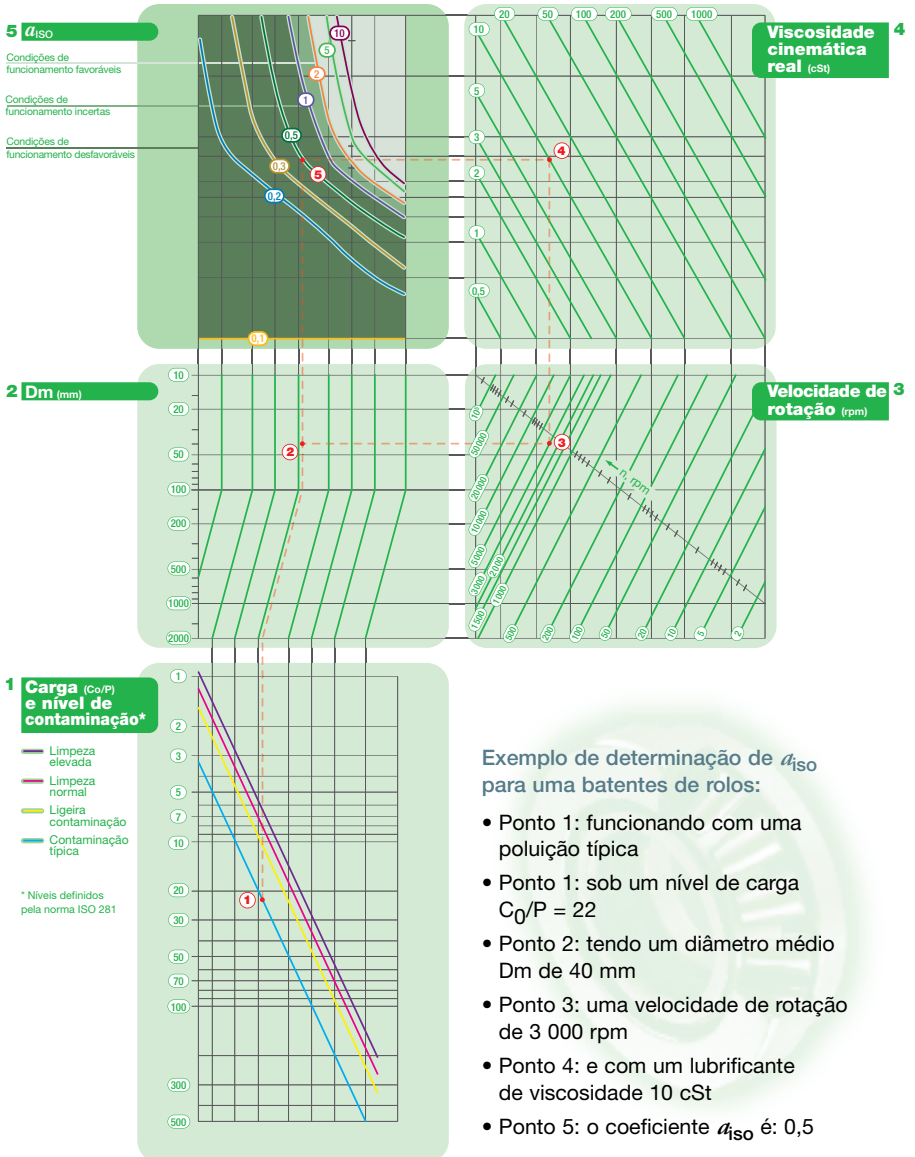
- Ponto 1: funcionando com uma poluição típica
- Ponto 2: sob um nível de carga $C_0/P = 22$
- Ponto 3: tendo um diâmetro médio D_m de 40 mm
- Ponto 4: com uma velocidade de rotação de 3 000 rpm
- Ponto 5: e com um lubrificante de viscosidade 10 cSt
- Ponto 5: o coeficiente a_{ISO} é: 1

Vida útil nominal corrigida (continuação)

■ Batente de esferas: estimativa do coeficiente a_{ISO}



Batentes de rolos: estimativa do coeficiente a_{ISO}



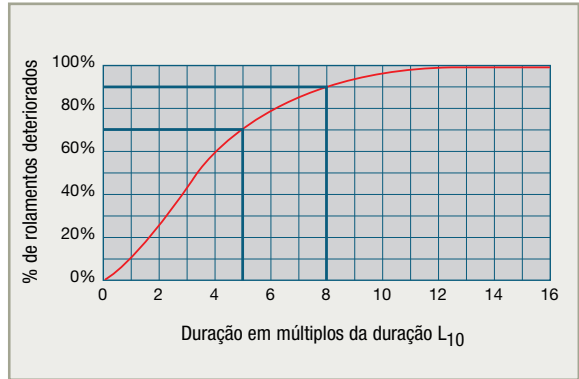
Vida útil nominal corrigida (continuação)

Confiabilidade dos rolamentos

■ Como todo fenômeno de fadiga de material, o aparecimento de uma deterioração de rolamento apresenta um caráter aleatório.

Assim, rolamentos idênticos, fabricados a partir de um mesmo lote de material, com características geométricas idênticas, submetidos a condições de funcionamento idênticos (carga, velocidade, lubrificação...) deterioram-se após durações de funcionamento muito diferentes.

A referência de vida útil dos rolamentos é a duração L_{10} que corresponde a uma confiabilidade de 90%, ou seja, ao inverso, a uma probabilidade de falha de 10%. Pode-se definir uma vida útil para uma confiabilidade diferente graças ao coeficiente a_1 , ou calcular a confiabilidade F para uma duração de funcionamento escolhida.



→ Definição do coeficiente a_1

■ O valor de confiabilidade F para uma duração de funcionamento L é expresso sob forma matemática em função da duração de referência L_{10}

$$F = \exp \left(\ln 0,9 \left(L / L_{10} \right)^\beta \right)$$

de onde

$$a_1 = (L / L_{10}) = (\ln F / \ln 0,9)^{1/\beta}$$

O coeficiente de correção a_1 foi calculado com a inclinação da reta de Weibull (ver gráfico na página seguinte) $\beta = 1,5$ (valor médio para todos os rolamentos e batentes).

■ Esses valores de confiabilidade mostram a grande dispersão característica da vida útil dos rolamentos:

- aprox. 30% dos rolamentos de um mesmo lote alcançam uma vida útil igual a 5 vezes a vida útil nominal L_{10}
- aprox. 10%, uma vida útil igual a 8 vezes a vida útil nominal L_{10} (ver gráfico acima)

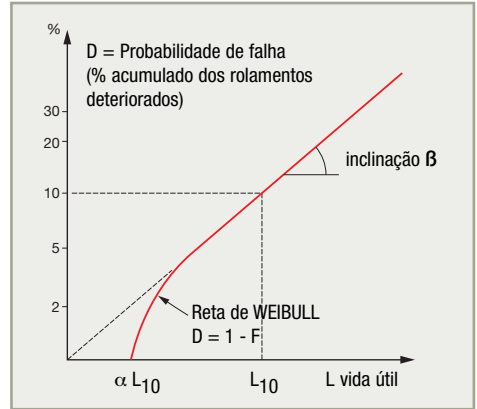
Considerando esse aspecto, a análise dos desempenhos dos rolamentos só pode ser efetuada após vários ensaios idênticos e somente a exploração estatística dos resultados permite tirar conclusões válidas.

→ Confiabilidade para uma duração de funcionamento escolhida

■ Geralmente, é útil calcular a confiabilidade de um rolamento para períodos relativamente curtos do seu funcionamento, por exemplo, a confiabilidade de um componente para o seu período de garantia L conhecendo a vida útil calculada L_{10} .

A exploração dos resultados de ensaios efetuados pela SNR permitiu afinar o traçado da reta de Weibull ao nível das curtas durações de funcionamento.

Ao contrário do que exprimem as fórmulas precedentes (consideradas na norma ISO 281 para o cálculo do coeficiente a_1) existe certo valor da duração de funcionamento abaixo do qual os rolamentos não apresentam nenhum risco de falha (confiabilidade 100%). O valor é sensivelmente igual a 5% da vida útil L_{10} (figura acima: αL_{10}).



■ Para considerar essa realidade nos cálculos da confiabilidade ao nível das curtas durações de funcionamento, a SNR utiliza a fórmula precedente corrigida por um fator $\alpha = 0,05$

$$F = \exp \left(\ln 0,9 \left(\left(\frac{L}{L_{10}} - \alpha \right)^\beta (1 - \alpha)^{-\beta} \right) \right)$$

Para toda confiabilidade F corresponde uma probabilidade de falha $D = 1 - F$

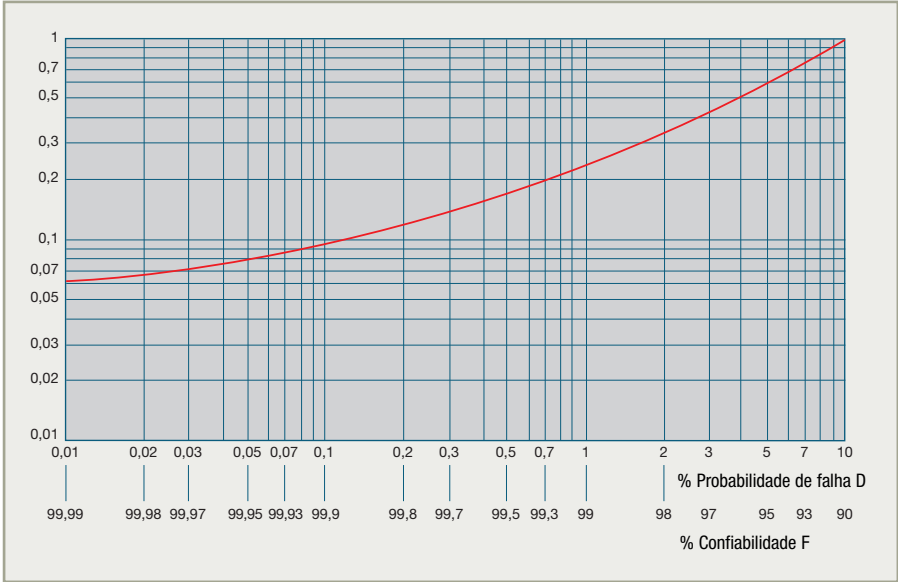
Essa é descrita num diagrama de Weibull (em coordenadas logarítmicas compostas) por uma reta de inclinação β .

→ Determinação de a_1 e da confiabilidade para uma duração escolhida

Confiabilidade 100%	L_{nm}	a_1
90	L_{10m}	1
95	L_{5m}	0,64
96	L_{4m}	0,55
97	L_{3m}	0,47
98	L_{2m}	0,37
99	L_{1m}	0,25
99,2	$L_{0,8m}$	0,22
99,4	$L_{0,6m}$	0,19
99,6	$L_{0,4m}$	0,16
99,8	$L_{0,2m}$	0,12
99,9	$L_{0,1m}$	0,093
99,92	$L_{0,08m}$	0,087
99,94	$L_{0,06m}$	0,080
99,95	$L_{0,05m}$	0,077

Vida útil nominal corrigida (continuação)

■ Confiabilidade e probabilidade de falha para uma duração escolhida L



➔ Duração e confiabilidade de um conjunto de rolamentos

■ Segundo a teoria das probabilidades compostas, a confiabilidade de um conjunto de rolamentos é o produto das confiabilidades dos seus componentes.

$$F = F_1 \times F_2 \times \dots$$

■ Das fórmulas precedentes, deduz-se a duração L_{10} de um conjunto em função da duração L_{10} de cada um dos rolamentos.

$$L_e = (1 / L_1^{1,5} + 1 / L_2^{1,5} + \dots)^{-1/1,5}$$

■ Da mesma forma, a probabilidade de falha de um conjunto é, em primeira aproximação, a soma das probabilidades de falha de cada rolamento (para valores de falha muito baixos).

$$D = D_1 + D_2 + \dots$$

➔ Vê-se que um conjunto mecânico terá uma confiabilidade tanto melhor ao nível dos rolamentos, quanto mais elevada for a sua vida útil individual.

Influência da lubrificação

A função principal do lubrificante é de separar as superfícies metálicas ativas do rolamento, mantendo um filme de óleo entre os corpos rolantes e as suas pistas, a fim de evitar o desgaste e de limitar as sollicitações anormais e os aquecimentos que podem resultar do contato metal sobre metal dos elementos em rotação.

O lubrificante tem igualmente duas funções secundárias: resfriar o rolamento no caso da lubrificação a óleo e evitar a oxidação.

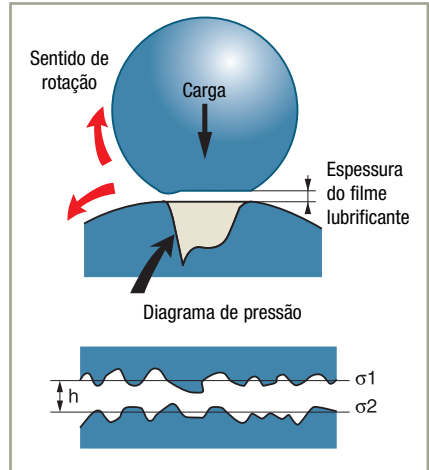
→ Poder de separação do lubrificante

■ Na zona de contato entre corpo rolante e pista de rolamento, a teoria de Hertz permite analisar as deformações elásticas resultantes das pressões de contato.

Apesar dessas pressões, é possível criar um filme de óleo separando as superfícies em contato. Caracteriza-se o regime de lubrificação do rolamento pela relação da espessura h do filme de óleo sobre a rugosidade equivalente σ das superfícies em contato.

$$\sigma = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^{1/2}$$

σ_1 : rugosidade média das pistas de rolamento
 σ_2 : rugosidade média dos corpos rolantes



→ Teoria elasto-hidrodinâmica (EHD)

■ A teoria elasto-hidrodinâmica leva em conta todos os parâmetros que entram no cálculo das deformações elásticas do aço e das pressões hidrodinâmicas do lubrificante e permite uma avaliação da espessura do filme de óleo.

Esses parâmetros são os seguintes:

- natureza do lubrificante definida pela viscosidade dinâmica do óleo à temperatura de funcionamento e o seu coeficiente piezo-viscoso que caracteriza o aumento da sua viscosidade em função da pressão de contato,
- natureza dos materiais em contato definida pelo seu módulo de elasticidade e seu coeficiente de Poisson, que caracterizam a amplitude das deformações ao nível dos contatos sob carga,
- a carga sobre o corpo rolante mais sollicitado,
- a velocidade,
- a forma das superfícies em contato definida pelos seus raios de curvatura principais, que caracterizam o tipo de rolamento utilizado.

➔ Aplicada ao rolamento, a teoria EHD permite chegar a hipóteses simplificadoras que mostram que a espessura do filme de óleo depende quase exclusivamente da viscosidade do óleo e da velocidade.

Vida útil nominal corrigida (continuação)

■ Lubrificação a óleo

Ensaio mostraram que a eficácia da lubrificação definida pela relação h/σ influencia muito na vida útil efetiva dos rolamentos. Com a aplicação da teoria EHD, pode-se verificar a incidência do regime de lubrificação sobre a vida útil do rolamento no diagrama da página seguinte.

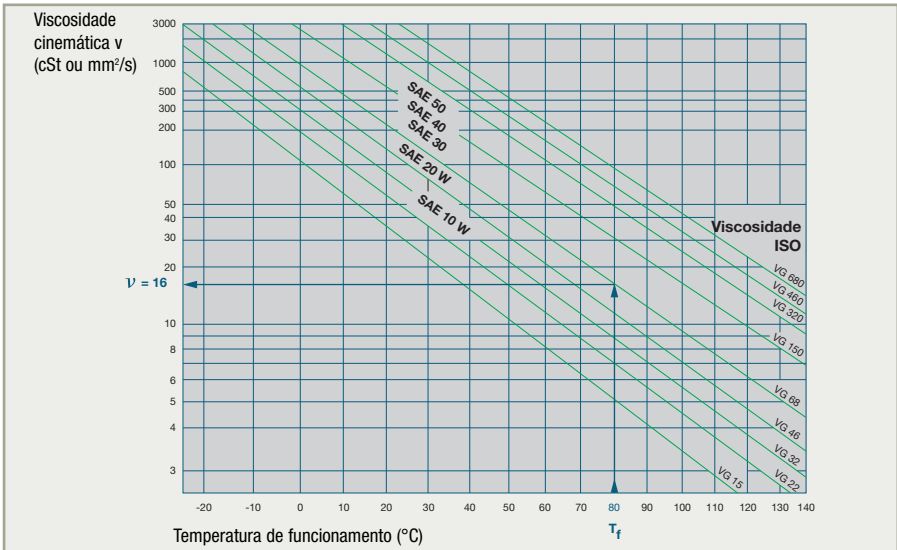
■ Lubrificação com graxa

A aplicação da teoria EHD à lubrificação com graxa é mais complexa devido aos seus vários constituintes. Os resultados experimentais raramente mostram uma correlação entre os seus desempenhos e as características dos seus componentes. Resulta que toda recomendação de graxa baseia-se em ensaios que visam avaliar de modo comparativo os produtos oferecidos no mercado. O Centro de Pesquisas e Ensaio SNR trabalha em estreita colaboração com os Centros de Pesquisas dos Petroleiros, a fim de selecionar e de desenvolver as graxas mais eficazes.

→ Determinação da viscosidade mínima necessária

■ Diagrama Viscosidade-Temperatura

Os óleos utilizados para a lubrificação dos rolamentos são geralmente óleos minerais com índice de viscosidade em torno de 90. Os fornecedores desses óleos dão as características precisas dos seus produtos, em particular, o diagrama viscosidade-temperatura. Na falta desse, utilizar-se-á o diagrama geral a seguir.

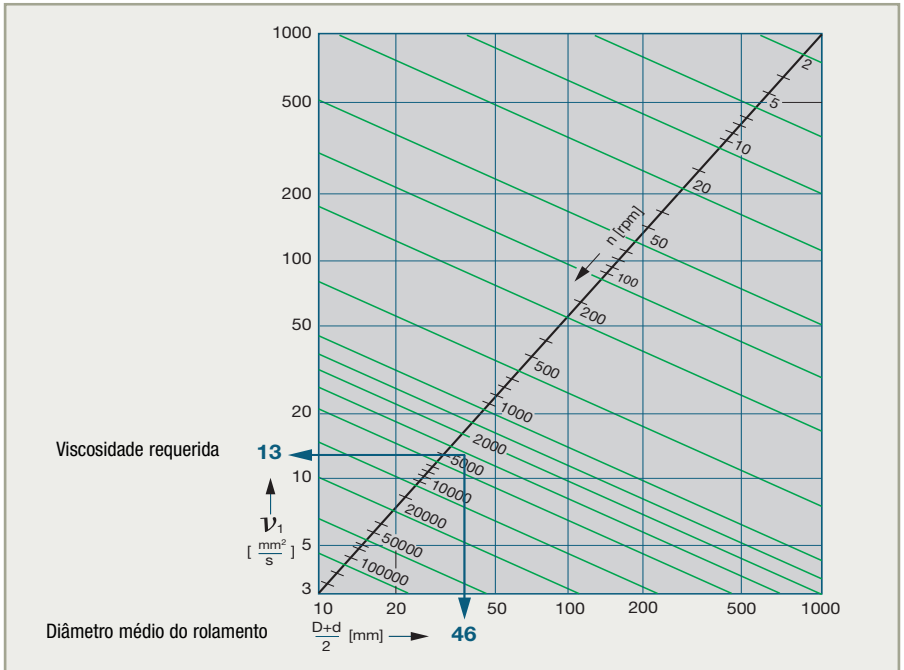


Sendo o óleo definido pela sua viscosidade nominal (em centistokes ou mm^2/s) à temperatura nominal de 40°C , deduz-se daí a viscosidade à temperatura de funcionamento.

■ Diagrama de viscosidade mínima necessária

O diagrama a seguir permite determinar a viscosidade mínima necessária (cSt ou mm^2/s) a partir:

- do diâmetro médio do rolamento $D_m = (D+d)/2$
- da velocidade de rotação n



► Exemplo:

Rolamento 6206 à velocidade de 3000 rpm num óleo VG68 a 80 °C.

O diagrama ao lado indica que a viscosidade real do óleo a 80 °C é 16 cSt.

O diagrama acima indica que a viscosidade requerida para um 6206 de diâmetro médio $D_m = (D + d)/2 = 46$ mm a 3000 rpm é de 13 cSt.

Parâmetros com influência na vida útil

Influência da temperatura

→ Temperaturas de funcionamento normais

■ A temperatura normal de funcionamento do rolamento está compreendida entre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$

Uma temperatura fora desses limites de funcionamento tem efeito sobre:

- as características do aço,
- o jogo interno de funcionamento,
- as propriedades do lubrificante,
- a integridade das juntas,
- a integridade das gaiolas de material sintético.

■ Condições para o funcionamento dos rolamentos fora dos limites de temperatura "normais"

Temperatura de funcionamento contínuo em $^{\circ}\text{C}$

	-40	-20	0	40	80	120	160	200	240
Aço 100 Cr6	Padrão					<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; transform: rotate(-15deg);">diminuição da resistência à fadiga</div> Tratamento térmico especial			
Jogo de funcionamento	Normal					<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; transform: rotate(-15deg);">Jogo aumentado</div>			
Graxa	Especial baixa temp.	Padrão			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; transform: rotate(-15deg);">Queda dos desempenhos</div>		Especial alta temperatura	Lubrificação seca	
Junta	Padrão (nitrilo acrílico)								
	Especial (elastômero fluorado)								
Gaiola	Poliamida 6/6								
	Metálica								

Influência do jogo de funcionamento

→ Rolamento de contato radial sob carga radial

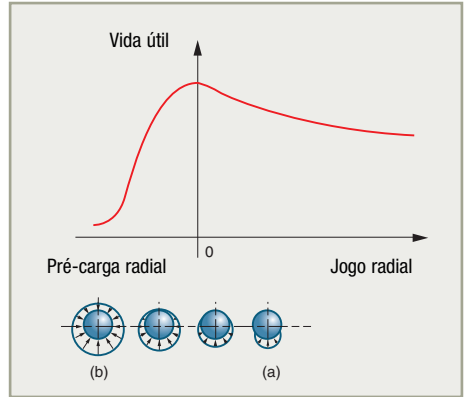
■ Define-se a carga dinâmica de base de um rolamento, supondo-se que o jogo radial de funcionamento (jogo do rolamento após a montagem) seja nulo, isto é, que a metade dos corpos rolantes esteja carregada.



■ Na prática, o jogo de funcionamento não é nunca nulo.

- Um jogo importante (Zone a) transmite a carga a um setor reduzido do rolamento.
- Uma pré-carga excessiva (Zone b) transmite aos corpos rolantes uma forte carga que se junta à carga de funcionamento.

Nos dois casos, a vida útil é diminuída, mas uma pré-carga é mais desvantajosa do que um jogo.



→ Rolamento de contato oblíquo sob carga radial e axial

■ A zona de carga varia de acordo com o nível de jogo ou de pré-carga.



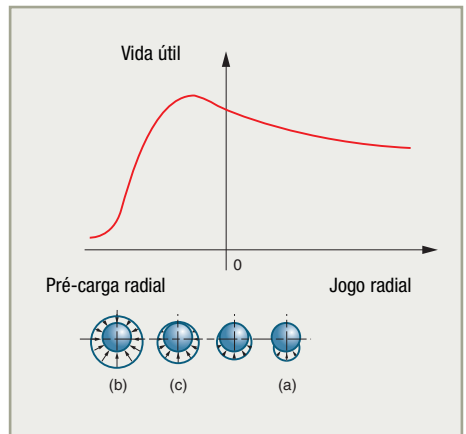
Uma leve pré-carga axial (Zona c) produz uma melhor distribuição da carga sobre os corpos rolantes e melhora a vida útil.

Nota-se que um jogo axial normal (Zona a) compromete pouco as vidas úteis, enquanto uma pré-carga excessiva (Zona b) as reduz fortemente, criando adicionalmente solicitações anormais, um momento de torque elevado, e uma elevação de temperatura.

Por esse motivo, a maioria das montagens que não exigem pré-carga possuem um certo jogo para eliminar esses riscos e facilitar a regulagem e a lubrificação.

