

NSK
R o l a m e n t o s

Prefácio

As recentes necessidades em relação aos mecanismos dos mais diversos tipos de máquinas que utilizam os rolamentos, cada vez mais aumentam e diversificam-se. Conseqüentemente, para o rolamento, componente essencial de suma importância das máquinas, as exigências quanto a capacidade nas suas inúmeras ramificações como: aumento da confiabilidade, liberação da manutenção, redução da dimensão e massa, aumento do limite de rotação, resistência em meios especiais, entre outros, são continuamente acentuadas.

Nesta realidade e juntamente com as revisões das normas ISO e JIS é que, este catálogo geral foi elaborado. A primeira parte deste catálogo contém informações técnicas comuns a todos os rolamentos, com ênfase na seleção do rolamento; no preâmbulo de cada tipo de rolamento na tabela de dimensões, esclarecimentos suplementares são abordados em particular ao tipo. Nas tabelas de dimensões são relacionados os tipos idênticos de rolamentos na ordem crescente do diâmetro interno, juntamente com a capacidade de carga, limite de rotação, dimensões relativas à instalação, massa e outros, para cada número de rolamento e que serão de utilidade como referência nos projetos. As unidades empregadas neste catálogo estão baseadas no Sistema Internacional (SI), e também estão inscritas em paralelo as unidades do Sistema de Engenharia (Sistema Gravitacional).

As capacidades de carga básica dinâmica dos rolamentos deste catálogo foram calculadas pela equação especificada na norma JIS B 1518-1981, mas incluem o prolongamento da vida resultante dos aprimoramentos no material e na tecnologia de fabricação dos rolamentos normais da NSK.

As capacidades de carga básica estática em função da ISO 76-1987 estão com novos valores.

Esperamos que dentre os inúmeros tipos e classes de rolamentos, relacionados neste catálogo, seja possível a seleção do rolamento mais apropriado para a sua aplicação. Entretanto, cientes da impossibilidade de dirimir todas as eventuais dúvidas com uma única publicação, o departamento técnico é mantido a disposição para prestar os devidos esclarecimentos.

Índice Geral

1 TIPOS E CARACTERÍSTICAS DOS ROLAMENTOS . . . A-7	5.4 Carga Dinâmica Equivalente A-30	10.2.1 Pré-carga de Posição Constante A-96	14.4.2 Remoção de Rolamentos com Furo Cilíndrico A-121
1.1 Tipo e Classificação A-7	5.4.1 Cálculo da Carga Dinâmica Equivalente . . A-31	10.2.2 Pré-carga de Pressão Constante A-96	14.4.3 Remoção de Rolamentos com Furo Cônico A-122
1.2 Classificação dos Rolamentos A-8	5.4.2 Componentes de Direção Axial nos Rolamentos de Esferas de Contato Angular e de Rolos Cônicos A-31	10.3 Pré-carga e Rigidez A-96	14.5 Inspeção de Rolamentos A-123
2. PROCESSO DA SELEÇÃO DO ROLAMENTO . . . A-16		10.3.1 Pré-carga de Posição Constante e Rigidez A-96	14.5.1 Limpeza de Rolamentos A-123
3 SELEÇÃO DO TIPO DE ROLAMENTO A-18		10.3.2 Pré-carga de Pressão Constante e Rigidez . A-97	14.5.2 Inspeção e Avaliação de Rolamentos . . A-123
3.1 Espaço e Tipo de Rolamento A-18	5.5 Capacidade de Carga Básica Estática e Carga Estática Equivalente A-32	10.4 Seleção do Método de Pré-carregamento e a Intensidade de Pré-carga A-97	14.6 Manutenção e Inspeção A-124
3.2 Carga e Tipo de Rolamento A-18	5.5.1 Capacidade de Carga Básica Estática . . . A-32	10.4.1 Comparação dos Métodos de Pré-carregamento A-97	14.6.1 Manutenção, Inspeção e Correção de Anormalidades A-124
3.3 Limite de Rotação e Tipo de Rolamento A-18	5.5.2 Carga Estática Equivalente A-32	10.4.2 Intensidade da Pré-carga A-98	14.6.2 Ocorrências nos Rolamentos e Contramedidas A-124
3.4 Desalinhamento dos Anéis, Interno e Externo, e Tipo de Rolamento A-18	5.5.3 Coeficiente de Carga Estática Permissível A-32	11 PROJETO DE EIXO E ALOJAMENTO A-100	15 DADOS TÉCNICOS A-126
3.5 Rigidez e Tipo de Rolamento A-19	5.6 Carga Axial Permissível nos Rolamentos de Rolos Cilíndricos A-33	11.1 Precisão e Rugosidade de Eixos e Alojamentos A-100	15.1 Desvio Axial dos Rolamentos A-128
3.6 Ruído, Torque e Tipo de Rolamento A-19	5