Calcula-se a influência do jogo sobre a vida útil a partir do jogo residual, da intensidade das cargas aplicadas e de sua direção.

Consultar a SNR.



Parâmetros com influência na vida útil (continuação)

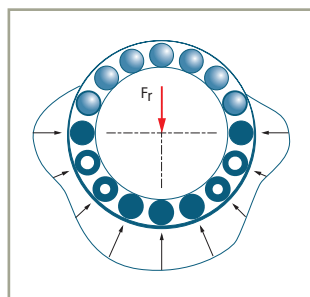
Influência de uma carga excessiva

Para cargas muito elevadas, correspondendo aproximadamente a valores $P \geq C / 2$, o nível das solicitações do aço padrão é tal que a fórmula já não representa corretamente a vida útil nominal com uma confiabilidade de 90%. Esses casos de carga exigem um estudo de aplicação especial sobre os nossos meios de cálculos.

Influência dos defeitos de forma e de posição dos suportes

→ Defeito de forma

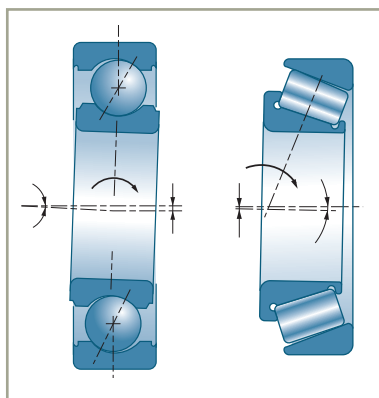
■ O rolamento é uma peça de precisão e o cálculo da sua resistência à fadiga supõe uma distribuição homogênea e contínua da carga entre os corpos rolantes. Quando a distribuição não é homogênea, é necessário calcular as solicitações por elementos finitos.



É importante que os suportes de rolamentos sejam usinados com um nível de precisão compatível. Os defeitos de forma dos suportes (ovalidade, defeito de cilindridade...) criam solicitações localizadas que reduzem significativamente a vida útil real dos rolamentos. As tabelas da página 108 dão algumas especificações de tolerâncias dos apoios e suportes de rolamentos.

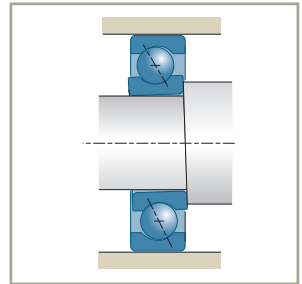
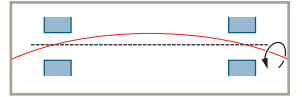
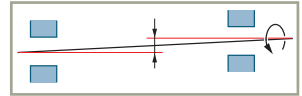
→ Defeito de alinhamento

■ Os defeitos de alinhamento sobre rolamentos rígidos (não autocompensadores) traduzem-se por um ângulo entre o eixo do anel interior e o do anel exterior.

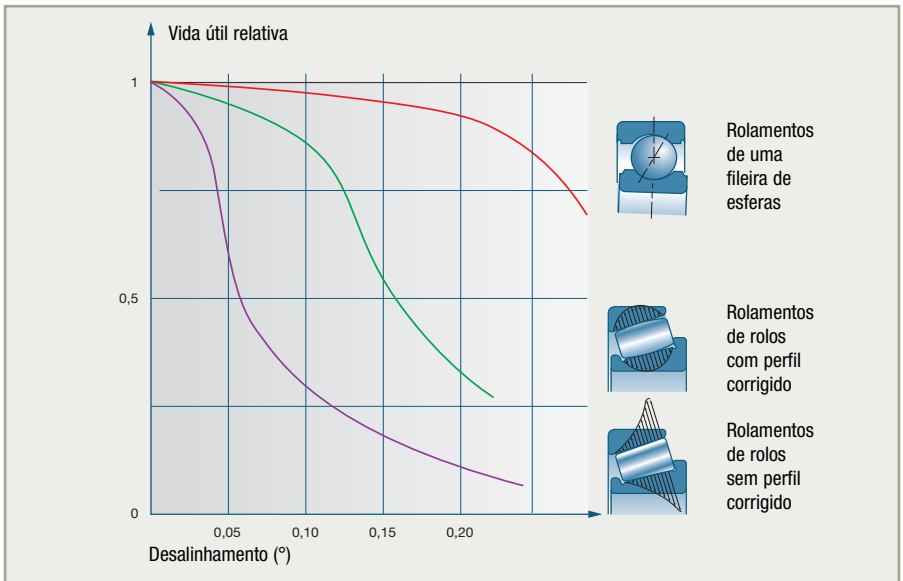


■ Tais defeitos podem provir:

- ▶ de um defeito de concentricidade entre os dois suportes do eixo ou dos alojamentos
- ▶ de um defeito de alinhamento entre a linha de centro do eixo e a linha de centro do alojamento correspondente de um mesmo rolamento
- ▶ de um defeito de linearidade do eixo
- ▶ de um defeito de perpendicularidade entre os ressaltos e os suportes



■ O valor desses defeitos de alinhamento e a sua influência sobre a vida útil dos rolamentos são determinados por cálculo. O diagrama a seguir mostra os resultados. Vê-se que a queda da vida útil é muito rápida e que os defeitos de alinhamento devem ser mantidos dentro de limites muito estreitos.



Parâmetros com influência na vida útil (continuação)

■ Valor máximo dos defeitos de alinhamento admissíveis sem desvantagem significativa da vida útil para um jogo de funcionamento normal.

	$F_a / F_r < e$	$F_a / F_r > e$
Rolamento com uma fileira de esferas	0,17°	0,09°
Rolamento rígido com duas fileiras de esferas, Rolamentos de rolos cilíndricos ou cônicos	0,06°	0,06°

Para atenuar a influência do desalinhamento, pode-se empregar um jogo aumentado (categoria 3) para os rolamentos com uma fileira de esferas. Para os rolamentos de rolos cilíndricos ou cônicos, a SNR realiza um arqueamento da geratriz dos rolos que melhora a distribuição das solicitações em caso de desalinhamento.

Atrito e velocidade dos rolamentos

Atrito

■ O atrito de um rolamento e o seu aquecimento dependem de diversos parâmetros: carga aplicada, atrito da gaiola, definição interna do rolamento, lubrificação...

Para a maioria das aplicações abaixo da velocidade limite e com uma quantidade de lubrificação não excessiva, o atrito nos rolamentos pode ser calculado de modo suficientemente preciso com as fórmulas seguintes:

M_R	Momento de resistência (N.mm)
P_R	Potência absorvida (W)
F	Carga radial para os rolamentos, carga axial para os batentes (N)
D_m	Diâmetro médio do rolamento $D_m = (d + D) / 2$ (mm)
n	Velocidade de rotação (min^{-1})
μ	Coefficiente de atrito

$$M_R = \mu \cdot F \cdot D_m / 2$$

$$P_R = M_R \cdot n / 9550$$

Rolamentos sem juntas de vedação:

Coefficiente de atrito	μ
Rolamentos de esferas de contato radial	0,0015
Rolamentos autocompensadores de esferas	0,0010
Rolamentos de esferas de contato oblíquo	
• com uma fileira de esferas	0,0020
• com duas fileiras de esferas	0,0024
Batente de esferas	0,0013
Rolamentos de rolos cilíndricos	0,0050
Rolamento de rolos cônicos	0,0018
Rolamento autocompensador de rolos	0,0018

Velocidade dos rolamentos

→ Teoria da norma ISO 15312

A norma ISO 15312 introduz novos conceitos sobre as velocidades dos rolamentos:

- Velocidade de referência térmica
- Velocidade térmica máx. admissível
- Velocidade limite

■ Velocidade de referência térmica. Definição

É a velocidade de rotação do anel interior para a qual ocorre um **equilíbrio térmico entre o calor produzido pelo atrito no rolamento (N_r) e o fluxo térmico emitido através da sede** (eixo e alojamento) do rolamento (Φ_r). Ele funciona nas condições de referência a seguir.

$$N_r = \Phi_r$$

■ Condições de referência determinantes da geração de calor por atrito

Temperatura

- Temperatura do anel exterior fixo $\theta_r = 70^\circ\text{C}$
- Temperatura ambiente $\theta_{Ar} = 20^\circ\text{C}$

Carga

- Rolamentos radiais: carga radial pura correspondente a 5% da carga radial estática de base.
- Batentes de rolos: carga axial correspondente a 2% da carga axial estática de base.

Lubrificante: óleo mineral sem aditivos para extrema pressão, tendo a $\theta_r = 70^\circ\text{C}$ a seguinte viscosidade cinemática:

- Rolamentos radiais: $\nu_r = 12 \text{ mm}^2 / \text{s}$ (ISO VG 32)
- Batentes de rolos: $\nu_r = 24 \text{ mm}^2 / \text{s}$ (ISO VG 68)

Método de lubrificação: banho de óleo com um nível de óleo até e inclusive o centro do corpo rolante na posição mais baixa.

Outros

- Dimensões do rolamento: até e inclusive um diâmetro de furo de 1.000 mm
- Jogo interno: grupo "N"
- Juntas: rolamento sem juntas
- Eixo de rotação do rolamento: horizontal
(Para os batentes de rolos cilíndricos e os batentes de agulhas, convém tomar cuidado de alimentar com óleo os elementos rolantes superiores.)
- Anel exterior: fixe
- Regulagem da pré-carga de um rolamento de contato oblíquo: nenhum jogo em funcionamento

Atrito e velocidade dos rolamentos *(continuação)*

- Calor por atrito N_r de um rolamento funcionando à velocidade de referência térmica nas condições de referência:

$$N_r = [(\pi \times n_{\theta r}) / (30 \times 10^3)] \times (M_{0r} + M_{1r})$$

M_{0r} : Momento de atrito independente da carga

M_{1r} : Momento de atrito dependente da carga

$$N_r = [(\pi \times n_{\theta r}) / (30 \times 10^3)] \times [10^{-7} \times f_{0r} \times (v_r \times n_{\theta r})^{2/3} \times d_m^3 + f_{1r} \times P_{1r} \times d_m]$$

f_{0r} : Fator de correção para o momento de torque independente da carga, mas dependente da velocidade nas condições de referência (valores informativos no Anexo A da norma)

d_m : Diâmetro médio do rolamento $d_m = 0,5 \times (D + d)$

f_{1r} : Fator de correção para o momento de torque dependente da carga

P_{1r} : Carga de referência

- Condições de referência determinantes da emissão de calor

Área da superfície de referência A_r : soma das superfícies de contato entre os anéis e o eixo e o alojamento, através das quais o fluxo térmico é emitido.

Fluxo térmico de referência Φ_r : fluxo térmico emitido pelo rolamento em funcionamento e transmitido por condução térmica através da área da superfície de referência.

Densidade de referência de fluxo térmico q_r : quociente do fluxo térmico de referência pela área da superfície de referência.

- Fluxo térmico emitido através da sede

$$\Phi_r = q_r \times A_r$$

- Velocidade térmica máx. admissível. Definição

Um rolamento em funcionamento pode atingir uma velocidade térmica máxima admissível que depende da velocidade térmica de referência. A norma ISO 15312 indica o método para determinação dos valores dessa velocidade.

- Velocidade limite ISO 15312. Definição

A norma ISO 15312 define a velocidade limite de um rolamento como aquela nos quais os elementos que o compõem já não resistem mecanicamente.

A grande maioria das aplicações dos rolamentos corresponde a condições de velocidades distantes dos valores críticos.

Ela não exige cálculos muito precisos; uma indicação sobre o limite a respeitar é perfeitamente suficiente. As definições e os métodos de cálculo desenvolvidos pela norma ISO 15312 devem ser empregados por especialistas com meios de cálculo potentes, quando as condições de velocidades elevadas dificultam o cálculo.

Por esse motivo, a SNR decidiu de manter nas tabelas de características dos rolamentos o conceito comprovado de velocidade limite:

■ Velocidade limite SNR. Definição



É a velocidade máxima, em condições normais de funcionamento, para a qual o aquecimento interno do rolamento é considerado aceitável.















Essa velocidade limite, define de acordo com os conceitos clássicos, é indicada nas tabelas de características de produtos em função da utilização com graxa ou com óleo.

A velocidade máxima é um indicador chave para o usuário do rolamento. No entanto, se você chega a uma zona de valores próximos à indicada nas nossas tabelas, entre em contato com o seu representante SNR.

Se desejar, a SNR pode efetuar o cálculo conforme a norma ISO 15312 para lhe dar informações mais precisas.

Atrito e velocidade dos rolamentos (continuação)

A tabela a seguir permite comparar a aptidão dos diferentes tipos de rolamentos em velocidade.

N.Dm com graxa	Tipos de rolamentos	N.Dm com óleo	
	  Rolamentos especiais com lubrificação apropriada		Rolamentos especiais
1 100 000	 Rolamentos de esferas de alta precisão sem pré-carga	+ 55%	
650 000	 Rolamentos de esferas de alta precisão em pré-carga leve	+ 55%	
600 000			Rolamentos padrão
550 000	 Rolamentos com uma fileira de esferas de contato radial	+ 25%	
500 000	 Rolamento autocompensador de esferas	+ 20%	
450 000	 Rolamentos de rolos cilíndricos	+ 25%	
400 000	 Rolamentos com uma fileira de esferas de contato oblíquo	+ 30%	
350 000	 Rolamentos com duas fileiras de esferas de contato radial	+ 30%	
	 Rolamentos com duas fileiras de esferas de contato oblíquo	+ 40%	
300 000	 Rolamentos autocompensadores de rolos	+ 35%	
	 Rolamentos de rolos cônicos	+ 35%	
250 000	 Batentes autocompensadores de rolos (somente com óleo)		
200 000		+ 40%	
150 000	 Batente de esferas		

Fixação e jogo dos rolamentos

Características dos rolamentos	90
■ Fixação radial	90
■ Fixação axial	91
<i>Posicionamento sobre um único mancal</i>	91
<i>Posicionamento sobre dois mancais</i>	92
■ Procedimentos de fixação axial	93
Suportes dos rolamentos	96
■ Tolerâncias dos rolamentos	96
■ Tolerâncias dos suportes de eixo e alojamento	97
■ Ajustes recomendados	98
■ Valor das tolerâncias e ajustes	100
■ Geometria e estado da superfície dos suportes dos eixos e alojamentos	106
Jogo radial dos rolamentos de contato radial	109
■ Jogo radial residual: definição, cálculo	109
<i>Taxa de repercussão do aperto sobre o jogo</i>	109
<i>Jogo residual após a montagem: J_{rm}</i>	110
<i>Escolha do jogo interno em função dos ajustes eixo e alojamento</i>	112
<i>Cálculo do jogo residual em funcionamento</i>	112
Jogo axial dos rolamentos de contato angular	115
■ Pré-carga axial	115
<i>Afundamento axial e pré-carga</i>	115
<i>Determinação da pré-carga</i>	116
<i>Regulagem</i>	117
■ Influência da temperatura sobre o jogo axial dos rolamentos	117
<i>Modificações do jogo na montagem</i>	117
<i>Cálculo teórico da variação do jogo axial de uma montagem</i>	118

Fixação e jogo dos rolamentos

Fixação radial

Os anéis de rolamento devem ser ligados aos elementos da montagem (eixo e alojamento) de tal modo que eles se tornem uma parte integrante dos mesmos. O modo de ligação deverá impedir qualquer movimento relativo dos anéis sobre os seus apoios sob a ação de cargas radiais e axiais, respeitando a precisão do rolamento, o seu jogo de funcionamento, os seus limites de carregamento, velocidade e temperatura...

Sob a ação da carga radial, um dos dois anéis de um rolamento em rotação é "laminado" entre os corpos rolantes e o seu suporte, e tende a girar em torno do suporte. Esse deslocamento relativo deve ser impedido para evitar qualquer desgaste do suporte (dureza do rolamento 62 HRC).

■ Regra geral

O anel que gira com relação à direção da carga deve ser montado com um ajuste apertado sobre o seu suporte.

	Análise da rotação (frequência dos casos)		Princípio de fixação
Carga fixa com relação ao anel exterior	<p>Alojamento e carga fixos (95 %)</p> <p>Anel interior rotativo</p>	<p>Alojamento e carga rotativos (0,05 %)</p> <p>Anel interior fixo</p>	Anel interior apertado sobre o eixo
	<p>Eixo e carga fixos (3 %)</p> <p>Anel exterior rotativo</p>	<p>Eixo e carga rotativos (1,5 %)</p> <p>Anel exterior fixo</p>	
Carga fixa com relação ao anel interior			Anel exterior apertado no seu alojamento

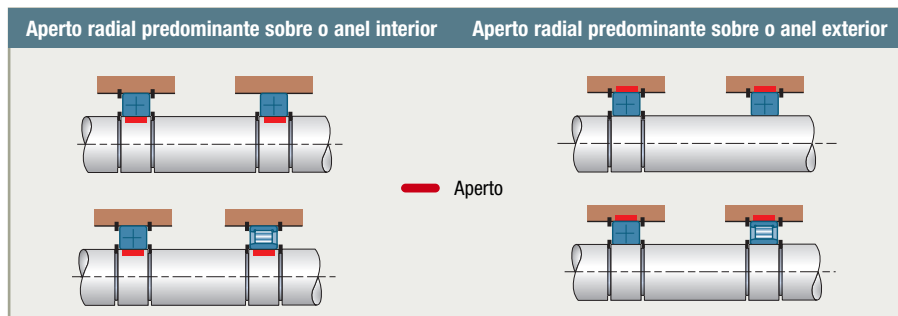
A imobilização dos anéis de rolamento é feita geralmente por aperto. Existem outros modos de fixação: bucha de aperto (ver pág. 139), excêntrico ou parafuso de pressão sobre anel interior, colagem... Os ajustes dos suportes são escolhidos na norma ISO 286 em função dos critérios de funcionamento dos rolamentos.

Fixação axial

Os rolamentos garantem o posicionamento axial da parte rotativa de um órgão com relação à parte fixa.

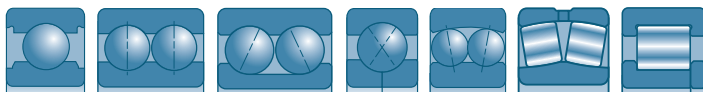
→ Posicionamento sobre um único mancal

■ Fixar um mancal impõe que o outro mancal esteja livre para se posicionar axialmente sem restrição.



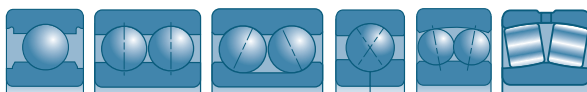
Mancal fixo F ▶ o posicionamento do rolamento deve ser feito por fixação axial do anel interior e do anel exterior

▶ tipos de rolamentos possíveis



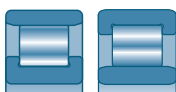
Mancal livre L ▶ somente o anel montado apertado é imobilizado axialmente, o outro é livre

▶ tipos de rolamentos possíveis



Mancal livre L1 ▶ para os rolamentos de rolos cilíndricos do tipo N ou NU, onde a mobilidade axial é garantida pelo próprio rolamento, os dois anéis do rolamento são fixados.

▶ tipos de rolamentos possíveis



■ Mancal fixo com dois rolamentos

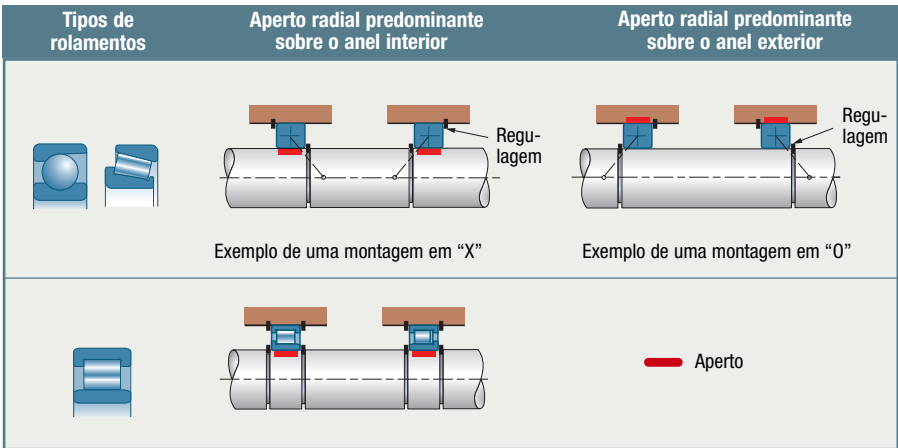
Em função do caderno de encargos da montagem, o mancal fixo pode ser constituído de dois rolamentos associados.

Fixação e jogo dos rolamentos (continuação)

→ Posicionamento sobre dois mancais

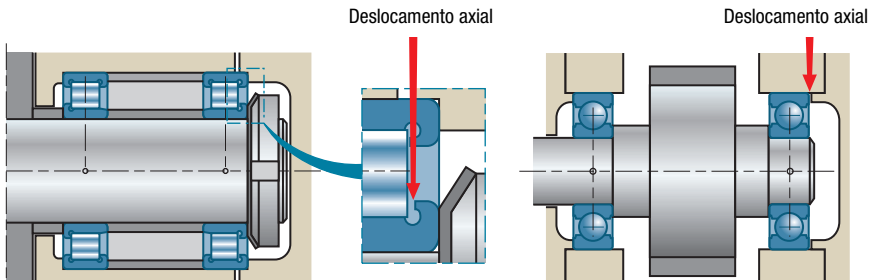
■ O princípio dessa montagem é de limitar o deslocamento axial do eixo por um mancal num sentido de impulso e pelo outro mancal no sentido de impulso oposto.

Isso supõe que um dos anéis dos rolamentos seja livre de se deslocar axialmente sobre o seu suporte para permitir a montagem. O deslocamento axial de funcionamento depende então da regulagem axial efetuada sobre a posição relativa dos anéis interiores com relação aos anéis exteriores.



■ Rolamentos de contato radial

Esse tipo de montagem pode ser empregado com os diversos tipos de rolamentos de contato radial: rolamentos de esferas, de rolos cilíndricos, autocompensadores. Um deslocamento axial mínimo deve ser respeitado, variável conforme os tipos de montagem..

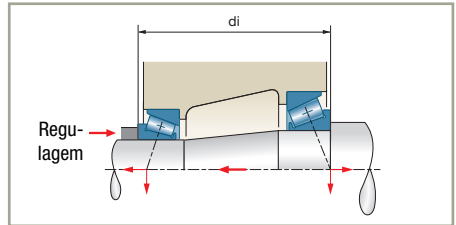


■ Rolamentos de contato angular

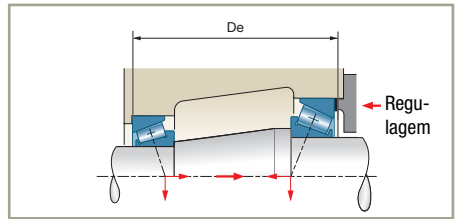
Os rolamentos de contato angular obtêm a sua rigidez através da montagem. Eles exigem uma regulagem que garante o posicionamento relativo e o jogo de funcionamento.

Dois tipos de montagem são possíveis:

Montagem em 0: os pontos de aplicação das cargas encontram-se no exterior dos mancais.



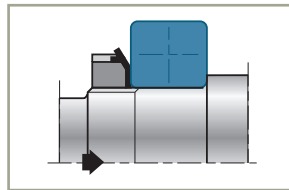
Montagem em X: os pontos de aplicação das cargas encontram-se entre os mancais.



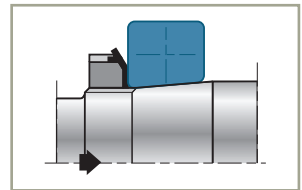
Procedimentos de fixação axial

■ Anel interior

Porca e arruela

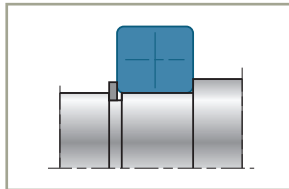


Suporte cilíndrico.
Aperto contra ressalto.

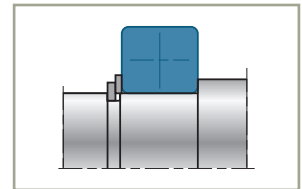


Suporte cônico, logo rolamento de furo cônico.
Sentido preferencial de impulso axial (→).

Segmento de bloqueio



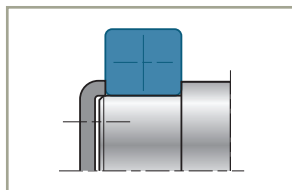
Montagem simples, rápida e pouco obstrutiva.



Necessidade de pôr uma arruela de apoio entre o anel interior e segmento, no caso de grande carga axial.

Anel de bloqueio

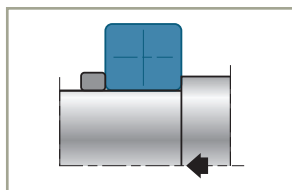
Reservado às extremidades de eixos.



Anel de pressão

Sentido preferencial de impulso axial (→).

A desmontagem do rolamento impõe a destruição do anel.

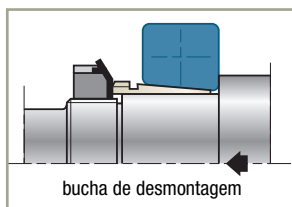
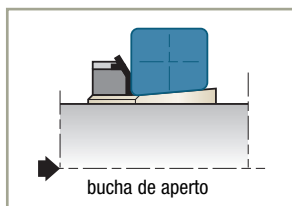


Bucha

Sentido preferencial de impulso axial (→).

Não necessita nenhuma usinagem precisa do eixo.

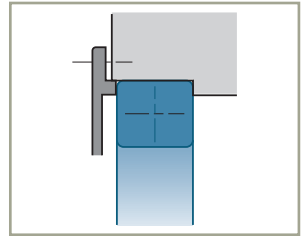
Reservado aos rolamentos autocompensadores sobre rolos.



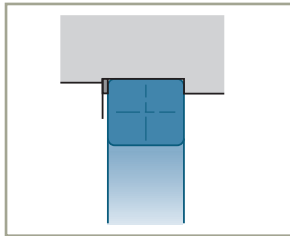
■ Anel exterior

Tampa

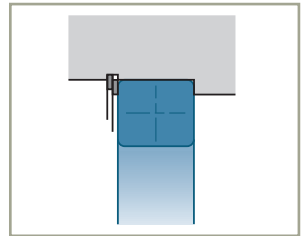
Jogo necessário entre tampa e face do cárter.



Segmento de bloqueio



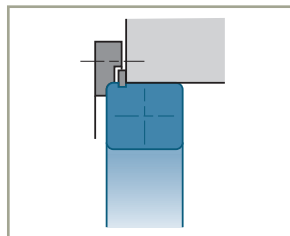
Montagem simples, rápida e pouco obstrutiva.



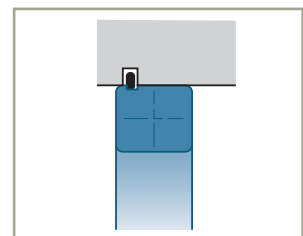
Necessidade de pôr uma arruela de apoio entre o anel exterior e segmento, no caso de carga axial importante.

Nota: o segmento de bloqueio (com ou sem arruela de apoio) pode substituir um ressalto.

Segmento de bloqueio incorporado ao rolamento (rolamento tipo NR)



Jogo necessário entre a cabeça e a face do cárter.



No caso particular de cárter bipartido, o segmento pode ser montado "entre couro e carne".

Suportes dos rolamentos

Tolerâncias dos rolamentos

Sob a ação da carga radial, um dos dois anéis do rolamento em rotação tende a girar. Para evitar qualquer desgaste do suporte, esse deslocamento deve ser impedido por um ajuste apropriado. Para o outro anel, escolhe-se um ajuste que permita um deslocamento axial sobre o suporte (regulagem, dilatação).

■ Tolerâncias dos rolamentos de precisão corrente

Anel interior

Desvio com relação ao furo nominal

Anel exterior

Desvio com relação ao diâmetro nominal

Furo d	Todos os rolamentos exceto rolamentos de rolos cônicos Δd_{mp} (μm)		Rolamentos de rolos cônicos Δd_{mp} (μm)	
	sup.	inf.	sup.	inf.
2,5 <d≤ 10	0	-8	sup.	inf.
10 <d≤ 18	0	-8	0	-12
18 <d≤ 30	0	-10	0	-12
30 <d≤ 50	0	-12	0	-12
50 <d≤ 80	0	-15	0	-15
80 <d≤ 120	0	-20	0	-20
120 <d≤ 180	0	-25	0	-25
180 <d≤ 250	0	-30	0	-30
250 <d≤ 315	0	-35	0	-35
315 <d≤ 400	0	-40	0	-40

Diâmetro externo D	Todos os rolamentos exceto rolamentos de rolos cônicos ΔD_{mp} (μm)		Rolamentos de rolos cônicos ΔD_{mp} (μm)	
	sup.	inf.	sup.	inf.
6 <D≤ 18	0	-8	sup.	inf.
18 <D≤ 30	0	-9	0	-12
30 <D≤ 50	0	-11	0	-14
50 <D≤ 80	0	-13	0	-16
80 <D≤ 120	0	-15	0	-18
120 <D≤ 150	0	-18	0	-20
150 <D≤ 180	0	-25	0	-25
180 <D≤ 250	0	-30	0	-30
250 <D≤ 315	0	-35	0	-35
315 <D≤ 400	0	-40	0	-40
400 <D≤ 500	0	-45	0	-45
500 <D≤ 630	0	-50	0	-50

Outras classes de precisão, ver pág. 23.

Tolerâncias dos suportes de eixo e alojamento

Os eixos são geralmente usinados dentro das tolerâncias de qualidade 6 ou às vezes 5. Os alojamentos, mais difíceis de usinar, são usinados geralmente dentro tolerâncias de qualidade 7 ou às vezes 6.

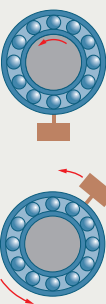
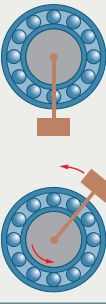
■ Valores das tolerâncias fundamentais (extraído da Norma ISO 286).

Diâmetro mm	Qualidade		
	5	6	7
>3 a 6	5	8	12
>6 a 10	6	9	15
>10 a 18	8	11	18
>18 a 30	9	13	21
>30 a 50	11	16	25
>50 a 80	13	19	30
>80 a 120	15	22	35
>120 a 180	18	25	40
>180 a 250	20	29	46
>250 a 315	23	32	52
>315 a 400	25	36	57
>400 a 500	27	40	63

Em certos casos, dentro do intervalo de tolerância escolhido, os defeitos de forma e de conicidade não são aceitáveis, porque são nocivos ao bom funcionamento do rolamento. Convém manter para eles um intervalo de tolerância mais reduzido.

Suportes dos rolamentos (continuação)

Ajustes recomendados

Análise da rotação	Princípio de fixação	Eixo			Alojamento		
		Aplicações	Ajustes recomendados	Exemplos	Aplicações	Ajustes recomendados	Exemplos
<p>A carga gira com relação ao anel interior</p> 	Anel interior apertado sobre o eixo	Cargas normais $P < C / 5$	j6 / k6	Motores elétricos, pinos de máquinas-ferramentas, bombas, ventiladores, redutores de velocidade	Caso geral	H7 / J7	Motores elétricos de potência média, polias, pinos de máquinas-ferramentas, transmissões
		Cargas elevadas $P > C / 5$	m6 / p6	Motores de tração, grandes redutores de velocidade, compressores	Anel livre sobre o seu suporte	G7 / H7	Deslocamento axial exigido (dilatação ou regulagem)
<p>A carga gira com relação ao anel exterior</p> 	Anel exterior apertado no alojamento	Caso geral	g6 / h6	Polias falsas, rolos tensores, rodas	Cargas normais $P < C / 5$	M7 / N7	Polias falsas, rolos tensores, rodas
		Anel livre sobre o seu suporte	f6 / g6	Deslocamento axial exigido (dilatação ou regulagem)	Cargas muito fortes, cargas fortes com choques $P > C / 5$	N7 / P7	Material ferroviário, grandes rolamentos de rolos
Outros casos		Cargas puramente axiais	h6 / j6	Rolamentos e batentes	Cargas puramente axiais	G7 / H7	Rolamentos e batentes
		Buchas de aperto	h9	Transmissões, material agrícola			

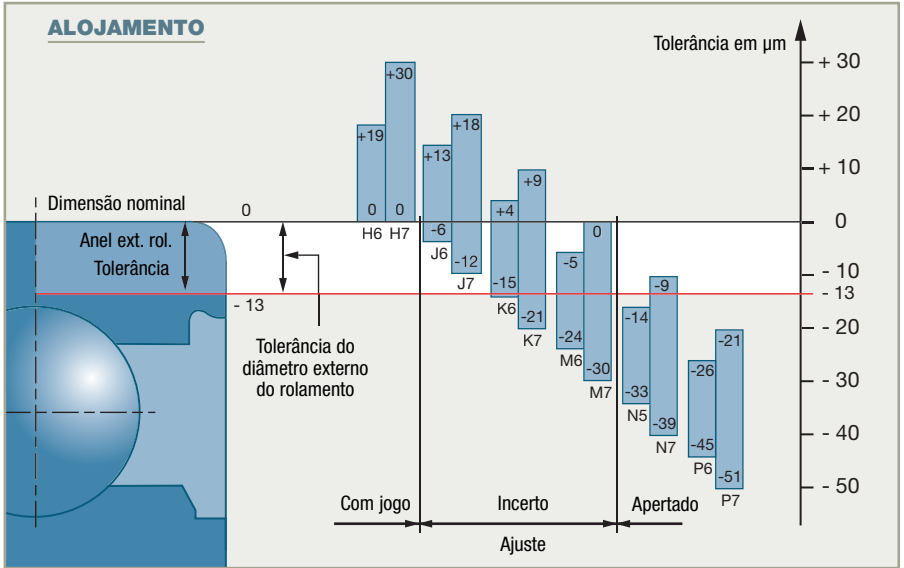
Escolhas diferentes podem ser feitas para levar em conta diversos fatores de construção e de funcionamento: por exemplo, em uma montagem submetida a vibrações e choques, é necessário visar ajustes mais apertados.

Além disso, a natureza da montagem e o procedimento de instalação podem exigir ajustes diferentes. Por exemplo, nos alojamentos em liga leve, adota-se geralmente um ajuste mais apertado que os definidos normalmente, a fim de compensar o diferencial de dilatação.

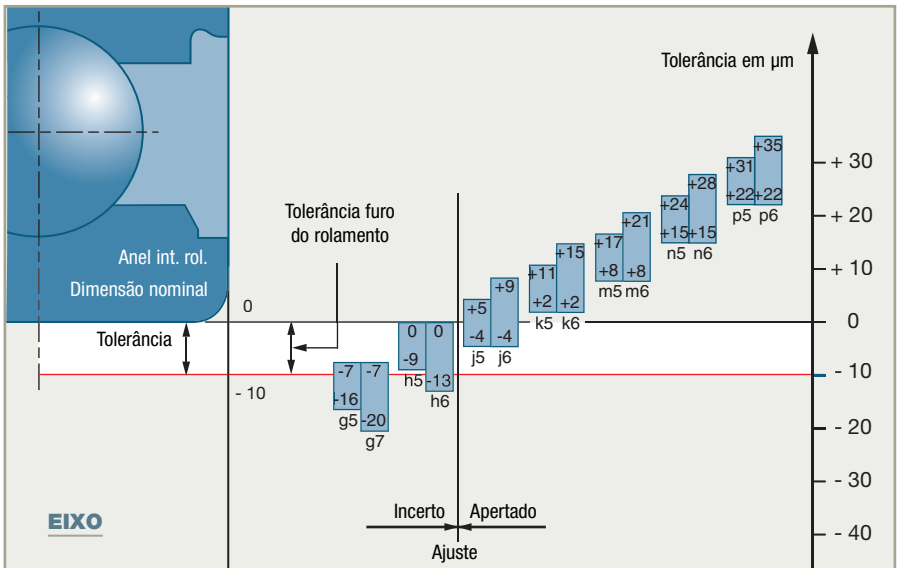
As tabelas a seguir ilustram os ajustes mais freqüentemente utilizados na montagem dos rolamentos.

Exemplo para um rolamento de esferas SNR 6305 (25x62x17)

■ Ajuste rolamento / alojamento



■ Ajuste eixo / rolamento



Suportes dos rolamentos (continuação)

Valor das tolerâncias e ajustes

As tabelas das páginas seguintes indicam:

- a tolerância (em μm) sobre o furo ou o diâmetro exterior do rolamento (norma ISO 492)
- a tolerância (em μm) do diâmetro do suporte em função do ajuste escolhido (norma ISO 286)
- as diferenças (em μm) entre os diâmetros respectivos do rolamento e o seu suporte:
 - valores teóricos calculados a partir dos valores extremos das tolerâncias dos rolamentos e suportes
 - valores médios
 - valores prováveis calculados de acordo com a lei de Gauss (com uma probabilidade de 99,7%) segundo a fórmula:

$$\text{Tol. provável} = [(\text{Tol. rolamento})^2 + (\text{Tol. suporte})^2]^{1/2}$$

Essas tabelas referem-se a todos os tipos de rolamentos, exceto os rolamentos de rolos cônicos. Para esses, utilizar o mesmo procedimento de cálculo a partir das suas tolerâncias específicas.



Na prática, considera-se geralmente apenas a tolerância provável (sendo os riscos de erro limitados a 0,3%) para determinar um valor realista da tolerância do jogo residual de um rolamento após a montagem.

■ Exemplo

Rolamento SNR 6305 (furo 25 mm).

Ajuste sobre o eixo k5.

	Tolerância		Valor médio	Intervalo de tolerância
	mín	máx		
Furo do rolamento	-10	0	-5	10
Tolerância do eixo	+2	+11	+6,5	9

- aperto teórico médio = $-(\text{médio eixo} - \text{médio rolamento}) = -[6,5 - (-5)] = -11,5$
- aperto teórico máx = $-(\text{máx eixo} - \text{mín rolamento}) = -[11 - (-10)] = -21$
- aperto teórico mín = $-(\text{mín eixo} - \text{máx rolamento}) = -(2 - 0) = -2$
- tolerância provável = $[(\text{Intervalo Tol. rolamento})^2 + (\text{Intervalo Tol. eixo})^2]^{1/2}$
= $(10^2 + 9^2)^{1/2} = 13$
- aperto provável máx = aperto teórico médio - tolerância provável /2
= $-11,5 - 6,5 = -18$
- aperto provável mín = aperto teórico médio + tolerância provável /2
= $-11,5 + 6,5 = -5$



Fixação e jogo dos rolamentos

Ajustes dos rolamentos classe Normal sobre os eixos (todos os rolamentos exceto rolamentos de rolos cônicos)

EIXO												
Diâmetro nominal do eixo (mm)	Tolerância do furo do rolamento (µm)	Ajustes	f5	f6	g5	g6	h5	h6	j5	j6		
3 <d< 6	-8 0	Tolerância do eixo em µm	-15 -10	-18 -10	-9 -4	-12 -4	-5 0	-8 0	1 +4	-1 +7		
		Média	+8,5	+10	-2,5	+4	-1,5	0	-1	-5,5		
		Diferença provável dos diâmetros	+13 +4	+15,5 +4,5	+7 -2	+9,5 -1,5	+3 -6	+5,5 -5,5	-1 -10	-1,5 -12,5		
6 <d< 10	-8 0	Tolerância do eixo em µm	-19 -13	-22 -13	-11 -5	-14 -5	-6 0	-9 0	-2 +4	-2 +7		
		Média	+12	+13,5	+4	+5,5	-1	+0,5	0 -5	-6,5		
		Diferença provável dos diâmetros	+17 +7	+19,5 +7,5	+9 -1	+11,5 -0,5	+4 -6	+6,5 -5,5	0 -10	-0,5 -12,5		
10 <d< 18	-8 0	Tolerância do eixo em µm	-24 -16	-27 -16	-14 -6	-17 -6	-8 0	-11 0	-3 +5	-3 +8		
		Média	+16	+17,5	+6	+7,5	-8	+1,5	0 -5	-6,5		
		Diferença provável dos diâmetros	+21,5+10,5	+24,5+10,5	+11,5+0,5	+14,5+0,5	+5,5-5,5	+8,5-5,5	+0,5-10,5	+0,5-13,5		
18 <d< 30	-10 0	Tolerância do eixo em µm	-29 -20	-33 -20	-16 -7	-20 -7	-9 0	-13 0	-4 +5	-4 +9		
		Média	+19,5	+21,5	+6,5	+8,5	-0,5	+1,5	-5,5	-7,5		
		Diferença provável dos diâmetros	+26 +13	+30 +13	+13 0	+17 0	+6 -7	+10 -7	+1 -12	+1 -16		
30 <d< 50	-12 0	Tolerância do eixo em µm	-36 -25	-41 -25	-20 -9	-25 -9	-11 0	-16 0	-5 +6	-5 +11		
		Média	+24,5	+27	+8,5	+11	-0,5	+2	-6,5	-9		
		Diferença provável dos diâmetros	+32,5+16,5	+37 +17	+16,5+0,5	+21 +1	+7,5-8,5	+12 -8	+1,5-14,5	+1 -9		
50 <d< 65	-15 0	Tolerância do eixo em µm	-43 -30	-49 -30	-23 -10	-29 -10	-13 0	-19 0	-7 +6	-7 +12		
		Média	+29	+32	+9	+12	-1	+2	-7	-10		
		Diferença provável dos diâmetros	+39 +19	+44 +20	+19 -1	+24 0	+9 -11	+14 -10	+3 -17	+2 -22		
65 <d< 80	-15 0	Tolerância do eixo em µm	-43 -30	-49 -30	-23 -10	-29 -10	-13 0	-19 0	-7 +6	-7 +12		
		Média	+29	+32	+9	+12	-1	+2	-7	-10		
		Diferença provável dos diâmetros	+39 +19	+44 +20	+19 -1	+24 0	+9 -11	+14 -10	+3 -17	+2 -22		
80 <d< 100	-20 0	Tolerância do eixo em µm	-51 -36	-58 -36	-27 -12	-34 -12	-15 0	-22 0	-9 +6	-9 +13		
		Média	+33,5	+37	+9,5	+13	-2,5	+1	-8,5	-12		
		Diferença provável dos diâmetros	+46 +21	+52 +22	+22 -3	+28 -2	+10 -15	+16 -14	+4 -21	+3 -27		
100 <d< 120	-20 0	Tolerância do eixo em µm	-51 -36	-58 -36	-27 -12	-34 -12	-15 0	-22 0	-9 +6	-9 +13		
		Média	+33,5	+37	+9,5	+13	-2,5	+1	-8,5	-12		
		Diferença provável dos diâmetros	+46 +21	+52 +22	+22 -3	+28 -2	+10 -15	+16 -14	+4 -21	+3 -27		
120 <d< 140	-25 0	Tolerância do eixo em µm	-61 -43	-68 -43	-32 -14	-39 -14	-18 0	-25 0	-11 +7	-11 +14		
		Média	+39,5	+43	+10,5	+14	-3,5	0	-10,5	-14		
		Diferença provável dos diâmetros	+55 +24	+60,5+25,5	+26 -5	+31,5 -3,5	+12 -19	+17,5-17,5	+5 -26	+4 -32		
140 <d< 160	-25 0	Tolerância do eixo em µm	-61 -43	-68 -43	-32 -14	-39 -14	-18 0	-25 0	-11 +7	-11 +14		
		Média	+39,5	+43	+10,5	+14	-3,5	0	-10,5	-14		
		Diferença provável dos diâmetros	+55 +24	+60,5+25,5	+26 -5	+31,5 -3,5	+12 -19	+17,5-17,5	+5 -26	+4 -32		
160 <d< 180	-25 0	Tolerância do eixo em µm	-61 -43	-68 -43	-32 -14	-39 -14	-18 0	-25 0	-11 +7	-11 +14		
		Média	+39,5	+43	+10,5	+14	-3,5	0	-10,5	-14		
		Diferença provável dos diâmetros	+55 +24	+60,5+25,5	+26 -5	+31,5 -3,5	+12 -19	+17,5-17,5	+5 -26	+4 -32		
180 <d< 200	-30 0	Tolerância do eixo em µm	-70 -50	-79 -50	-35 -15	-44 -15	-20 0	-29 0	-13 +7	-13 +16		
		Média	+45	+49,5	+10	+14,5	-5	-0,5	-12	-16,5		
		Diferença provável dos diâmetros	+63 +27	+70,5+28,5	+28 -8	+35,5 -6,5	+13 -23	+20,5-21,5	+6 -30	+4,5 -37,5		
200 <d< 225	-30 0	Tolerância do eixo em µm	-70 -50	-79 -50	-35 -15	-44 -15	-20 0	-29 0	-13 +7	-13 +16		
		Média	+45	+49,5	+10	+14,5	-5	-0,5	-12	-16,5		
		Diferença provável dos diâmetros	+63 +27	+70,5+28,5	+28 -8	+35,5 -6,5	+13 -23	+20,5-21,5	+6 -30	+4,5 -37,5		
225 <d< 250	-30 0	Tolerância do eixo em µm	-70 -50	-79 -50	-35 -15	-44 -15	-20 0	-29 0	-13 +7	-13 +16		
		Média	+45	+49,5	+10	+14,5	-5	-0,5	-12	-16,5		
		Diferença provável dos diâmetros	+63 +27	+70,5+28,5	+28 -8	+35,5 -6,5	+13 -23	+20,5-21,5	+6 -30	+4,5 -37,5		
250 <d< 280	-35 0	Tolerância do eixo em µm	-79 -56	-88 -56	-40 -17	-49 -17	-23 0	-32 0	-16 +7	-16 +16		
		Média	+50	+54,5	+11	+15,5	-6	-1,5	-8	-13		
		Diferença provável dos diâmetros	+71 +29	+78 +31	+32 -10	+39 -8	+15 -27	+22 -25	-8 -34	+6 -41		
280 <d< 315	-35 0	Tolerância do eixo em µm	-79 -56	-88 -56	-40 -17	-49 -17	-23 0	-32 0	-16 +7	-16 +16		
		Média	+50	+54,5	+11	+15,5	-6	-1,5	-8	-13		
		Diferença provável dos diâmetros	+71 +29	+78 +31	+32 -10	+39 -8	+15 -27	+22 -25	+8 -34	+6 -41		
315 <d< 400	-40 0	Tolerância do eixo em µm	-87 -62	-98 -62	-43 -18	-54 -18	-25 0	-36 0	-18 +7	-18 +18		
		Média	+57	+62,5	+13	+18,5	-5	-1,5	-12	-17,5		
		Diferença provável dos diâmetros	+79 +35	+88 +37	+35 -9	+44 -7	+17 -27	+26 -25	+10 -34	+8 -43		
400 <d< 500	-45 0	Tolerância do eixo em µm	-95 -68	-108 -68	-47 -20	-60 -20	-27 0	-40 0	-20 +7	-20 +20		
		Média	+64	+70,5	+16	+22,5	-4	+2,5	-11	-17,5		
		Diferença provável dos diâmetros	+86 +42	+97 +44	+38 -6	+49 -4	+18 -26	+29 -24	+11 -33	+9 -44		
500 <d< 630	-50 0	Tolerância do eixo em µm		-120 -76		-66 -22	-32 0	-44 0				
		Média		+80,5		+26,5	-1,5	+4,5				
		Diferença provável dos diâmetros		+109 +52		+35 -2	+22 -25	+33 -24				
630 <d< 800	-75 0	Tolerância do eixo em µm		-130 -80		-74 -24	-36 0	-50 0				
		Média		+87,5		+31,5	+0,5	+7,5				
		Diferença provável dos diâmetros		+118 +57		+62 +1	+26 -25	+38 -23				

1. Ajuste negativo significa "aperto" / Ajuste positivo significa "deslizamento" (jogo)
2. O valor dos ajustes prováveis é calculado supondo-se que a distribuição estatística das cotas dentro das tolerâncias siga uma lei "normal" (lei de Gauss)
3. Tolerâncias dos rolamentos e ajustes: valores em microns (µm)
4. ▼ Ajustes mais correntes

Ajustes dos rolamentos classe Normal sobre os eixos
(todos os rolamentos exceto rolamentos de rolos cônicos)

EIXO		Tolerância do furo do rolamento (µm)	Ajustes	k5	k6	m5	m6	n5	n6	p5	p6		
Diâmetro nominal do eixo (mm)													
3 <d<= 6	-8 0	Tolerância do eixo em µm	+1 +6	+1 +9	+4 +9	+4 +12	+8 +13	+8 +16	+12 +17	+12 +20			
		Média	-7,5 -12	-9 -10,5	-6 -10,5	-12 -14,5	-10 -19	-14,5 -21,5	-18 -23	-18 -23	-14,5-25,5		
		Diferença provável dos diâmetros	-3 -12	-3,5 -14,5	-6 -10,5	-6 -15	-10 -19	-10,5-21,5	-14,5 -21,5	-18 -23	-18 -23	-14,5-25,5	
6 <d<= 10	-8 0	Tolerância do eixo em µm	+1 +7	+1 +10	+8 +12	+6 +15	+10 +16	+10 +16	+10 +19	+15 +21	+15 +24		
		Média	-8 -9,5	-13 -14,5	-13 -14,5	-17 -18,5	-17 -18,5	-12,5-24,5	-17 -22	-12,5-24,5	-17 -22	-17,5-29,5	
		Diferença provável dos diâmetros	-3 -13	-3,5 -15,5	-8 -18	-8 -18,5	-12 -22	-12,5-24,5	-17 -22	-12,5-24,5	-17 -22	-17,5-29,5	
10 <d<= 18	-8 0	Tolerância do eixo em µm	+1 +9	+1 +12	+7 +15	+7 +18	+12 +20	+12 +20	+12 +23	+18 +26	+18 +29		
		Média	-9 -10,5	-15 -16,5	-15 -16,5	-20 -21,5	-20 -21,5	-14,5-25,5	-20 -21,5	-21,5 -26	-21,5 -27,5		
		Diferença provável dos diâmetros	-3,5 -14,5	-3,5 -17,5	-9,5 -20,5	-9,5 -20,5	-14,5-25,5	-14,5-25,5	-14,5-25,5	-20,5-31,5	-20,5-31,5	-20,5-34,5	
18 <d<= 30	-10 0	Tolerância do eixo em µm	+2 +11	+2 +15	+8 +17	+8 +21	+15 +24	+15 +24	+15 +28	+22 +31	+22 +35		
		Média	-11,5 -13,5	-17,5 -19,5	-17,5 -19,5	-24 -25	-24 -25	-18 -31	-24 -25	-26,5 -31,5	-31,5 -35	-31,5 -33,5	
		Diferença provável dos diâmetros	-5 -18	-5 -22	-11 -24	-11 -24	-18 -31	-18 -31	-18 -31	-25 -38	-25 -38	-25 -42	
30 <d<= 50	-12 0	Tolerância do eixo em µm	+2 +13	+2 +18	+9 +20	+9 +25	+17 +28	+17 +28	+17 +33	+26 +37	+26 +42		
		Média	-13,5 -16	-20,5 -22,5	-23 -23	-23 -23	-20,5-36,5	-21 -31	-21 -31	-28,5 -37,5	-37,5 -40		
		Diferença provável dos diâmetros	-5,5 -21,5	-6 -26	-12,5-28,5	-13 -33	-20,5-36,5	-21 -31	-21 -31	-29,5-45,5	-30 -50		
50 <d<= 65	-15 0	Tolerância do eixo em µm	+2 +15	+2 +21	+11 +24	+11 +30	+20 +33	+20 +33	+20 +39	+32 +45	+32 +51		
		Média	-16 -19	-25 -28	-28 -34	-34 -34	-24 -44	-25 -49	-25 -49	-36 -46	-46 -49		
		Diferença provável dos diâmetros	-6 -26	-7 -31	-15 -35	-16 -40	-24 -44	-25 -49	-25 -49	-36 -56	-37 -61		
65 <d<= 80	-15 0	Tolerância do eixo em µm	+2 +15	+2 +21	+11 +24	+11 +30	+20 +33	+20 +33	+20 +39	+32 +45	+32 +51		
		Média	-16 -19	-25 -28	-28 -34	-34 -34	-24 -44	-25 -49	-25 -49	-36 -46	-46 -49		
		Diferença provável dos diâmetros	-6 -26	-7 -31	-15 -35	-16 -40	-24 -44	-25 -49	-25 -49	-36 -56	-37 -61		
80 <d<= 100	-20 0	Tolerância do eixo em µm	+3 +18	+3 +25	+13 +28	+13 +35	+23 +38	+23 +38	+23 +45	+37 +52	+37 +59		
		Média	-20,5 -24	-30,5 -34	-40 -40,5	-44 -44	-29 -59	-29 -59	-42 -67	-43 -73			
		Diferença provável dos diâmetros	-8 -33	-9 -39	-18 -43	-19 -49	-28 -53	-29 -59	-42 -67	-43 -73			
100 <d<= 120	-20 0	Tolerância do eixo em µm	+3 +18	+3 +25	+13 +28	+13 +35	+23 +38	+23 +38	+23 +45	+37 +52	+37 +59		
		Média	-20,5 -24	-30,5 -34	-40 -40,5	-44 -44	-29 -59	-29 -59	-42 -67	-43 -73			
		Diferença provável dos diâmetros	-8 -33	-9 -39	-18 -43	-19 -49	-28 -53	-29 -59	-42 -67	-43 -73			
120 <d<= 140	-25 0	Tolerância do eixo em µm	+3 +21	+3 +28	+15 +33	+15 +40	+27 +45	+27 +45	+27 +52	+43 +61	+43 +68		
		Média	-24,5 -28	-36,5 -40	-48,5 -52	-52 -64,5	-49 -80	-49 -80	-50,5-85,5	-68 -68			
		Diferença provável dos diâmetros	-9 -40	-10,5-45,5	-21 -52	-22,5-57,5	-33 -64	-34,5-69,5	-49 -80	-50,5-85,5			
140 <d<= 160	-25 0	Tolerância do eixo em µm	+3 +21	+3 +28	+15 +33	+15 +40	+27 +45	+27 +45	+27 +52	+43 +61	+43 +68		
		Média	-24,5 -28	-36,5 -40	-48,5 -52	-52 -64,5	-49 -80	-49 -80	-50,5-85,5	-68 -68			
		Diferença provável dos diâmetros	-9 -40	-10,5-45,5	-21 -52	-22,5-57,5	-33 -64	-34,5-69,5	-49 -80	-50,5-85,5			
160 <d<= 180	-25 0	Tolerância do eixo em µm	+3 +21	+3 +28	+15 +33	+15 +40	+27 +45	+27 +45	+27 +52	+43 +61	+43 +68		
		Média	-24,5 -28	-36,5 -40	-48,5 -52	-52 -64,5	-49 -80	-49 -80	-50,5-85,5	-68 -68			
		Diferença provável dos diâmetros	-9 -40	-10,5-45,5	-21 -52	-22,5-57,5	-33 -64	-34,5-69,5	-49 -80	-50,5-85,5			
180 <d<= 200	-30 0	Tolerância do eixo em µm	+4 +24	+4 +33	+17 +37	+17 +46	+31 +51	+31 +60	+31 +60	+50 +70	+50 +79		
		Média	-29 -33,5	-42 -46,5	-56 -56	-74 -74	-39,5-81,5	-57 -93	-57 -93	-58,5-100,5			
		Diferença provável dos diâmetros	-11 -47	-12,5-54,5	-24 -60	-25,5-67,5	-38 -74	-39,5-81,5	-57 -93	-58,5-100,5			
200 <d<= 225	-30 0	Tolerância do eixo em µm	+4 +24	+4 +33	+17 +37	+17 +46	+31 +51	+31 +60	+31 +60	+50 +70	+50 +79		
		Média	-29 -33,5	-42 -46,5	-56 -56	-74 -74	-39,5-81,5	-57 -93	-57 -93	-58,5-100,5			
		Diferença provável dos diâmetros	-11 -47	-12,5-54,5	-24 -60	-25,5-67,5	-38 -74	-39,5-81,5	-57 -93	-58,5-100,5			
225 <d<= 250	-30 0	Tolerância do eixo em µm	+4 +24	+4 +33	+17 +37	+17 +46	+31 +51	+31 +60	+31 +60	+50 +70	+50 +79		
		Média	-29 -33,5	-42 -46,5	-56 -56	-74 -74	-39,5-81,5	-57 -93	-57 -93	-58,5-100,5			
		Diferença provável dos diâmetros	-11 -47	-12,5-54,5	-24 -60	-25,5-67,5	-38 -74	-39,5-81,5	-57 -93	-58,5-100,5			
250 <d<= 280	-35 0	Tolerância do eixo em µm	+4 +27	+4 +36	+20 +43	+20 +52	+34 +57	+34 +66	+34 +66	+56 +79	+56 +88		
		Média	-33 -37,5	-49 -49	-53,5 -67	-63 -63	-42 -84	-44 -91	-64 -106	-89 -89,5			
		Diferença provável dos diâmetros	-12 -54	-14 -61	-28 -70	-30 -77	-42 -84	-44 -91	-64 -106	-89 -89,5			
280 <d<= 315	-35 0	Tolerância do eixo em µm	+4 +27	+4 +36	+20 +43	+20 +52	+34 +57	+34 +66	+34 +66	+56 +79	+56 +88		
		Média	-33 -37,5	-49 -49	-53,5 -67	-63 -63	-42 -84	-44 -91	-64 -106	-89 -89,5			
		Diferença provável dos diâmetros	-12 -54	-14 -61	-28 -70	-30 -77	-42 -84	-44 -91	-64 -106	-89 -89,5			
315 <d<= 400	-40 0	Tolerância do eixo em µm	+4 +29	+4 +40	+21 +46	+21 +57	+37 +62	+37 +73	+37 +73	+62 +87	+62 +98		
		Média	-34 -39,5	-51 -51	-56,5 -67	-67 -67	-42 -84	-44 -91	-64 -106	-92 -97,5			
		Diferença provável dos diâmetros	-12 -56	-14 -65	-29 -73	-31 -82	-45 -89	-47 -98	-70 -114	-72 -123			
400 <d<= 500	-45 0	Tolerância do eixo em µm	+5 +32	+5 +45	+23 +50	+23 +63	+40 +67	+40 +80	+40 +80	+68 +95	+68 +108		
		Média	-36 -42,5	-54 -54	-60,5 -71	-71 -71,5	-49 -93	-51 -104	-77 -99	-99 -105,5			
		Diferença provável dos diâmetros	-14 -58	-16 -69	-32 -76	-34 -87	-49 -93	-51 -104	-77 -99	-99 -105,5			
500 <d<= 630	-50 0	Tolerância do eixo em µm	0 +44			+26 +70		+44 +88		+78 +122			
		Média	-39,5 -68			-65,5 -94		-83,5 -112		-117,5 -146			
		Diferença provável dos diâmetros	-11 -68			-37 -94		-55 -112		-89 -146			
630 <d<= 800	-75 0	Tolerância do eixo em µm	0 +50			+30 +80		+50 +100		+88 +138			
		Média	-42,5 -73			-72,5 -103		-92,5 -123		-130,5 -161			
		Diferença provável dos diâmetros	-12 -73			-42 -103		-62 -123		-100 -161			

1. Ajuste negativo significa "aperto" / Ajuste positivo significa "deslizamento" (jogo)
2. O valor dos ajustes prováveis é calculado supondo-se que a distribuição estatística das cotas dentro das tolerâncias siga uma lei "normal" (lei de Gauss)
3. Los valores de los ajustes y ajustes: valores en microns (µm)
4. ▼ Ajustes mais correntes

Ajustes dos rolamentos classe Normal nos alojamentos (todos os rolamentos exceto rolamentos de rolos cônicos)

ALOJAMENTO												
Diâmetro nominal do alojamento (mm)	Tolerância do diâmetro ext. do rolamento (µm)	Ajustes	G6	G7	H6	H7	J6	J7	K6	K7		
10 <D> 18	-8 0	Tolerância de alojamento	+6 +17	+6 +24	0 +11	0 +18	-5 +6	+8 +10	-9 +2	-12 +6		
		Média	+15,5	+19	+9,5	+13	+4,5	+5	+0,5	+4,5		
		Diferença provável dos diâmetros	+22,5+8,5	+29 +9	+16,5+2,5	+23 +3	+11,5 -2,5	+15 -5	+7,5 -6,5	+11 -9		
18 <D> 30	-9 0	Tolerância de alojamento	+7 +20	+7 +28	0 +13	0 +21	-5 +8	-9 +12	-11 +2	-15 +6		
		Média	+18	+22	+11	+15	+6	+6	0	0		
		Diferença provável dos diâmetros	+26 +10	+33,5+10,5	+19 +3	+26,5+3,5	+14 -2	+17,5 -5,5	+8 -8	+11,5 -11,5		
30 <D> 50	-11 0	Tolerância de alojamento	+9 +25	+9 +34	0 +16	0 +25	-6 +10	-11 +14	-13 +3	-18 +7		
		Média	+22,5	+27	+13,5	+18	+7,5	+7	+0,5	0		
		Diferença provável dos diâmetros	+32 +13	+40,5+13,5	+23 +4	+31,5+4,5	+17 -2	+20,5 -6,5	+10 -9	+13,5 -13,5		
50 <D> 65	-13 0	Tolerância de alojamento	+10 +29	+10 +40	0 +19	0 +30	-6 +13	-12 +18	-15 +4	-21 +9		
		Média	+26	+31,5	+16	+21,5	+9,5	+9,5	+1	+0,5		
		Diferença provável dos diâmetros	+37,5+14,5	+48 +15	+27,5+4,5	+38 +5	+21,5 -1,5	+26 -7	+12,5 -10,5	+17 -16		
65 <D> 80	-13 0	Tolerância de alojamento	+10 +29	+10 +40	0 +19	0 +30	-6 +13	-12 +18	-15 +4	-21 +9		
		Média	+26	+31,5	+16	+21,5	+9,5	+9,5	+1	+0,5		
		Diferença provável dos diâmetros	+37,5+14,5	+48 +15	+27,5+4,5	+38 +5	+21,5 -1,5	+26 -7	+12,5 -10,5	+17 -16		
80 <D> 100	-15 0	Tolerância de alojamento	+12 +34	+12 +47	0 +22	0 +35	-6 +16	-13 +22	-18 +4	-25 +10		
		Média	+30,5	+37	+18,5	+25	+12,5	+12	+0,5	0		
		Diferença provável dos diâmetros	+44 +17	+56 +18	+32 +5	+44 +6	+26 -1	+31 -7	+14 -13	+19 -19		
100 <D> 120	-15 0	Tolerância de alojamento	+12 +34	+12 +47	0 +22	0 +35	-6 +16	-13 +22	-18 +4	-25 +10		
		Média	+30,5	+37	+18,5	+25	+12,5	+12	+0,5	0		
		Diferença provável dos diâmetros	+44 +17	+56 +18	+32 +5	+44 +6	+26 -1	+31 -7	+14 -13	+19 -19		
120 <D> 140	-18 0	Tolerância de alojamento	+14 +39	+14 +54	0 +25	0 +40	-7 +18	-14 +26	-21 +4	-28 +12		
		Média	+35,5	+43	+21,5	+29	+14,5	+15	+0,5	0		
		Diferença provável dos diâmetros	+51 +20	+65 +21	+37 +6	+51 +7	+30 -1	+37 -7	+16 -15	+23 -21		
140 <D> 150	-18 0	Tolerância de alojamento	+14 +39	+14 +54	0 +25	0 +40	-7 +18	-14 +26	-21 +4	-28 +12		
		Média	+35,5	+43	+21,5	+29	+14,5	+15	+0,5	0		
		Diferença provável dos diâmetros	+51 +20	+65 +21	+37 +6	+51 +7	+30 -1	+37 -7	+16 -15	+23 -21		
150 <D> 160	-25 0	Tolerância de alojamento	+14 +39	+14 +54	0 +25	0 +40	-7 +18	-14 +26	-21 +4	-28 +12		
		Média	+39	+46,5	+25	+32,5	+18	+18,5	+4	+4,5		
		Diferença provável dos diâmetros	+56,5+21,5	+70 +23	+42,5+7,5	+56 +9	+36,5+0,5	+42 -5	+21,5 -13,5	+28 -12		
160 <D> 180	-25 0	Tolerância de alojamento	+14 +39	+14 +54	0 +25	0 +40	-7 +18	-14 +26	-21 +4	-28 +12		
		Média	+39	+46,5	+25	+32,5	+18	+18,5	+4	+4,5		
		Diferença provável dos diâmetros	+56,5+21,5	+70 +23	+42,5+7,5	+56 +9	+36,5+0,5	+42 -5	+21,5 -13,5	+28 -12		
180 <D> 200	-30 0	Tolerância de alojamento	+15 +44	+15 +61	0 +29	0 +46	-7 +22	-16 +30	-24 +5	-33 +13		
		Média	+44,5	+53	+29,5	+38	+22,5	+22	+5,5	+5		
		Diferença provável dos diâmetros	+65,5+23,5	+80,5+25,5	+50,5+2,5	+65,5+10,5	+43,5 -1,5	+49,5 -5,5	+26,5 -15,5	+32,5 -22,5		
200 <D> 225	-30 0	Tolerância de alojamento	+15 +44	+15 +61	0 +29	0 +46	-7 +22	-16 +30	-24 +5	-33 +13		
		Média	+44,5	+53	+29,5	+38	+22,5	+22	+5,5	+5		
		Diferença provável dos diâmetros	+65,5+23,5	+80,5+25,5	+50,5+8,5	+65,5+10,5	+43,5+1,5	+49,5 -5,5	+26,5 -15,5	+32,5 -22,5		
225 <D> 250	-30 0	Tolerância de alojamento	+15 +44	+15 +61	0 +29	0 +46	-7 +22	-16 +30	-24 +5	-33 +13		
		Média	+44,5	+53	+29,5	+38	+22,5	+22	+5,5	+5		
		Diferença provável dos diâmetros	+65,5+23,5	+80,5+25,5	+50,5+8,5	+65,5+10,5	+43,5+1,5	+49,5 -5,5	+26,5 -15,5	+32,5 -22,5		
250 <D> 280	-35 0	Tolerância de alojamento	+17 +49	+17 +69	0 +32	0 +52	-7 +25	-16 +36	-27 +5	-36 +16		
		Média	+50,5	+60,5	+33,5	+43,5	+26,5	+27,5	+6,5	+7,5		
		Diferença provável dos diâmetros	+74 +27	+92 +29	+57 +10	+75 +12	+50 +3	+59 -4	+30 -17	+39 -24		
280 <D> 315	-35 0	Tolerância de alojamento	+17 +49	+17 +69	0 +32	0 +52	-7 +25	-16 +36	-27 +5	-36 +16		
		Média	+50,5	+60,5	+33,5	+43,5	+26,5	+27,5	+6,5	+7,5		
		Diferença provável dos diâmetros	+74 +27	+92 +29	+57 +10	+75 +12	+50 +3	+59 -4	+30 -17	+39 -24		
315 <D> 400	-40 0	Tolerância de alojamento	+18 +54	+18 +75	0 +36	0 +57	-7 +29	-18 +39	-29 +7	-40 +17		
		Média	+53,5	+64	+36,5	+46	+28,5	+28	+6,5	+6		
		Diferença provável dos diâmetros	+79 +28	+97 +31	+61 +10	+79 +13	+54 +3	+61 -5	+32 -19	+39 -27		
400 <D> 500	-45 0	Tolerância de alojamento	+20 +60	+20 +83	0 +40	0 +63	-7 +33	-20 +43	-32 +8	-45 +18		
		Média	+57,5	+69	+37,5	+49	+30,5	+24	+5,5	+4		
		Diferença provável dos diâmetros	+84 +31	+105 +33	+64 +11	+85 +13	+57 +4	+7 -35	+32 -21	+40 -32		
500 <D> 630	-50 0	Tolerância de alojamento	+22 +66	+22 +92	0 +44	0 +70			-44 -2	-70 0		
		Média	+61,5	+74,5	+39,5	+52,5			-4,5	-17,5		
		Diferença provável dos diâmetros	+90 +33	+114 +35	+68 +11	+92 +13			+24 -33	+22 -57		
630 <D> 800	-75 0	Tolerância de alojamento	+24 +74	+24 +104	0 +50	0 +80			-50 0	-80 0		
		Média	+66,5	+81,5	+42,5	+57,5			-7,5	-22,5		
		Diferença provável dos diâmetros	+97 +36	+125 +38	+73 +12	+101 +14			+23 -38	+21 -66		
800 <D> 1000	-100 0	Tolerância de alojamento	+26 +82	+26 +116	0 +56	0 +90			-56 0	-90 0		
		Média	+71,5	+88,5	+45,5	+62,5			-10,5	-27,5		
		Diferença provável dos diâmetros	+105 +38	+137 +40	+79 +12	+111 +14			+23 -44	+21 -76		

1. Ajuste negativo significa "aperto" / Ajuste positivo significa "deslizamento" (jogo)
2. O valor dos ajustes prováveis é calculado supondo-se que a distribuição estatística das cotas dentro das tolerâncias siga uma lei "normal" (lei de Gauss)
3. Tolerâncias dos rolamentos e ajustes: valores em microns (µm)
4. ▼ Ajustes mais correntes

■ Ajustes dos rolamentos classe Normal nos alojamentos (todos os rolamentos exceto rolamentos de rolos cônicos)

ALOJAMENTO												
Diâmetro nominal do eixo (mm)	Tolerância do diâmetro ext. do rolamento (µm)	Ajustes	M6	M7	N6	N7	P6	P7	R6	R7		
10 <D> 18	-8 0	Tolerância de alojamento	-15 -4	-18 0	-20 -9	-23 -5	-26 -15	-29 -11	-31 -20	-34 -21		
		Média	-5,5	-5	-10,5	-10	-16,5	-16	-21,5			
		Diferença provável dos diâmetros	+1,5 -12,5	+5 -15	-3,5 -17,5	0 -20	-9,5 -23,5	-6 -16	-26 -26	-14,5 -28,5	-11 -31	
18 <D> 30	-9 0	Tolerância de alojamento	-17 -4	-21 0	-24 -11	-28 -7	-31 -18	-35 -14	-37 -24	-41 -20		
		Média	-6	-6	-13	-13	-20	-20	-26			
		Diferença provável dos diâmetros	+2 -14	+5,5 -17,5	-5 -21	-1,5 -24,5	-12 -28	-8,5 -31,5	-18 -34	-14,5 -37,5	-11 -31	
30 <D> 50	-11 0	Tolerância de alojamento	-20 -4	-25 0	-28 -12	-33 -8	-37 -21	-42 -17	-45 -29	-50 -25		
		Média	-6,5	-7	-14,5	-15	-23,5	-24	-31,5			
		Diferença provável dos diâmetros	+3 -16	+6,5 -20,5	-5 -24	-1,5 -28,5	-14 -33	-10,5 -37,5	-22 -41	-18,5 -45,5		
50 <D> 65	-13 0	Tolerância de alojamento	-24 -5	-30 0	-33 -14	-39 -9	-45 -26	-51 -21	-54 -35	-60 -30		
		Média	-8	-8,5	-17	-17,5	-29	-29,5	-38			
		Diferença provável dos diâmetros	+3,5 -19,5	+8 -25	-5,5 -28,5	-1 -34	-17,5 -40,5	-13 -46	-26,5 -49,5	-22 -55		
65 <D> 80	-13 0	Tolerância de alojamento	-24 -5	-30 0	-33 -14	-39 -9	-45 -26	-51 -21	-56 -37	-62 -32		
		Média	-8	-8,5	-17	-17,5	-29	-29,5	-40			
		Diferença provável dos diâmetros	+3,5 -19,5	+8 -25	-5,5 -28,5	-1 -34	-17,5 -40,5	-13 -46	-28,5 -51,5	-24 -57		
80 <D> 100	-15 0	Tolerância de alojamento	-28 -6	-35 0	-38 -16	-45 -10	-52 -30	-59 -24	-66 -44	-73 -38		
		Média	-9,5	-10	-19,5	-20	-33,5	-34	-47,5			
		Diferença provável dos diâmetros	+4 -23	+9 -29	-6 -33	-1 -39	-20 -47	-15 -53	-34 -61	-29 -67		
100 <D> 120	-15 0	Tolerância de alojamento	-28 -6	-35 0	-38 -16	-45 -10	-52 -30	-59 -24	-66 -47	-76 -41		
		Média	-9,5	-10	-19,5	-20	-33,5	-34	-50,5			
		Diferença provável dos diâmetros	+4 -23	+9 -29	-6 -33	-1 -39	-20 -47	-15 -53	-37 -64	-32 -70		
120 <D> 140	-18 0	Tolerância de alojamento	-33 -8	-40 0	-45 -20	-52 -12	-61 -36	-68 -28	-81 -56	-88 -48		
		Média	-11,5	-11	-23,5	-23	-39,5	-39	-59,5			
		Diferença provável dos diâmetros	+4 -27	+11 -33	-8 -39	-1 -45	-24 -55	-17 -61	-44 -75	-37 -81		
140 <D> 150	-18 0	Tolerância de alojamento	-33 -8	-40 0	-45 -20	-52 -12	-61 -36	-68 -28	-83 -58	-90 -50		
		Média	-11,5	-11	-23,5	-23	-39,5	-39	-61,5			
		Diferença provável dos diâmetros	+4 -27	+11 -33	-8 -39	-1 -45	-24 -55	-17 -61	-46 -77	-39 -83		
150 <D> 160	-25 0	Tolerância de alojamento	-33 -8	-40 0	-45 -20	-52 -12	-61 -36	-68 -28	-83 -58	-90 -50		
		Média	-8	-7,5	-20	-19,5	-36	-36,5	-58			
		Diferença provável dos diâmetros	+9,5 -25,5	+16 -31	-2,5 -37,5	+4 -43	-18,5 -53,5	-13,5 -68,5	-40,5 -75,5	-34 -81		
160 <D> 180	-25 0	Tolerância de alojamento	-33 -8	-40 0	-45 -20	-52 -12	-61 -36	-68 -28	-86 -61	-93 -53		
		Média	-8	-7,5	-20	-19,5	-36	-35,5	-61			
		Diferença provável dos diâmetros	+9,5 -25,5	+16 -31	-2,5 -37,5	+4 -43	-18,5 -53,5	-12 -59	-43,5 -78,5	-37 -84		
180 <D> 200	-30 0	Tolerância de alojamento	-37 -8	-46 0	-51 -22	-60 -14	-70 -41	-79 -33	-97 -68	-106 -60		
		Média	-7,5	-8	-21,5	-22	-40,5	-41	-67,5			
		Diferença provável dos diâmetros	+13,5 -28,5	+19,5 -35,5	-0,5 -42,5	+5,5 -49,5	-19,5 -61,5	-13,5 -68,5	-46,5 -88,5	-40,5 -95,5		
200 <D> 225	-30 0	Tolerância de alojamento	-37 -8	-46 0	-51 -22	-60 -14	-70 -41	-79 -33	-100 -71	-109 -63		
		Média	-7,5	-8	-21,5	-22	-40,5	-41	-70,5			
		Diferença provável dos diâmetros	+13,5 -28,5	+19,5 -35,5	-0,5 -42,5	+5,5 -49,5	-19,5 -61,5	-13,5 -68,5	-49,5 -91,5	-43,5 -98,5		
225 <D> 250	-30 0	Tolerância de alojamento	-37 -8	-46 0	-51 -22	-60 -14	-70 -41	-79 -33	-104 -75	-113 -67		
		Média	-7,5	-8	-21,5	-22	-40,5	-41	-74,5			
		Diferença provável dos diâmetros	+13,5 -28,5	+19,5 -35,5	-0,5 -42,5	+5,5 -49,5	-19,5 -61,5	-13,5 -68,5	-53,5 -85,5	-47,5 -102,5		
250 <D> 280	-35 0	Tolerância de alojamento	-41 -9	-52 0	-57 -25	-66 -14	-79 -47	-88 -36	-117 -85	-126 -74		
		Média	-7,5	-8,5	-23,5	-22,5	-45,5	-44,5	-83,5			
		Diferença provável dos diâmetros	+16 -31	+23 -40	0 -47	+9 -54	-22 -69	-13 -76	-60 -107	-51 -114		
280 <D> 315	-35 0	Tolerância de alojamento	-41 -9	-52 0	-57 -25	-66 -14	-79 -47	-88 -36	-121 -89	-130 -78		
		Média	-7,5	-8,5	-23,5	-22,5	-45,5	-44,5	-87,5			
		Diferença provável dos diâmetros	+16 -31	+23 -40	0 -47	+9 -54	-22 -69	-13 -76	-64 -111	-55 -118		
315 <D> 400	-40 0	Tolerância de alojamento	-46 -10	-57 0	-62 -26	-73 -16	-87 -51	-98 -41				
		Média	-10,5	-11	-26,5	-27	-51,5	-51,5	-85			
		Diferença provável dos diâmetros	+15 -36	+22 -44	-1 -52	+6 -60	-26 -77	-19 -85				
400 <D> 500	-45 0	Tolerância de alojamento	-50 -10	-63 0	-67 -27	-80 -17	-95 -53	-108 -45				
		Média	-12,5	-14	-29,5	-31	-57,5	-57,5	-95			
		Diferença provável dos diâmetros	+14 -39	+22 -50	-3 -56	+5 -67	-31 -84	-23 -95				
500 <D> 630	-50 0	Tolerância de alojamento	-70 -26	-96 -26	-88 -44	-114 -44	-122 -78	-148 -78				
		Média	-30,5	-43,5	-48,5	-61,5	-82,5	-95,5				
		Diferença provável dos diâmetros	-2 -59	-4 -83	-20 -77	-22 -101	-54 -111	-56 -135				
630 <D> 800	-75 0	Tolerância de alojamento	-80 -30	-110 -30	-100 -50	-130 -50	-138 -88	-168 -88				
		Média	-37,5	-57,5	-72,5	-85,5	-110,5	-110,5				
		Diferença provável dos diâmetros	-7 -68	-9 -96	-27 -88	-29 -116	-65 -126	-67 -154				
800 <D> 1000	-100 0	Tolerância de alojamento	-90 -34	-124 -34	-112 -56	-146 -56	-156 -100	-190 -100				
		Média	-44,5	-61,5	-66,5	-83,5	-110,5	-110,5				
		Diferença provável dos diâmetros	-11 -78	-13 -110	-33 -100	-35 -132	-77 -144	-79 -176				

1. Ajuste negativo significa "aperto" / Ajuste positivo significa "deslizamento" (jogo)
2. O valor dos ajustes prováveis é calculado supondo-se que a distribuição estatística das cotas dentro das tolerâncias siga uma lei "normal" (lei de Gauss)
3. Tolerâncias dos rolamentos e ajustes: valores em microns (µm)
4. ▼ Ajustes mais correntes

Suportes dos rolamentos (continuação)

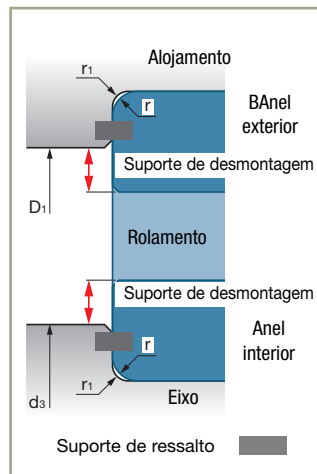
Geometria e estado da superfície dos suportes dos eixos e alojamentos

■ Diâmetros de ressalto e rebaixos de conexão

Uma superfície de contato entre o anel e o ressalto é necessária para garantir uma boa fixação do rolamento.

▶ A seção neste catálogo dos rolamentos-padrão especifica:

- os diâmetros de ressalto de eixo e de alojamento (D_1 et d_3)
- os rebaixos de conexão dos ressaltos (r_1)

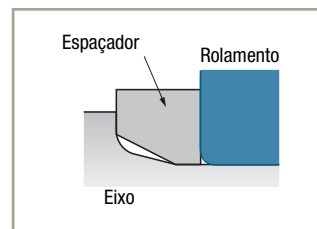
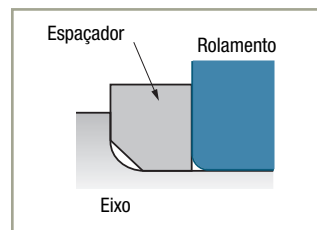


Se, por razões construtivas, as dimensões de suporte sobre o ressalto não podem ser respeitadas, prever um espaçador intermediário entre o anel do rolamento e esse ressalto.

Os rebaixas de conexão dos ressaltos com o suporte dos anéis devem ser inferiores ao chanfro do anel correspondente. Os seus valores são indicados no capítulo correspondente a cada família.

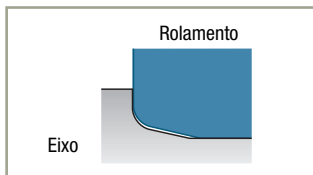
▶ Rebaixo superior ao chanfro do rolamento

Quando um eixo é submetido a tensões elevadas de flexão, é necessário dar ao ressalto um rebaixo superior ao do rolamento. Nesse caso, posiciona-se um espaçador chanfrado entre o ressalto do eixo e o anel do rolamento para lhe dar uma superfície de apoio suficiente.



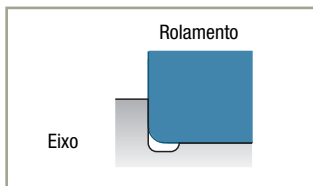
► Chanfro especial

Se o rolamento deve permanecer próximo ao ressalto, é possível realizar um chanfro especial sobre o seu anel interior.



► Supressão do rebaixo

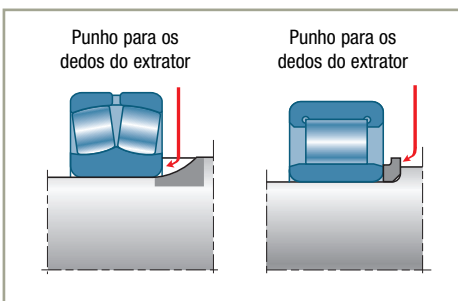
Se o perfil e a resistência do eixo não têm exigências particulares, é possível realizar uma gorja de descarga de rebolo que facilite a retificação dos suportes e garanta em todos os casos o melhor contato entre o anel e o ressalto.



■ Suporte de desmontagem

A desmontagem do rolamento efetua-se em geral com auxílio de um extrator, cujas garras se apóiam sobre a parte do anel que ultrapassa o ressalto. Ver pág. 140.

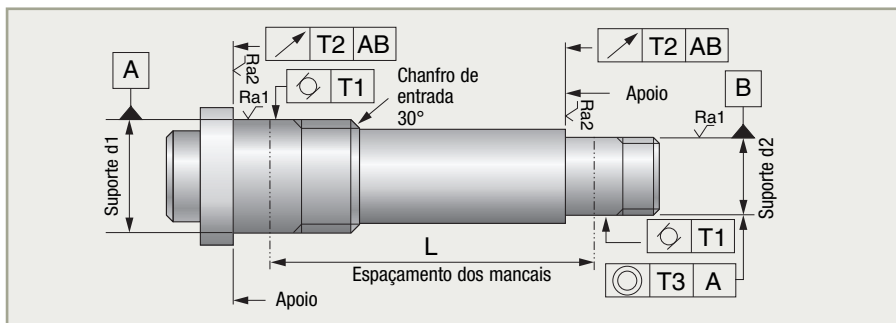
Se a montagem não permite um suporte de desmontagem suficiente, podem-se realizar entalhes no ressalto, ou posicionar uma arruela entre esse ressalto e o anel interior do rolamento.



Suportes dos rolamentos (continuação)

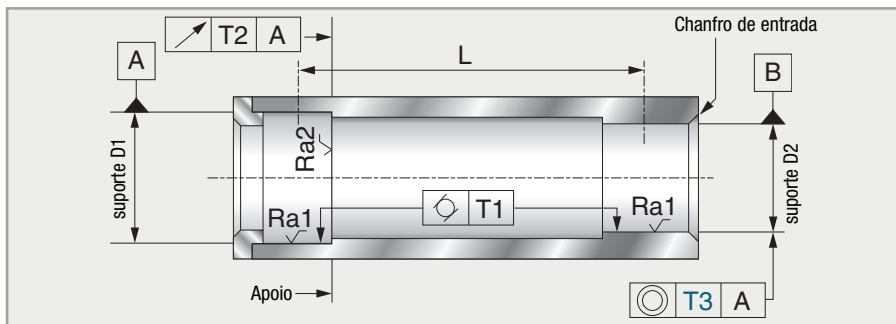
■ Tolerâncias e estados de superfície dos suportes de eixos e alojamentos

▶ Eixo



Diâmetro interno nominal do rolamento d (mm)	Tolerâncias em μm				
	T1	T2	T3	Ra1	Ra2
10 $<d \leq 18$	3	11	1,5 L L em mm	≤ 1	≤ 2
18 $<d \leq 30$	4	13			
30 $<d \leq 50$	4	16			
50 $<d \leq 80$	5	19			
80 $<d \leq 120$	6	22			
120 $<d$	8	25			

▶ Alojamento



Diâmetro interno nominal do rolamento d (mm)	Tolerâncias em μm				
	T1	T2	T3	Ra1	Ra2
18 $<d \leq 30$	6	21	2 L L em mm	≤ 2	≤ 4
30 $<d \leq 50$	7	25			
50 $<d \leq 80$	8	30			
80 $<d \leq 120$	10	35			
120 $<d$	12	40			

Jogo radial dos rolamentos de contato radial

Jogo radial residual: definição, cálculo

O jogo radial residual é o jogo radial do rolamento após a montagem ou em funcionamento. Ele depende do jogo radial interno, dos ajustes, da temperatura e das deformações.

O jogo residual deve ser suficiente para garantir um funcionamento correto do rolamento.

Para o cálculo do jogo residual, dá-se ao jogo um valor algébrico. Quando esse valor é positivo há jogo mecânico, e quando ele é negativo há pré-carga.

O jogo residual de funcionamento do rolamento influi diretamente sobre a sua vida útil e sobre os seus desempenhos gerais (precisão de rotação, ruído...). Ele deve então ser determinado do modo mais preciso possível.

→ Taxa de repercussão do aperto sobre o jogo

Quando se efetua uma montagem apertada de duas peças, cada uma apresenta uma variação de diâmetro após a montagem.

Ela é chamada de taxa de repercussão

$$t_i \text{ ou } t_e = \frac{\text{redução do jogo radial interno}}{\text{aperto sobre anel interior ou exterior}}$$

A taxa de repercussão é calculada segundo as fórmulas usuais da resistência dos materiais que consideram as dimensões das seções das peças presentes, o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson respectivos.

Propõem-se as seguintes taxas de repercussão aproximadas para os casos mais correntes:

Elemento do rolamento	Suporte	Taxa de repercussão
Anel interior	Eixo maciço	$t_i \approx 0,8$
	Eixo oco	$t_i \approx 0,6$
Anel exterior	Alojamento aço ou ferro fundido	$t_e \approx 0,7$
	Alojamento liga leve	$t_e \approx 0,5$

O cálculo preciso da redução de jogo pode ser efetuado pela SNR.

Jogo radial dos rolamentos de contato radial (cont.)

→ Jogo residual após a montagem: J_{rm}

$$J_{rm} = J_o - t_i \cdot S_i - t_e \cdot S_e$$

J_o	Jogo radial interno
S_i	Aperto do anel interior sobre o eixo
t_i	Taxa de repercussão anel interior/eixo
S_e	Aperto do anel exterior no seu alojamento
t_e	Taxa de repercussão anel exterior/alojamento

■ Ordem de grandeza do jogo radial residual médio a respeitar após a montagem (em mm)

Rolamentos de esferas	$J_{rm} = 10^{-3} d^{1/2}$
Rolamentos de rolos cilíndricos	$J_{rm} = 4 \cdot 10^{-3} d^{1/2}$
Rolamentos autocompensadores de esferas	$J_{rm} = 2 \cdot 10^{-3} d^{1/2}$
Rolamentos autocompensadores de rolos	$J_{rm} = 5 \cdot 10^{-3} d^{1/2}$

■ Exemplo de cálculo do jogo residual e da sua dispersão com auxílio das tabelas de ajustes, pág. 102.

Rolamento 6305 - furo 25 mm - diâmetro externo 62 mm

- Eixo maciço de aço: tolerância k5
- Alojamento em ferro fundido: tolerância N6

■ Jogo residual médio

As tabelas dos ajustes indicam:

	Mín	Médio	Máx
Tolerâncias eixo	+2		+11
Valor médio S_i teórico e provável		-11,5	
Jogo (+) ou aperto (-) provável	-5		-18

	Mín	Médio	Máx
Tolerâncias alojamento	-33		+14
Valor médio S_e teórico e provável		-17	
Jogo (+) ou aperto (-) provável	-5,5		-28,5

A tabela da página precedente define taxas de repercussão respectivas de $t_i = 0,8$ (eixo) e $t_e = 0,7$ (alojamento).

A redução de jogo média é:

$$R_{jm} = (t_i \cdot S_i) + (t_e \cdot S_e)$$

(válida somente se $S_i < 0$ e $S_e < 0$)

$$R_{jm} = (0,8 \times -11,5) + (0,7 \times -17) = -21\mu\text{m}$$

■ O valor mínimo do jogo inicial deve ser superior à redução de jogo média R_{jm}

A tabela dos jogos iniciais para esse tipo de rolamentos (pág. 156) mostra que um jogo da categoria 4 é necessário (23 a 41 μm ; valor médio 32 μm) para um jogo residual correto após a montagem do rolamento:

Jogo residual médio:

$$J_{rm} = 32 - 21 = 11 \mu\text{m}$$

A definição do rolamento será então **6305 J40 (C4)**

■ Dispersão do jogo residual após a montagem

Dispersão provável do aperto sobre o eixo (diferença dos valores extremos):

$$D_{pa} = 13 \mu\text{m}$$

Dispersão provável do aperto no alojamento (diferença dos valores extremos):

$$D_{pl} = 23 \mu\text{m}$$

Considerando as taxas de repercussão precedentes, as dispersões prováveis sobre o jogo radial são:

$$\begin{aligned} D_{pci} &= D_{pa} \cdot t_i = 13 \mu\text{m} \times 0,8 \\ &= 10,5 \mu\text{m} \text{ para} \\ &\quad \text{o anel interior} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_{pce} &= D_{pl} \cdot t_e = 23 \mu\text{m} \times 0,7 \\ &= 16 \mu\text{m} \text{ para} \\ &\quad \text{o anel exterior} \end{aligned}$$

Dispersão do jogo interno do rolamento:

$$D_{er} = 41 - 23 = 18 \mu\text{m}$$

Pela lei de probabilidades, a dispersão do jogo residual será:

$$\begin{aligned} \Delta J_r &= (D_{pci}^2 + D_{pce}^2 + D_{er}^2)^{1/2} \\ &= (10,5^2 + 16^2 + 18^2)^{1/2} = 26 \mu\text{m} \end{aligned}$$

O rolamento 6305 com um jogo de categoria 4 montado com os ajustes k5N6 tem um jogo de funcionamento de:

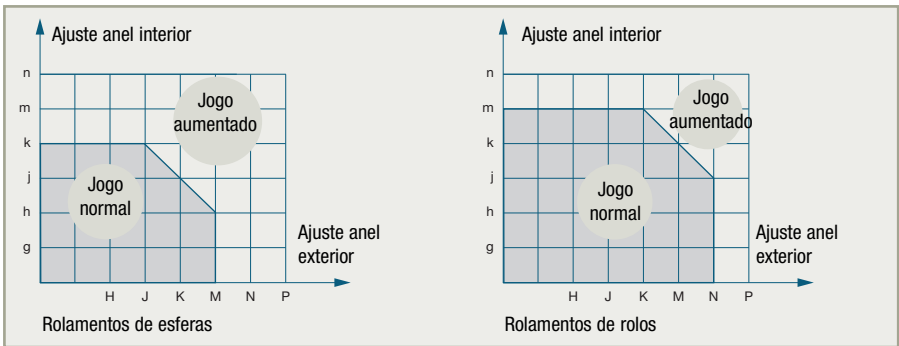
$$J_f = J_{rm} \pm D_{Jr}/2 = 11 \pm 13 \mu\text{m}$$

Jogo radial dos rolamentos de contato radial (cont.)

→ Escolha do jogo interno em função dos ajustes eixo e alojamento

O exemplo da página anterior mostra que ajustes apertados sobre o eixo e alojamento exigem um rolamento de jogo aumentado.

A tabela a seguir define os ajustes limites eixo e alojamento.



→ Cálculo do jogo residual em funcionamento

O jogo residual em funcionamento é igual ao jogo residual após a montagem, exceto se a temperatura de funcionamento provoca dilatações diferentes entre eixo e alojamento.

■ Materiais de coeficientes de dilatação diferentes

Rolamento montado num alojamento de liga leve.

A diferença dos diâmetros do rolamento e do alojamento devido ao diferencial de dilatação é:

$$\Delta D = (C_2 - C_1) D \cdot \Delta t = 8 \cdot 10^{-6} \cdot D \cdot \Delta t$$

com:

- Δt Temperatura de funcionamento de +20°C
- D Diâmetro externo do rolamento
- C1 Coeficiente de dilatação do aço = 12×10^{-6} mm/mm/°C
- C2 Coeficiente de dilatação do alojamento de liga leve = 20×10^{-6} mm/mm/°C

Essa variação de diâmetro aumenta o jogo do anel exterior do rolamento no seu alojamento e pode provocar a sua rotação. Deve-se compensar esse diferencial de dilatação por um ajuste mais apertado e utilizar um rolamento de jogo aumentado.

Exemplo

Escolha do ajuste do alojamento para um rolamento 6305 (D = 62 mm) montado em liga leve, cuja temperatura de funcionamento é 80 °C.

$$\Delta t = 60^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta D = 8 \cdot 10^{-6} \cdot 62 \cdot 60 = 0,030 \text{ mm}$$

Com um alojamento de tolerância J7, o diâmetro do alojamento é, em média, 10 µm maior do que o diâmetro do rolamento.

$$\text{A } 80^{\circ}\text{C, ele é de } 10 \mu\text{m} + \Delta D = 40 \mu\text{m}$$

Ver pág. 101.

Esse valor é elevado demais para garantir a boa integridade do rolamento no alojamento. Escolhe-se então uma tolerância de alojamento P7 que, com um aperto de 30 µm, compense o efeito da dilatação diferencial a 80 °C.

Na montagem, o aperto P7 do anel exterior vai provocar uma redução do jogo radial do rolamento igual a:

$$t_e \cdot S_e = 0,5 \cdot 29,5 = 15 \mu\text{m}$$

Se utilizar um eixo de tolerância k6, ou seja, um aperto médio de 13,5 µm do anel interior sobre o eixo, a redução do jogo radial devida na montagem do anel interior é:

$$t_i \cdot S_i = 0,8 \cdot 13,5 = 11 \mu\text{m}$$

A redução total do jogo do rolamento na montagem é:

$$R_{jm} = t_e \cdot S_e + t_i \cdot S_i = 15 + 11 = 26 \mu\text{m}$$

Escolhe-se então um rolamento 6305J40/C4 (categoria de jogo 4: jogo radial médio 32 µm) para evitar a anulação do jogo em funcionamento a uma temperatura normal.

Jogo radial dos rolamentos de contato radial (cont.)

■ Temperatura diferente entre eixo e alojamento

O eixo e o alojamento são de aço, mas a temperatura do eixo é mais elevada do que a do alojamento.

O diferencial de dilatação entre o anel interior e o anel exterior do rolamento vai reduzir o jogo radial pelo valor de:

$$\Delta J = C1 \times (D \cdot \Delta t_l - d \cdot \Delta t_a)$$

com:

- C1** Coeficiente de dilatação do aço
- D** Diâmetro externo do rolamento
- d** Furo do rolamento
- Δt_a** Diferença entre a temperatura em funcionamento do eixo e a temperatura ambiente fixada em 20 °C
- Δt_l** Diferença entre a temperatura em funcionamento do alojamento e a temperatura ambiente fixada em 20 °C

► Exemplo

Um rolamento 6305 (25 x 62) tem um jogo residual após a montagem a 20 °C J_{rm} de 10 μm .

Em funcionamento:

- a temperatura do eixo e do anel interior é 70 °C
- a temperatura do alojamento e do anel exterior é 50 °C

A redução de jogo radial do rolamento é:

$$\Delta J = 12 \cdot 10^{-6} \cdot ((62 \cdot 30) - (25 \cdot 50)) = 7 \mu\text{m}$$

O jogo radial residual de funcionamento é:

$$J_{rf} = J_{rm} - \Delta J = 10 \mu\text{m} - 7 \mu\text{m} = 3 \mu\text{m}$$

Recomenda-se nesse caso utilizar um rolamento de jogo aumentado Grupo 3.

Jogo radial dos rolamentos de contato angular

Pré-carga axial

A pré-carga é um esforço axial permanente aplicado aos rolamentos durante a montagem. Ela é obtida por afundamento do anel interior com relação ao anel exterior de cada rolamento a partir da posição de referência.

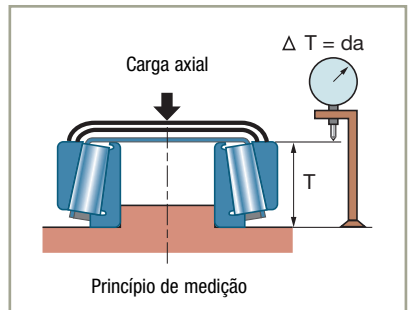
→ Afundamento axial e pré-carga

Sob carga, os contatos corpos rolantes/pistas sofrem deformações elásticas devidas às pressões de Hertz muito altas, provocando um deslocamento axial de um anel com relação ao outro. Uma curva dá o valor do deslocamento relativo dos dois anéis em função da carga axial.



Numa montagem de dois rolamentos em oposição, o afundamento de um rolamento tem como consequência um aumento do jogo do outro.

Para as montagens que exigem uma grande precisão de guia (fusos de máquinas-ferramentas, pinhões cônicos, sistemas oscilantes...), deve-se suprimir o jogo e ter uma rigidez ótima com uma pré-carga.



Jogo radial dos rolamentos de contato angular (cont.)

→ Determinação da pré-carga

Escolhe-se um valor da pré-carga P em função da carga axial média aplicada (A_m)

$$P = A_m / 3$$

O estudo de dois rolamentos pré-carregados é feito com auxílio de um diagrama de curvas de afundamento associadas.

Sem carga axial externa, o ponto de interseção (P) corresponde à pré-carga aplicada que cria sobre cada rolamento um afundamento respectivo ($d1$) e ($d2$), a aproximação total dos dois rolamentos sendo $p = d1 + d2$

Quando uma carga axial externa A é aplicada na montagem, cada rolamento segue a sua curva de afundamento. Um dos dois rolamentos sofre um afundamento suplementar (da) que diminui proporcionalmente ao afundamento do rolamento oposto.

Para encontrar os esforços $Fa1$ e $Fa2$ aplicados a cada rolamento, posiciona-se a carga axial A entre as duas curvas (pontos $M1$ e $M2$).

O equilíbrio axial do eixo é $Fa1 - Fa2 = A$

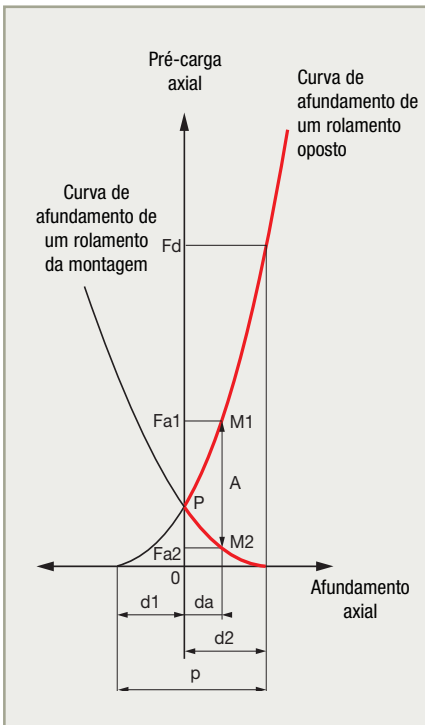
Se A ultrapassa o valor Fd (carga axial de descolamento), o rolamento oposto toma um jogo em funcionamento.

Observações:

O diagrama das curvas de afundamento associadas é modificado pelas cargas radiais eventuais aplicadas aos rolamentos.

Como toda pré-carga influi nas cargas resultantes aplicadas aos rolamentos, é necessário calcular os desempenhos desses últimos em função do valor de pré-carga. Para esses cálculos que consideram características de rigidez dos rolamentos, consultar a SNR.

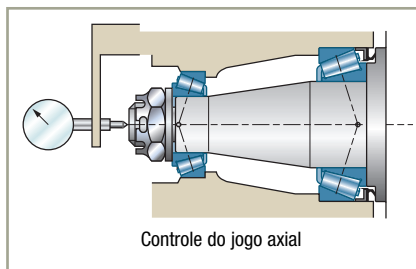
Uma montagem pré-carregada tem um torque de atrito superior a uma montagem com jogo. É necessário, portanto, estudar a sua lubrificação com o maior cuidado.



→ Regulagem

A regulagem permite dar a uma montagem o valor do jogo axial ou da pré-carga previamente determinado. Essa operação é realizada fazendo-se deslizar um anel (interior ou exterior) de um dos dois rolamentos da montagem. Esse anel deve assim ser montado sobre o seu suporte com um ajuste livre.

Se a montagem deve ter um jogo axial j_a , esse é controlado por meio de um comparador.



Se a montagem deve ser pré-carregada com um valor p , parte-se de uma regulagem desse valor com um jogo axial qualquer J_a e desloca-se o anel livre do rolamento do valor $J_a + p$. Essa operação é realizada geralmente pela porca de eixo ou pela modificação da espessura das cunhas de regulagem no alojamento. A tolerância admitida sobre uma regulagem pré-carregada é restrita (da ordem da metade da admitida para o jogo axial).

Influência da temperatura sobre o jogo axial dos rolamentos

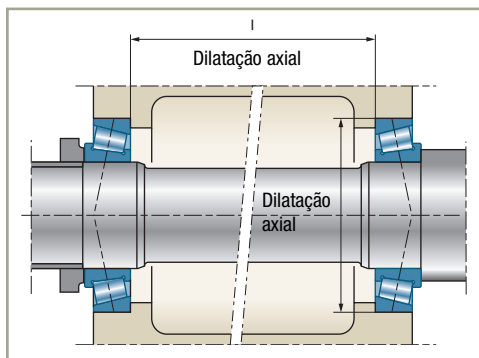
→ Modificações do jogo na montagem

O jogo ou pré-carga axial de um eixo montado sobre dois rolamentos de contato angular (de esferas ou de rolos cônicos) pode ser modificado pela temperatura de funcionamento.

A montagem ao lado esquematiza:

- uma variação do jogo axial da montagem devida à diferença de dilatação axial entre o alojamento e o eixo,
- uma modificação do aperto anel exterior / alojamento que provoca uma variação do jogo radial e, conseqüentemente, do jogo axial da montagem.

A modificação total do jogo axial da montagem é a soma algébrica dessas duas variações.



Numa montagem em O (caso da figura), as duas variações são de sentidos opostos e podem-se compensar. Ao contrário, numa montagem em X, essas duas variações ocorrem no mesmo sentido.

Jogo radial dos rolamentos de contato angular (cont.)

→ Cálculo teórico da variação do jogo axial de uma montagem

■ Variação devida à dilatação axial

$$\Delta Ja_1 = (l \cdot C_2 \cdot \Delta t) - (l \cdot C_1 \cdot \Delta t) = (C_2 - C_1) \cdot l \cdot \Delta t$$

com:

l Distância entre os rolamentos

C1 Coeficiente de dilatação do eixo

C2 Coeficiente de dilatação do alojamento

Δt Diferença entre a temperatura de funcionamento e a temperatura ambiente (fixada em 20 °C)

■ Variação devida à modificação do aperto anel exterior/alojamento

	Rolamento 1	Rolamento 2
Temperatura para a qual o aperto anel exterior/alojamento é anulado pela dilatação do alojamento	$\Delta t_{01} = S_1 / ((C_2 - C_1) \cdot D_1)$ D_1, D_2 Diâmetros externos dos rolamentos S_1, S_2 Aperto diametral dos rolamentos	$\Delta t_{02} = S_2 / ((C_2 - C_1) \cdot D_2)$
Variações de aperto com a temperatura	Se $\Delta t \leq \Delta t_{01}$: $\Delta S_1 = (C_2 - C_1) \cdot D_1 \cdot \Delta t$ Se $\Delta t > \Delta t_{01}$: $\Delta S_1 = S_1$	Se $\Delta t \leq \Delta t_{02}$: $\Delta S_2 = (C_2 - C_1) \cdot D_2 \cdot \Delta t$ Se $\Delta t > \Delta t_{02}$: $\Delta S_2 = S_2$
Variação do jogo axial devida à modificação do aperto anel exterior/alojamento	$\Delta Ja_2 = (K_1 \cdot te_1 \cdot \Delta S_1) + (K_2 \cdot te_2 \cdot \Delta S_2)$ te_1, te_2 : taxa de repercussão desse aperto sobre o jogo radial, pág. 109 K_1, K_2 : coeficientes de transformação do jogo radial em jogo axial $K_1 = Y_1 / 0,8$ Y_1, Y_2 ver pág. 59	$K_2 = Y_2 / 0,8$

■ Variação total do jogo axial da montagem

Montagem em arranjo X

$$\Delta Ja = \Delta Ja_2 + \Delta Ja_1$$

Montagem em arranjo O

$$\Delta Ja = \Delta Ja_2 - \Delta Ja_1$$

Esses cálculos permitem definir o jogo inicial de modo a obter em funcionamento os valores de jogo desejados.

Exemplo

Seja uma montagem em O de dois rolamentos de rolos cônicos 32 210 num alojamento em alumínio (ajuste P7); temperatura de funcionamento 80 °C:

$$\begin{aligned}
 l &= 240 \text{ mm} \\
 D_1 = D_2 &= 90 \text{ mm} \\
 C_2 - C_1 &= 8 \times 10^{-6} \text{ mm/mm/}^\circ\text{C} \\
 Y_1 = Y_2 &= 1,43 \\
 S_1 = S_2 &= 0,0335 \text{ valor médio} \\
 \Delta t &= 60^\circ\text{C} \\
 te_1 = te_2 &= 0,5 \text{ ver pág. 109}
 \end{aligned}$$

► Variação do jogo axial devida à dilatação axial ΔJa_1 $\Delta Ja_1 = 8 \cdot 10^{-6} \cdot 240 \cdot 60 = 0,114 \text{ mm}$

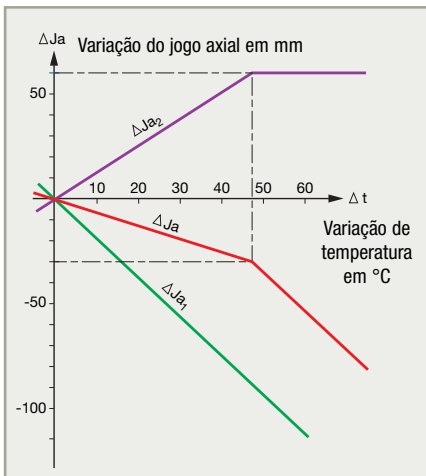
► Variação devida à modificação do aperto anel exterior/alojamento variação

	Rolamento 1	Rolamento 2
Temperatura para a qual o aperto anel exterior/alojamento é anulado pela dilatação do alojamento	$\Delta t_0_1 = \Delta t_0_2 = 0,0335 / (8 \cdot 10^{-6} \cdot 90) = 47^\circ\text{C}$	
Variações de aperto com a temperatura	$\Delta t > \Delta t_0_1 \text{ e } \Delta t_0_2$ $\Delta S_1 = \Delta S_2 = 0,0335$	
Variação do jogo axial devida à modificação do aperto anel exterior/alojamento	$\Delta Ja_2 = ((1,43 / 0,8) \cdot 0,5 \cdot 0,0335) + (1,78 \cdot 0,5 \cdot 0,0335) = 0,060$	

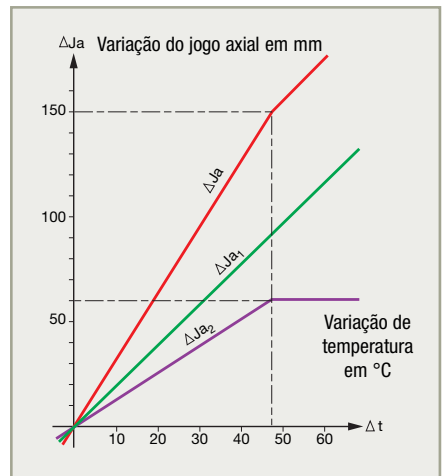
► Variação total do jogo axial da montagem $\Delta Ja = + 0,060 - 0,114 = -0,054$

A representação gráfica a seguir mostra a variação do jogo axial da montagem em função da temperatura de funcionamento nos dois casos de montagem, em X e em O.

Montagem em O



Montagem em X



Lubrificação

■ Generalidades	122
<i>Escolha do tipo de lubrificação</i>	122
Lubrificação com graxa	123
■ Características das graxas	123
■ Recomendações de engraxe	124
■ Escolha da graxa	125
■ Quantidade	128
Lubrificação com óleo	131
■ Sistemas de lubrificação	132
■ Quantidade de óleo	134

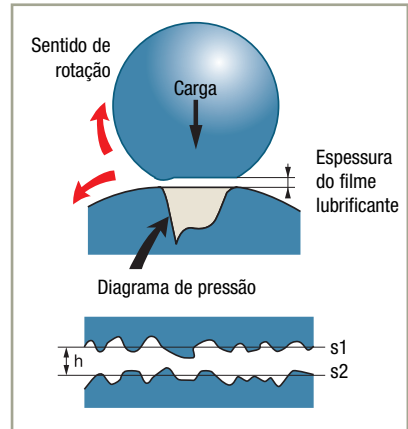
Generalidades

A lubrificação é um elemento essencial para o bom funcionamento do rolamento.

70% das avarias dos rolamentos são devidas a problemas de lubrificação.

A lubrificação tem como objetivo interpor uma película de lubrificante (chamada filme de óleo) entre os corpos rolantes e a pista de rolamento, a fim de evitar o desgaste e gripagem dos elementos em contato.

Além disso, o lubrificante garante uma proteção contra a oxidação e a poluição exterior e, no caso do óleo, um resfriamento.



A vida útil do rolamento está diretamente ligada à eficácia do filme de óleo que depende:

- da natureza do lubrificante e portanto das suas capacidades de suportar temperatura, velocidade...
- da carga e da velocidade do rolamento

A influência da lubrificação sobre a vida útil pode ser determinada, pág. 77.

→ Escolha do tipo de lubrificação

	Lubrificação com óleo	Lubrificação com graxa
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Boa penetração no rolamento ▶ Boa estabilidade físico-química ▶ Resfriamento ▶ Controle fácil do lubrificante: estado e nível 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Limpeza do mecanismo ▶ Facilidade em assegurar a vedação ▶ Barreira de proteção ▶ Simplicidade das montagens ▶ Facilidade de manipulação ▶ Redução ou supressão da lubrificação auxiliar ▶ Possibilidade de utilização de rolamentos pré-lubrificadas
Inconvenientes	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Vedação necessária da montagem ▶ Em caso de parada prolongada, má proteção contra a oxidação e a umidade ▶ Atraso na partida quando é necessária uma entrada em circulação autônoma antes da rotação 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Coeficiente de atrito mais elevado do que o óleo ▶ Evacuação térmica mais baixa ▶ A substituição (se necessária) requer a desmontagem do rolamento e a sua lavagem ▶ Não há possibilidade de verificar um nível de graxa, necessidade de uma retenção de graxa confiável ou de um abastecimento periódico para compensar as fugas, poluição ou envelhecimento

Lubrificação com graxa

Características das graxas

■ A graxa é um produto de consistência semifluida a sólida, obtido por dispersão de um agente espessante (sabão) num líquido lubrificante (óleo mineral ou sintético).

Para conferir certas propriedades particulares, podem-se incluir aditivos.

A utilização crescente de rolamentos lubrificadas com graxa, associada ao desenvolvimento do conceito de lubrificação permanente, faz da graxa um componente por excelência do rolamento. A vida útil do rolamento e o seu comportamento em ambientes difíceis são largamente condicionados pelas propriedades da graxa utilizada.

■ Características físico-químicas

Consistência

► Grau NLGI (National Lubrication Grease Institute) correspondente a um valor de penetração na graxa trabalhada (segundo especificação de ensaio ASTM/D217).

► Para os rolamentos, adota-se geralmente a consistência de grau 2.

Graus NLGI	Penetração trabalhada	Consistência
0 1	385 - 355 340 - 310	Semifluida Muito mole
2 3	295 - 265 250 - 220	Mole Média
4	205 - 175	Semidura

Viscosidade do óleo de base: geralmente definida em cSt (mm²/s) à 40°C.

Densidade: na ordem de 0,9.

Ponto de gota: temperatura em que cai a primeira gota de uma graxa liquefeita por aquecimento de uma amostra.

Ordem de grandeza: 180°C/260°C conforme os constituintes da graxa. A temperatura máxima de utilização da graxa é sempre muito inferior ao ponto de gota.

■ Características funcionais

As condições de trabalho impostas ao lubrificante (laminação, malaxagem) exigem graxas especiais para rolamentos que não podem ser selecionadas somente a partir das suas características físico-químicas.

O Centro de Pesquisas e Ensaios SNR realiza permanentemente ensaios para certificação de rolamentos que nos permitem aconselhar a graxa a que melhor se adapta à aplicação.

O caderno de encargos de certificação refere-se aos seguintes critérios de base:

- durabilidade de rolamento de esferas
- durabilidade de rolamento de rolos
- integridade em presença de água
- integridade a alta e baixa temperatura
- aderência (centrifugação)
- resistência às vibrações (falso efeito Brinell)
- integridade em grande velocidade
- etc.



Esses critérios são suscetíveis de serem completados em função do resultado procurado pelo cliente. A seleção para uma aplicação é um compromisso realizado a partir do caderno de encargos da aplicação.

Lubrificação com graxa (continuação)

Implantação

Os rolamentos vedados e protegidos dispõem de graxa por construção. Para os outros, a aplicação da graxa deve ser feita com muito cuidado para não comprometer os desempenhos do rolamento.

■ Método de abastecimento da graxa

A limpeza é essencial

Qualquer corpo estranho que se encontre na graxa pode levar a uma destruição prematura do rolamento.

- Limpar bem o ambiente do rolamento
- Proteger os recipientes de graxa contra a poluição
- A utilização do tubo ou do cartucho de graxa é uma garantia de limpeza

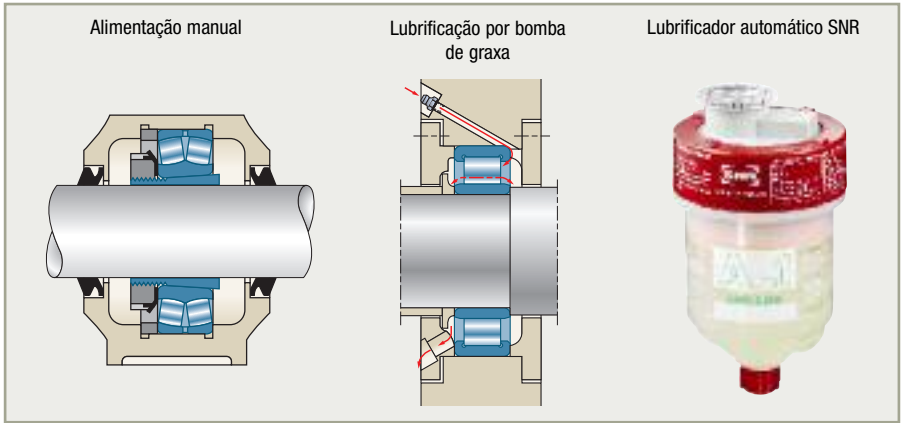
A graxa deve ser depositada o mais perto possível das partes ativas do rolamento (pistas e corpos rolantes)

Fazer penetrar a graxa entre a gaiola e a pista do anel interior, especialmente para os rolamentos de contato oblíquo e os rolamentos autocompensadores.

Registrar para cada mancal a data das lubrificações feitas e a fazer, o tipo e o peso da graxa

- ▶ mancais e rolamentos com dispositivo de lubrificação
 - Limpar a cabeça do lubrificador
 - Eliminar todas as impurezas
 - Verificar e limpar o bico da bomba de graxa
 - Introduzir a graxa
 - Verificar em particular a quantidade introduzida
 - Eliminar a graxa usada a cada quatro ou cinco aplicações
 - Quando os intervalos de relubrificação forem curtos, prever um dispositivo para a evacuação da graxa usada
- ▶ mancais e rolamentos sem dispositivo de lubrificação
 - Limpar cuidadosamente o mancal antes da abertura
 - Remover a graxa usada com uma espátula não metálica
 - Introduzir a graxa entre os corpos rolantes, dos dois lados
 - Lubrificar as chicanas e as juntas

■ Dispositivos de lubrificação



Escolha da graxa

■ A escolha da graxa baseia-se no conhecimento das condições de funcionamento que devem ser definidas da maneira mais precisa possível: temperatura, velocidade, carga, ambiente, vibrações, solicitações específicas da aplicação.

Faça a escolha da graxa a utilizar com o seu representante SNR.

A tabela da página seguinte fornece uma primeira orientação.

■ Distinguem-se dos tipos de funcionamento

Condições normais de funcionamento

A SNR aconselha duas graxas para rolamentos:

- ▶ SNR LUB MS: para os mancais de máquinas agrícolas, motores elétricos, materiais de manutenção, bombas
- ▶ SNR LUB EP: para os rolamentos fortemente carregados (siderurgia, obras públicas)

Condições particulares de funcionamento

O caderno de encargos da aplicação será estudado em estreito contato com a SNR nos casos de:

- Temperatura permanentemente superior a +120 °C ou inferior a -30 °C
- Velocidade superior à velocidade limite do rolamento
- Ambiente úmido
- Centrifugação (anel exterior rotativo) ou vibrações
- Toque baixo
- Presença de hidrocarbonetos
- Radiações nucleares...

A viscosidade do óleo de base é muito importante para a eficácia da lubrificação. O diagrama da página 78 permite verificar a eficácia da lubrificação para a sua aplicação.

A maior parte das graxas de uso geral são miscíveis entre si. Entretanto, para obter o melhor resultado, evitar a mistura (proibida para certas graxas de uso especial).

Para os rolamentos vedados e protegidos, a SNR pode fornecer o rolamento pré-lubrificado com uma graxa adaptada à aplicação (sob reserva de quantidades mínimas).

↓ Escolha de uma graxa em função da aplicação

Funcionamento predominante	Limites de utilização		Recomendação geral	Exemplo de aplicações	Recomendação SNR LUB
	Temp. °C	Velocidade			
Uso corrente	-30 a +120	< velocidade-limite do rolamento	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Óleo mineral ▶ Sabão tradicional (lítio, cálcio...) ▶ Consistência: geralmente grau 2, grau 3 para rolamentos de grande dimensão ou com particularidade de funcionamento ▶ Queda dos desempenhos a partir de temperatura contínua de 80 °C; certas aplicações podem exigir uma escolha melhor adaptada 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Máquinas agrícolas ▶ Mecânica geral ▶ Material de manutenção ▶ Ferramentas elétricas 	LUB MS
Carga elevada	-30 a +110	< 2/3 velocidade-limite do rolamento	▶ Similar às graxas de uso corrente com aditivo de extrema pressão	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Automóveis ▶ Siderurgia ▶ Material de obras públicas 	LUB EP
Alta temperatura	-30 a +130	< 2/3 velocidade-limite do rolamento	▶ Sabão tradicional com óleo de base mineral de alta viscosidade ou sintético	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Motores elétricos classe E ▶ Motores elétricos classe F ▶ Alternadores 	LUB HT
	-20 a +150				
	-20 a +220	≤ 1/3 velocidade-limite do rolamento	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Graxas inteiramente sintéticas ▶ As graxas com óleo à base de silicone têm uma integridade reduzida sob carga 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Equipamentos de fornos ▶ Motores elétricos classe H ▶ Acopladores 	LUB THT
	-20 a +250	< 1/5 velocidade-limite do rolamento	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Produtos de síntese sob forma sólida ou pastosa ▶ Produtos dificilmente miscíveis 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Equipamentos de fornos ▶ Vagões para forno 	Consultar a SNR
Baixa temperatura	até -50	≤ 2/3 velocidade-limite do rolamento	▶ Óleo de base de viscosidade muito baixa Atenção à retenção de graxa se a temperatura for superior a 80 °C	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Aviação ▶ Equipamentos especiais 	LUB GV*
Alta velocidade	-20 a +120	≤ 4/3 velocidade-limite do rolamento	▶ Óleo de viscosidade muito baixa	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Fusos de máquinas-ferramentas ▶ Máquinas para madeiras ▶ Fusos para máquinas têxteis 	
Umidade	-30 a +120	≤ 2/3 velocidade-limite do rolamento	▶ Graxa tradicional fortemente tratada com aditivos anticorrosivos	▶ Máquinas de lavar	LUB MS LUB EP
Centrifugação Vibrações Anel exterior rotativo	-20 até +130	≤ 2/3 velocidade-limite do rolamento	▶ Graxa consistente (grau 2) de forte aderência	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Alternadores ▶ Material de obras públicas ▶ Polias falsas 	LUB VX
Uso alimentar	-30 a +120	≤ 2/3 velocidade-limite do rolamento	▶ Compatibilidade com aplicações de processo alimentar	▶ Indústria agro-alimentar	LUB AL1
Carga elevada e baixa velocidade	-5 a +140		▶ Adaptada a um funcionamento a velocidade muito baixa e carga muito forte	▶ Indústria pesada: siderurgia, indústrias papeleiras, pedreiras	LUB FV

NB: A escolha da graxa deve ser feita junto com a SNR.



Características da gama SNR LUB

Cor	MS	EP	HT	GV*	VX	THT		AL1	FV	
	Âmbar	Âmbar	Marrom claro	Branca	Dourada	Branca	Amarela transparente			
Composição	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Óleo mineral ▶ Sabão lítio 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Óleo mineral ▶ Extrema pressão ▶ Sabão lítio 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Óleo sintético ▶ Sabão de poliuréia 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Óleo diéster ▶ Sabão lítio 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Óleo mineral parafínico ▶ Sabão lítio 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Fluido perfluorado espessante ▶ Teflon 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Óleo mineral parafínico ▶ Sabão complexo alumínio 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Óleo mineral ▶ Lítio + cálcio 		
Viscosidade óleo de base	105	105	150	15	310	390	200	950		
Consistência Grau NLGI	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Temperatura utilização °C	-30 +120	-30 +110	-30 +150	-50 +120	-20 +130	-20 +220	-20 +250*	-30 +120	-5 +140	
Cargas médias P < C / 5	B	TB	B	B	B	TB	B	B		
Cargas elevadas P > C / 5	NR	TB	NR	NR	TB	TB	NR	B	TB	
Velocidade baixa N.Dm < 100000	B	B	NR	NR	TB	TB	B	TB		
Velocidade elevada N.Dm > 100000	B	B	B	TB	NR	B	B	B	NR	
Umidade, presença de água	TB	TB	B	TB	B	B	B	B		
Oscilações, pequena amplitude	B	B	TB	B	TB	TB	B	B		
Vibrações na parada	NR	NR	NR	TB	NR	NR	NR	NR		
Aderência	B	B	TB	B	TB	TB	B	TB		
Toque baixo	B	B	B	TB	NR	NR	B	NR		
Silêncio	B	B	B	TB	NR	NR	NR	NR		
Proteção anticorrosiva	TB	TB	B	TB	B	B	B	B		
Resistência aos agentes químicos	NR	NR	NR	NR	NR	TB	NR	NR		
Capacidade de bombeamento	TB	TB	TB	TB	TB	TB	TB	B		
Observações			<ul style="list-style-type: none"> ▶ A vida útil da graxa depende da temperatura de utilização. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Prestar atenção particular: <ul style="list-style-type: none"> - à quantidade - à manutenção - à vizinhança de partes ativas - à retenção da graxa 		<ul style="list-style-type: none"> ▶ Conforme as recomendações da US Food and Drug Administration Classe H1 				

N.Dm: Produto do número de revoluções/minuto pelo diâmetro médio
TB: Desempenho muito bom – **B:** Bom desempenho
NR: não recomendada

* Sob baixa carga, a graxa THT resiste até +250 °C.
 Sob carga mais elevada, a resistência é limitada a +220 °C.

Lubrificação com graxa (continuação)

Quantidade

■ Lubrificação inicial

A quantidade de graxa necessária ao bom funcionamento do rolamento deve ocupar um volume igual a aprox. 20 a 30% do seu volume interno livre.

Ordem de grandeza da quantidade de graxa a introduzir no rolamento aberto

$$G = 0,005 D \cdot B$$

G: Quantidade de graxa em gramas ou cm^3

D: Diâmetro externo do rolamento em mm

B: Largura do rolamento em mm

A quantidade pode ser aumentada de 20% para os mancais munidos de um orifício de evacuação da graxa usada.

Um rolamento girando a uma velocidade muito baixa tolera um preenchimento completo, o que é favorável à sua proteção em ambiente muito poluído (rolos de manutenção...)

É muito importante que essa quantidade seja mantida no rolamento; verificar que as peças adjacentes (juntas defletoras) sejam capazes de limitar a transferência de graxa. Se existe um volume adjacente livre, preenchê-lo a 50% com graxa.

Verifica-se que a quantidade de graxa é conveniente, quando a temperatura do rolamento se estabiliza a um nível 10 a 30°C acima do da temperatura ambiente, após um regime transitório inferior à uma hora, durante o qual a temperatura passa por um pico mais elevado.

■ Relubrificação

Freqüência de relubrificação

A tabela abaixo permite determinar a freqüência de base em horas em função do tipo de rolamento e da velocidade de rotação



■ Correção da freqüência de relubrificação

A **freqüência de base (Fb)** deve ser corrigida pelos coeficientes da tabela a seguir, em função das condições de funcionamento particulares do mecanismo, segundo a relação:

$$F_c = F_b \cdot T_e \cdot T_a \cdot T_t$$

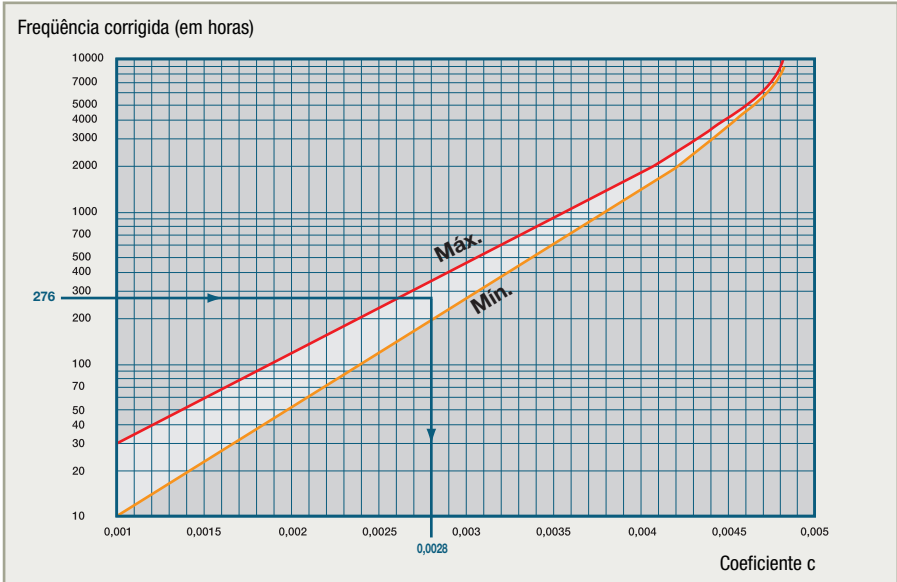
Coefficiente	Condições	Nível	Valor do coeficiente	
Te	Ambiente - poeira - umidade - condensação	- média	0,8	
		- forte	0,5	
		- muito forte	0,3	
Ta	Aplicação - com choques - com vibrações - com eixo vertical	- média	0,8	
		- forte	0,5	
		- muito forte	0,3	
Tt	Temperaturas	75°C	0,8	com graxa padrão
		75° a 85°C	0,5	
85° a 120°C	0,3	0,8	com graxa para alta temperatura	
120° a 170°C			0,5	
			0,3	

Lubrificação com graxa (continuação)

■ Peso da graxa

A tabela abaixo permite determinar o coeficiente **c** a aplicar, em função da frequência corrigida em horas, para obter o peso de graxa a renovar pela relação

$$P = D \times B \times c$$



Exemplo

Um rolamento 22212 EA, lubrificado com uma graxa padrão, girando a 1500 rpm em ambiente empoeirado, a 90 °C sem outras solicitações de aplicação:

22212 – Rolamento autocompensador de rolos

Velocidade utilização / Velocidade limite = 1500 rpm / 3900 rpm = 0,38

de onde frequência de base: $F_b = 2300$ h (ver gráfico, página anterior)

Coefficientes

$T_e = \longrightarrow 0,5$ poeiras
 $T_a = \longrightarrow 0,8$ normal
 $T_t = \longrightarrow 0,3$ 90°C

$c = 0,028$

Diâmetro $D = 110$

Largura $B = 28$

Peso da graxa:

$P = 110 \cdot 28 \cdot 0,0028 = 9$ gramas



Frequência corrigida: $F_c = F_b \cdot T_e \cdot T_a \cdot T_t = 2300 \cdot 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,3 = 276$ horas

Lubrificação a óleo

A lubrificação a óleo é geralmente empregada quando o rolamento está integrado num mecanismo já lubrificado com óleo (reductor, caixa de velocidades) ou quando ele se pode beneficiar de um sistema de lubrificação centralizado, onde o óleo é utilizado também na refrigeração.

■ Tipo de óleo

Principais tipos de óleos utilizados para a lubrificação dos rolamentos.

		Óleos minerais	Óleos sintéticos	
			Éster	Éteres perfluoroalquil
Comentários		Utilização padrão	Utilização especial geralmente a alta ou baixa temperatura	
Densidade		0,9	0,9	1,9
Viscosidade	Índice	80 - 100	130 - 180	60 - 130
	Variação com a temperatura	grande	pequena	pequena
Ponto de congelamento		-40 a -15°C	-70 a -30°C	-70 a -30°C
Ponto de inflamação		< 240 °C	200 à 240 °C	não inflamável
Resistência à oxidação		média	boa	excelente
Estabilidade térmica		média	boa	excelente
Compatibilidade com os elastômeros		boa	a verificar	boa
Nível de preço		1	3 - 10	500

■ Viscosidade

A escolha da viscosidade do óleo é muito importante para a eficácia da lubrificação. Ela pode ser feita com auxílio do diagrama da página 78.

Pode-se notar com esse diagrama que a vida útil aumenta com a viscosidade do lubrificante. Esse ganho é, entretanto, reduzido porque um lubrificante mais viscoso eleva a temperatura de funcionamento do rolamento.

■ Aditivos

Os aditivos mais utilizados são os de Extrema Pressão, antidesgaste e anticorrosivo. A escolha de um aditivo se faz com muita atenção. É necessário certificar-se junto ao fabricante do lubrificante sobre a sua influência ao comportamento do rolamento.

Extrema pressão

- Protege as superfícies metálicas contra a micro-soldagem
- Necessário quando o rolamento é fortemente carregado

P > C / 5

Lubrificação a óleo (continuação)

Antidesgaste

Reduz o desgaste das superfícies metálicas por formação de uma camada superficial protetora.

Anticorrosão

Protege contra os ataques corrosivos sobre as superfícies metálicas.

■ Poluição

O óleo de lubrificação deve ser limpo.

■ Lubrificantes especiais

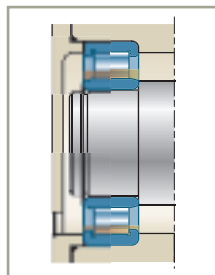
Em certas montagens, o rolamento pode ser lubrificado pelo líquido que circula na montagem (óleo hidráulico, gasóleo). Nesse caso e para todos os problemas e lubrificação mencionados aqui, consultar a SNR.

Sistemas de lubrificação

■ Banho de óleo

Utilizado nos mecanismos fechados e vedados. Nível de óleo ao nível dos corpos rolantes inferiores dos rolamentos mais baixos.

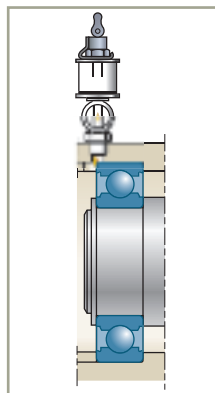
Velocidade moderada, à dissipação de calor sendo limitada.



■ A óleo perdido

Eixo girando a grande velocidade.

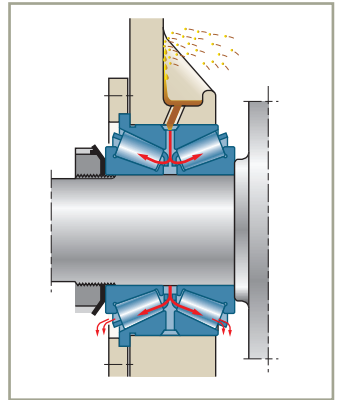
Evacuação necessária do óleo usado.



■ Gotejamento e respingos

Projeção feita geralmente pelas engrenagens.

Canaletas podem conduzir o óleo ao rolamento.

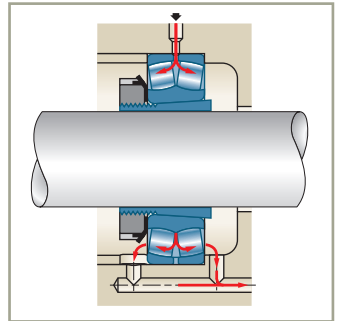


■ Circulação de óleo

Uma bomba garante uma vazão constante, um reservatório permite a espera do disparo de acionamento.

O óleo pode ser filtrado e resfriado num permutador para obter melhores desempenhos.

A circulação de óleo pode às vezes ser intermitente.

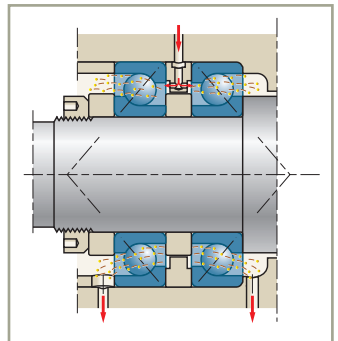


■ Spray de óleo

É também um modo de lubrificação a óleo perdido, de baixo consumo. O vapor de óleo sob pressão atinge todas as partes do rolamento, impede a entrada de corpos estranhos e garante o resfriamento.

Utilizado para os rolamentos de precisão girando a grande velocidade.

Consultar o catálogo "SNR, rolamentos de alta precisão para fusos de máquinas-ferramentas".

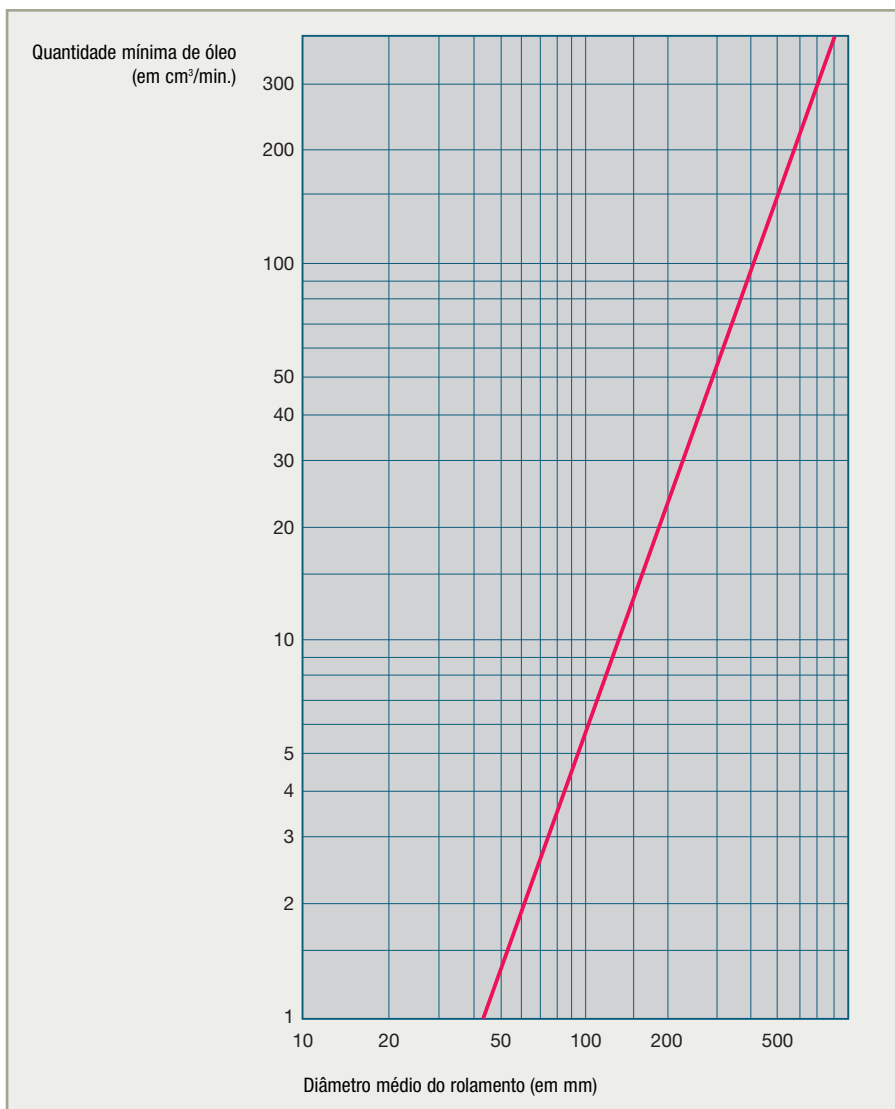


Importante: A maioria dos dispositivos de lubrificação a óleo não permite obter um filme suficiente nas primeiras rotações do rolamento. Aconselha-se vivamente aos rolamentos novos a óleo após a montagem.

Lubrificação a óleo (continuação)

Quantidade de óleo

O diagrama a seguir dá uma ordem de grandeza da vazão mínima de segurança em condições normais de utilização dos rolamentos.



Montagem, desmontagem e manutenção

Montagem dos rolamentos	136
■ Regras gerais	136
■ Princípios de montagem	136
■ Montagem a quente	137
■ Montagem com prensa (ou martelo anti-ricochete)	138
■ Buchas de aperto	139
Desmontagem dos rolamentos	140
■ Desmontagem com extratores ou prensa	140
■ Desmontagem dos rolamentos com furo cônico	141
Manutenção	141
■ Monitoramento e manutenção preventiva	141
■ Causa de deterioração prematura dos rolamentos	142
<i>Vistoria dos rolamentos deteriorados</i>	142
<i>Aspecto das deteriorações</i>	142
<i>Origem das deteriorações</i>	145
■ Estocagem	146
<i>Embalagem</i>	146
<i>Condições de estocagem</i>	146

Montagem dos rolamentos

Regras gerais

■ Limpeza

A limpeza deve ser a preocupação permanente do operador. Qualquer penetração de corpo estranho provoca uma deterioração rápida do rolamento.

Proteger o rolamento contra a poluição se ele deve ser estocado em oficina antes da montagem.

■ Precauções de montagem para as vedações

Lubrificar os suportes das juntas no momento da montagem. Um cordão de graxa depositado ao nível do lábio da junta e da passagem do eixo contribui para reforçar a eficácia da junta e limita os riscos de deteriorações.

Princípios de montagem

- Verificar a identificação do rolamento em função dos planos, especificações, procedimentos
- Verificar se as dimensões e a exatidão das formas e posições de suportes de rolamentos correspondem aos desenhos e especificações SNR.
- Preparar todo o material, as peças, as ferramentas necessárias antes de iniciar a instalação. Certificar-se da limpeza.
- Limpar cuidadosamente e verificar todas as peças e órgãos em torno do rolamento
- Remover o rolamento da embalagem no último momento, numa zona de trabalho perfeitamente limpa
- Nunca o lave, exceto em caso excepcional especificado.
O rolamento é protegido contra a oxidação por um leve filme do óleo compatível com todos os lubrificantes.
- Realizar a montagem do rolamento conforme o método escolhido.
- Lubrificar com uma graxa especial para rolamentos seguindo as instruções dadas
- Após a montagem e antes da operação definitiva, fazer uma verificação em funcionamento, de modo a detectar as anomalias eventuais (ruído, vibrações, temperatura, jogo anormal...)

■ Caso dos cárteres que comportam uma pressão interna

Em certas aplicações, há uma diferença de pressão entre o cárter e o meio exterior que exige certas precauções de montagem. Os rolamentos de vedação integrada padrão não permitem diferença de pressão entre um e lado e outro do rolamento, devido ao risco de eliminação do lubrificante do rolamento e de rotação dos lábios das juntas.

Somente as juntas independentes do rolamento podem suportar uma diferença de pressão. Trata-se essencialmente das juntas metaloplásticas e das juntas mecânicas. Quando a diferença de pressão é grande, tem-se o recurso das juntas especiais adaptadas especialmente aos meios presentes.

Certos mecanismos são postos em leve sobrepressão para evitar a poluição dos órgãos internos.

Nesse caso o sistema de proteção será do tipo sem atrito de maneira a facilitar o escapamento do ar.

Montagem a quente



Importante: O aquecimento por chama é absolutamente proibido.

■ A montagem a quente permite dilatar o rolamento e montá-lo sobre o seu eixo sem esforço. A temperatura não deve ser elevada demais, de modo a não modificar as características do aço (máximo 130 °C) ou dos componentes internos do rolamento.

Por outro lado, ela deve ser suficiente para provocar uma dilatação conveniente que permita uma fácil instalação do rolamento por anulação temporária do aperto.

■ A temperatura de aquecimento é função, por um lado, da dimensão e, por outro lado, do ajuste e do material do suporte.

Como regra geral, os seguintes valores de temperatura podem ser aplicados:	Diâmetro de furo	Temp. de aquecimento máx.
	até 100 mm	+ 90°C
	de 100 à 150 mm	+120°C
	acima de 150 mm	+130°C

■ Os diferentes modos de aquecimento utilizados para montar um rolamento sobre o seu eixo são:

Aquecimento por indução com os aparelhos SNR

O aquecimento por indução é o mais racional e o mais seguro:

▶ Segurança do operador

Somente a peça a aquecer sofre uma elevação de temperatura, o que facilita a manipulação e reduz o risco de queimadura.

▶ Controle da temperatura

A temperatura é controlada por uma sonda integrada.

As qualidades iniciais do rolamento são, assim, totalmente preservadas.

▶ Desmagnetização

No fim do ciclo, uma desmagnetização automática é pilotada pela eletrônica do aparelho.



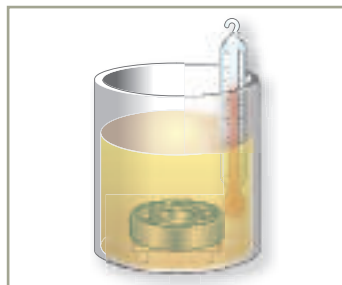
Montagem dos rolamentos (continuação)

■ Banho de óleo

O óleo e o recipiente devem estar limpos.

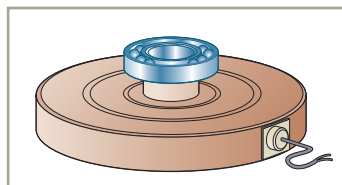
O óleo deve ser fluido (óleo F, por exemplo).

Temperaturas localmente mais elevadas podem-se produzir no banho e deteriorar o rolamento, com isso interpor um suporte isolante entre o rolamento e o fundo do recipiente.



■ Mesa aquecedora

Se a placa aquecedora não comporta uma regulação automática, evitar o contato direto do rolamento com a placa por meio de uma cunha. A cunha é imprescindível para os rolamentos vedados.



■ Estufa

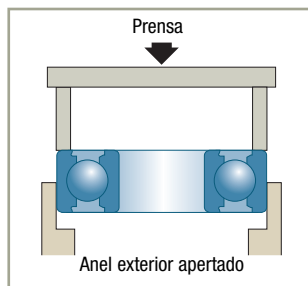
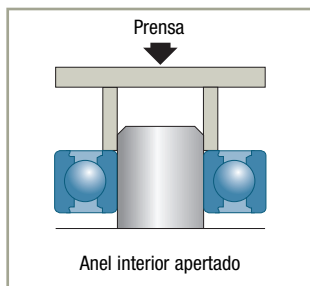
Resfriamento do eixo

A montagem pode também ser feita a frio por contração do eixo por meio de um banho de nitrogênio líquido (-170°C).

Montagem com prensa (ou martelo anti-ricochete)

Aplicar o esforço sobre o anel a montar. Esse esforço não deve ser transmitido em hipótese alguma pelos corpos rolantes, o que provocaria impressões sobre as pistas de rolamento.

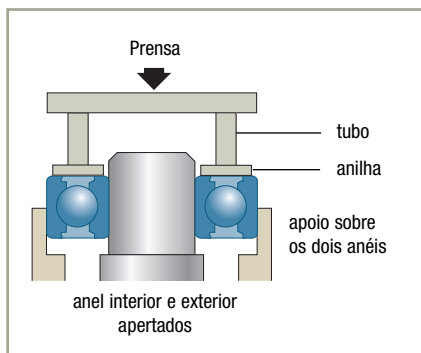
Utilizar um tubo ou um casquilho apoiando sobre o anel que deve ser firmado com um ajuste apertado.



► Se o ajuste é apertado sobre o eixo e no alojamento, emprega-se um casquilho que age simultaneamente sobre os dois anéis.

As duas superfícies de apoio estão num mesmo plano para dar uma instalação correta do rolamento.

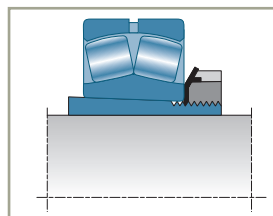
► Essa ferramenta é particularmente recomendada para a instalação dos rolamentos autocompensadores de esferas ou rolos.



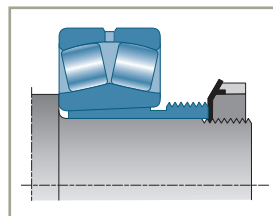
Buchas de aperto

■ Dois tipos principais de buchas

Bucha de aperto, o mais freqüente



Bucha de desmontagem que facilita a desmontagem dos rolamentos grandes



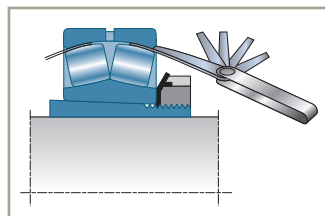
■ Montagem dos rolamentos autocompensadores de esferas ou rolos esféricos

Rolamentos de esferas

Durante o aperto da porca, controlar:

- a suavidade da rotação
- a facilidade da rotação do anel exterior

O aperto é efetuado muito progressivamente até que se perceba um início de resistência à rotação; nesse momento, a rotação deve ainda ser fácil.



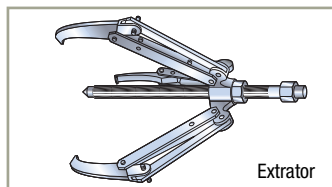
Rolamentos de rolos

A ficha de jogo SNR define o jogo prescrito e o procedimento de verificação a seguir utilizando cunhas de espessura.

Desmontagem dos rolamentos

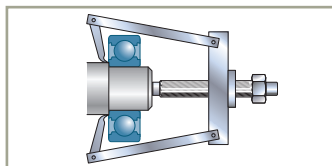
Desmontagem com extratores ou com prensa

■ Aplicar o esforço sobre o anel a desmontar. Esse esforço não deve ser transmitido em hipótese alguma pelos corpos rolantes.

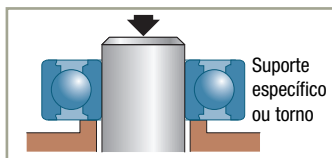


■ Rolamentos montados com ajuste apertado sobre o eixo

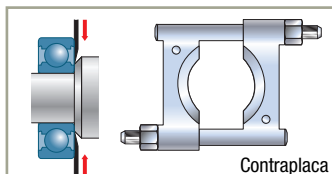
Segurar o rolamento pelo seu anel interior para não transmitir o esforço de arrancamento pelos corpos rolantes.



Se não se dispõe de um extrator, utilizar um torno, o anel interior repousando sobre um suporte acima das mandíbulas, e o eixo estando suspenso livremente entre elas. O esforço de extração é exercido com a marreta ou com a prensa.

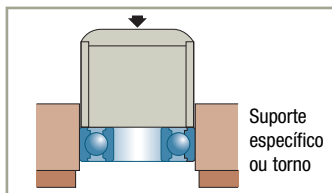


Se o rolamento bate contra um ressalto mais alto do que a espessura do anel, é possível soltá-lo graças ao aparelho da figura ao lado. Essa contraplaca pode em seguida servir de apoio para o extrator.



■ Rolamentos montados apertados no alojamento

Exercer o esforço de desmontagem sobre uma das faces do anel exterior por meio de um casquilho, como o representado na figura ao lado.

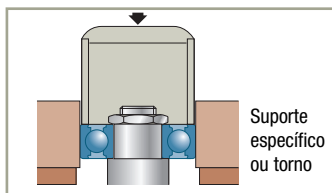


■ Rolamentos montados apertados sobre o eixo e no alojamento

O princípio consiste em deixar que o eixo siga o rolamento quando se o extrai do alojamento.

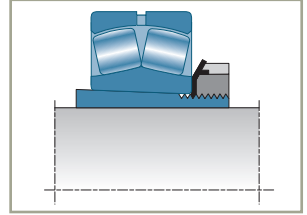
O esforço deve ser exercido sobre o anel exterior e não sobre o eixo.

A figura ao lado ilustra esse procedimento que supõe que o alojamento seja acessível dos dois lados. O rolamento é em seguida separado do eixo.



Desmontagem dos rolamentos com furo cônico

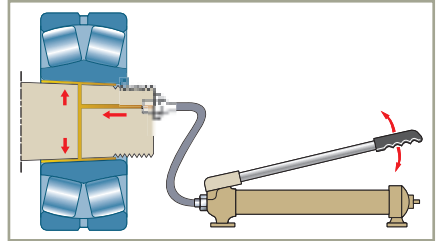
Para os rolamentos montados sobre bucha de aperto, desaparafusar a porca e depois extrair o rolamento pelo seu anel interior.



Os rolamentos montados sobre bucha de desmontagem são extraídos por meio de uma porca de desmontagem.

Os rolamentos grandes são às vezes montados diretamente sobre o eixo cujo suporte é cônico (ex. mancal de laminador). Nesse caso, a desmontagem se faz por pressão de óleo.

Furos especialmente previstos para esse efeito permitem conectar uma bomba de alta pressão que envia o óleo entre o suporte de eixo e o anel interior, cuja dilatação elástica permite retirar o rolamento.



Manutenção

Monitoramento e manutenção preventiva

De modo geral, o rolamento em funcionamento não exige nenhum monitoramento ou intervenção, exceto as aplicações de lubrificante quando previstas. Em certas aplicações, deve-se evitar absolutamente falhas do rolamento, seja por razões de segurança (aeronáutica, ventilação de minas...), seja por razões econômicas (deterioração da máquina, parada da produção). É então necessário proceder a um monitoramento e a uma manutenção preventiva.

Um início de deterioração do rolamento pode ser diagnosticado por uma ultrapassagem do seu nível de vibração, ruído, temperatura, momento de rotação. O meio de controle mais freqüente refere-se ao nível vibratório. A detecção pode ser feita de maneira sucinta, ouvindo (transmissão por estetoscópio ou haste metálica), ou por dispositivos eletrônicos (analisadores de freqüência e de amplitude) que dão alerta ou param a máquina.

A eficácia desses controles baseia-se na qualificação e na experiência do operador, assim como na qualidade do material empregado. No caso dos rolamentos lubrificadas com graxa, o acompanhamento do nível térmico é também um bom indicador do estado do rolamento.

A freqüência dos controles depende da confiabilidade procurada, da taxa de utilização do material e da organização interna das empresas. Essa freqüência deve ser baseada na vida útil provável do rolamento.

Manutenção *(continuação)*

Causa de deterioração prematura dos rolamentos

→ Vistoria dos rolamentos deteriorados

A vistoria de um rolamento deteriorado é uma fonte preciosa de informações sobre as suas condições de montagem e de funcionamento, devendo ser efetuada com precisão e método:

■ Antes da desmontagem

- observar os ruídos
- vibrações
- elevação da temperatura
- perda de lubrificante
- contaminação

■ Durante a desmontagem

- retirar as tampas dos mancais, juntas (sem as lavar) e graxa, conservá-las num local limpo para exame posterior
- observar o torque de aperto nas faces da porca
- observar as posições axial e radial do rolamento (marcações sobre os anéis com relação ao eixo e ao alojamento) e o sentido de montagem
- controlar os ajustes (eixo e alojamento)
- observar o estado dos suportes e das peças circundantes

■ Após a desmontagem

- exame visual
- desmontagem do rolamento
- exame dos componentes
- análise da graxa, verificação de partículas estranhas por lavagem e filtragem

→ Aspecto das deteriorações

■ Escamação de fadiga

Fissuração e remoção de fragmentos de material.



■ Escamação superficial

Manchas em superfície proveniente de arrancamentos superficiais de metal.



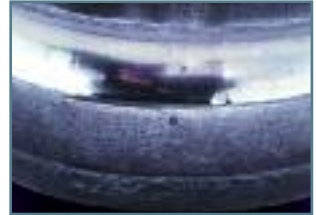
■ Gripagem

Zonas foscas com remoção de material, traços escuros de aquecimento, deformação dos corpos rolantes, microfusões e laminação do metal.



■ Impressões por deformação

Impressões das esferas ou dos rolos (geratrizes) correspondentes ao seu afastamento. O fundo da impressão é brilhante, encontram-se aí traços da retificação. O material foi expulso, sem desgaste.



■ Impressões dos corpos rolantes por abrasão

Impressões correspondentes ou não ao afastamento dos corpos rolantes. Houve remoção do material por desgaste devido às vibrações sofridas pelo rolamento no estado estacionário.

■ Desgaste

Desgaste generalizado dos corpos rolantes, das pistas e gaiolas. Tom cinza (devido ao efeito de uma poluição abrasiva).



■ Crateras e estrias

Marcas de bordos definidos ou sucessão de faixas estreitas paralelas, ligadas a uma passagem de corrente elétrica.



Manutenção *(continuação)*

■ Golpes, fissuras, quebras

Choques violentos, remoção de material em superfície, fissuras, rupturas dos anéis.



■ Corrosão de contato

Coloração vermelha ou preta sobre as superfícies de apoio do rolamento, no furo e sobre o diâmetro externo.



■ Corrosão

Oxidação localizada ou generalizada, por dentro ou por fora do rolamento.



■ Coloração

Coloração das pistas de rolamento e dos corpos rolantes.

■ Deterioração das gaiolas

Deformação, desgaste, ruptura.



→ Origem das deteriorações

As causas de deteriorações podem-se relacionar a quatro origens principais:

■ Má qualidade da montagem

- Método e meios inadequados ou mal adaptados
- Poluição na montagem
- Instalação violenta
- Má construção dos órgãos receptores: eixo e alojamentos fora da tolerância, mau acesso do lubrificante, defeito de desalinhamento

■ Condições de funcionamento

- Sobrecargas acidentais ou não
- Vibrações em marcha ou na parada
- Velocidades excessivas
- Flexões dos eixos

■ Condições ambientais

- Temperatura ambiente baixa demais ou alta demais
- Passagem de corrente
- Poluição por água, poeira, produtos químicos, resíduos têxteis...

■ Lubrificação (as deteriorações podem ter uma ou várias causas. Elas estão resumidas na tabela a seguir, permitindo que o usuário descubra a sua provável origem)

- Má escolha do lubrificante
- Qualidade inapropriada
- Frequência de manutenção inadequada

O dossiê técnico SNR “Causas de destruição prematura dos rolamentos” descreve e ilustra de modo preciso a constatação, as causas e as soluções das diversas deteriorações do rolamento. Para uma vistoria mais profunda, consultar a SNR.

ORIGEM	ESCAMAÇÃO de fadiga	ESCAMAÇÃO superficial	GRIPAGEM	IMPRESSÕES DE CORPUS ROLANTES por detritação ou arrastamento de metal	IMPRESSÕES DE CORPUS ROLANTES por abrasão	DESASTES - IMPRESSÕES DE CORPUS ESTRANHOS	TRAÇOS DE GOLPES - FISSURAS	CORROSÃO DE CONTATO	CORROSÃO	DEFORMAÇÃO DAS GAVILAS
MONTAGEM										
Falta de cuidado										
Golpes										
Defeitos de alojamentos ou suportes										
Ajuste apertado demais										
Ajuste muito livre										
Desalinhamento										
FUNCIONAMENTO										
Sobrecarga										
Vibrações										
Velocidade excessiva										
AMBIENTE										
Temperatura baixa demais										
Passagem de corrente elétrica										
Poluição de água										
Poluição poeira										
LUBRIFICAÇÃO										
Lubrificação inadequada										
Falta de lubrificante										
Excesso de lubrificante										

Manutenção (continuação)

Estocagem

O rolamento deve ser estocado num local sadio. Certas regras devem ser respeitadas para conservar as suas qualidades de origem.

→ Embalagem

■ O rolamento é protegido e embalado pela SNR nas melhores condições:

- A montagem é realizada em meio climatizado e livre de poeira.
- Uma graxa de proteção antioxidante de alto poder de cobertura é aplicada em ambiente controlado. Ela é compatível com todos os lubrificantes correntes.
- Uma embalagem de proteção vedada com graxa confere adicionalmente propriedades antiferrugem
- O cartão da embalagem completa a proteção

O rolamento deve ser estocado na sua embalagem de origem que só deve ser aberta no momento da utilização.

→ Condições de estocagem

■ Local

As condições normais de estocagem são as seguintes: limpeza geral, ausência de poeira e de ambiente corrosivo, temperatura recomendada: 18° a 20 °C, teor de umidade máximo: 65%. Para situações climáticas excepcionais, uma embalagem específica será necessária (embalagem tropical).

Evitar as estantes de madeira. Afastar pelo menos 30 cm do solo, das paredes e das canalizações de aquecimento. Evitar a exposição ao sol. Estocar as caixas no plano. Não empilhar cargas elevadas. Dispor as caixas de maneira que se possam ler as referências do rolamento sem manipulação.

■ Duração de estocagem

O acondicionamento padrão unitário dos rolamentos SNR garante-lhes, em condições normais de estocagem sob cobertura, uma longa duração de conservação. Para isso, é necessário que a embalagem não tenha sido nem aberta, nem modificada, nem deteriorada.

Essa duração é deduzida a partir da data indicada na embalagem.

Certos acondicionamentos específicos para os fornecimentos em montagem de fábrica são adaptados a uma utilização mais rápida dos produtos e não permitem uma duração de conservação tão longa.

Anexos e léxico

Anexos	148
■ Normas de rolamentos	148
■ Esforços de engrenamento	149
Léxico	151
■ Lista das variáveis utilizadas	151

Anexos

Normas de rolamentos

Características		Normas ISO	
► Vocabulário		ISO	5593
► Dimensões	Rolamentos de esferas e de rolos (exceto rolamentos de rolos cônicos e batentes)	ISO	15
	Rolamentos de rolos cônicos	ISO	355
	Rolamentos de mancais auto-alinháveis	ISO	2264
	Batentes	ISO	104
	Ranhura para segmentos de bloqueio	ISO	464
	Segmentos de bloqueio	ISO	464
	Anel de bloqueio excêntrico	ISO	3145
	Buchas cônicas	ISO	113/1
	Porcas e arruelas de parada	ISO	2982
	Mancais bipartidos	ISO	113/2
	Mancais auto-alinháveis	ISO	3228
	Chanfros	ISO	582
► Precisão	Definições	ISO	1132
	Rolamentos de todos os tipos	ISO	492
	Batentes	ISO	199
► Jogos	Jogo interno radial	ISO	5753
► Carga de base dinâmica e vida útil		ISO	281/1
► Carga de base estática (ou capacidade de base estática)		ISO	76
► Velocidade térmica de referência		ISO	15312

Esforços de engrenamento

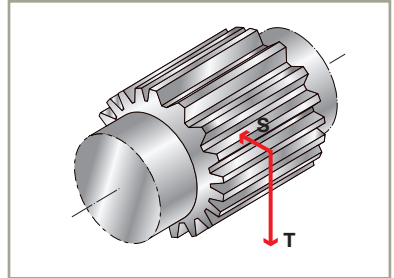
T	Esforço tangencial
C	Esforço tangencial
Dp	Diâmetro primitivo de dentado

$$T = 2C / Dp$$

S	Esforços de separação
A	Esforços axiais

Engrenagem cilíndrica de dentado direito

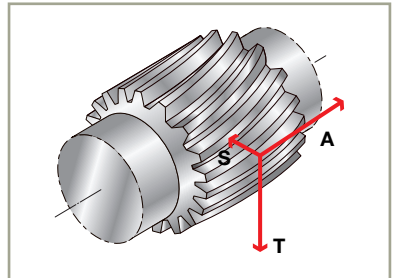
$$\alpha = \text{ângulo de pressão} \quad S = T \operatorname{tg} \alpha$$



Engrenagem cilíndrica de dentado helicoidal

$$\alpha = \text{ângulo de pressão} \quad S = T \operatorname{tg} \alpha / \cos \gamma$$

$$\gamma = \text{ângulo de hélice} \quad A = T \operatorname{tg} \gamma$$

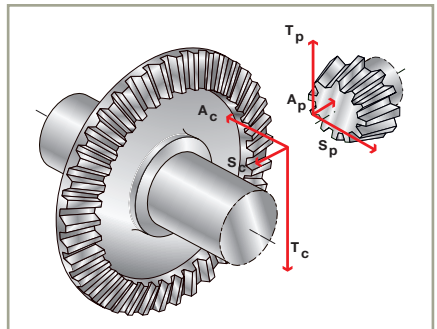


Engrenagem cônica de dentado direito

$$T = T_p = T_c$$

$$\alpha = \text{ângulo de pressão} \quad S_p = -A_c = T \operatorname{tg} \alpha \cos \theta$$

$$\theta = 1/2 \text{ ângulo no topo do pinhão} \quad A_p = -S_c = T \operatorname{tg} \alpha \sin \theta$$

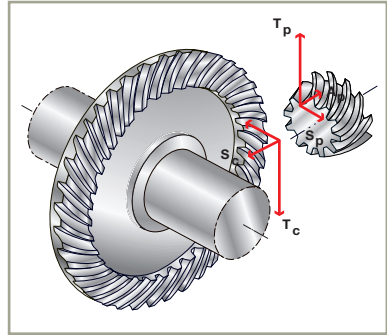


Anexos (continuação)

Engrenagem cônica de dentado helicoidal

- D_p = diâmetro primitivo do pinhão motor
- D_c = diâmetro primitivo da coroa receptora
- L = largura do dentado
- D_p = diâmetro médio do pinhão motor
- D_c = diâmetro médio da coroa receptora
- T_p = esforço tangencial do pinhão motor
- T_c = esforço tangencial da coroa receptora

$$T_c = T_p = 2 C / D_p$$



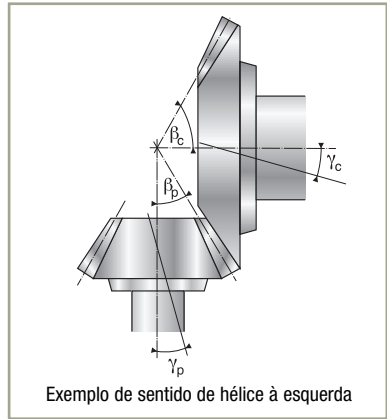
- α = ângulo de pressão
- γ_p = ângulo de hélice do pinhão motor
- γ_c = ângulo de hélice da coroa receptora
- ($\gamma_p = \gamma_c$ para os pares cônicos de dentado direito e helicoidal)

- β_p = 1/2 ângulo no topo do pinhão motor
- β_c = 1/2 ângulo no topo da coroa receptora

Sentido de rotação do pinhão:

(para um observador posicionado sobre a grande base do cone e olhando para o topo)

- + sentido anti-horário
- sentido horário



Sentido da hélice	Sentido de rotação do pinhão	Esforço de separação	Esforço axial
à direita ou à esquerda	-	Pinhão (afasta-se da coroa) $S_p = \frac{T_p}{\cos \gamma_p} \cdot (\operatorname{tg} \alpha \cos \beta_p + \sin \gamma_p \sin \beta_p)$	Pinhão (aproxima-se da coroa) $A_p = \frac{T_p}{\cos \gamma_p} \cdot (\operatorname{tg} \alpha \sin \beta_p - \sin \gamma_p \cos \beta_p)$
	+	Coroa (aproxima-se do pinhão) $S_c = \frac{T_c}{\cos \gamma_c} \cdot (\operatorname{tg} \alpha \cos \beta_c - \sin \gamma_c \sin \beta_c)$	Coroa (afasta-se do pinhão) $A_c = \frac{T_c}{\cos \gamma_c} \cdot (\operatorname{tg} \alpha \sin \beta_c + \sin \gamma_c \cos \beta_c)$
à direita ou à esquerda	+	Pinhão (afasta-se da coroa) $S_p = \frac{T_p}{\cos \gamma_p} \cdot (\operatorname{tg} \alpha \cos \beta_p - \sin \gamma_p \sin \beta_p)$	Pinhão (aproxima-se da coroa) $A_p = \frac{T_p}{\cos \gamma_p} \cdot (\operatorname{tg} \alpha \sin \beta_p + \sin \gamma_p \cos \beta_p)$
	-	Coroa (aproxima-se do pinhão) $S_c = \frac{T_c}{\cos \gamma_c} \cdot (\operatorname{tg} \alpha \cos \beta_c + \sin \gamma_c \sin \beta_c)$	Coroa (afasta-se do pinhão) $A_c = \frac{T_c}{\cos \gamma_c} \cdot (\operatorname{tg} \alpha \sin \beta_c - \sin \gamma_c \cos \beta_c)$

Léxico

Lista das variáveis utilizadas

Símbolo	Descrição	Unidade
α	Ângulo de contato nominal	°
B	largura do anel interior do rolamento	mm
C	largura do anel exterior do rolamento	mm
C	capacidade dinâmica de base do rolamento	N
C_0	capacidade estática de base de um rolamento	N
C_e	capacidade dinâmica de base equivalente de um mancal	N
C_{0e}	capacidade estática de base equivalente de um mancal	N
D	diâmetro externo do rolamento	mm
D_w	diâmetro médio do corpo rolanete	mm
d	diâmetro do furo do rolamento	mm
f_c	coeficiente para cálculo de carga dinâmica de base	
f_s	coeficiente de segurança	
F_a	carga axial total sobre o rolamento	N
F_r	carga radial total sobre o rolamento	N
J_a	jogo axial teórico	mm
J_r	jogo radial de funcionamento	mm
i	número de fileiras de corpos rolantes	
l	comprimento efetivo da geratriz de contato	mm
L_{10}	vida útil nominal	
N	velocidade de rotação	rpm
P	carga radial dinâmica equivalente do rolamento	N
P_0	carga radial estática equivalente do rolamento	N
T	largura nominal de um rolamento cônico	mm
X	fator radial do rolamento	
X_0	fator radial estático	
Y	fator axial do rolamento	
Y_0	fator axial estático	
Z	número de corpos rolantes	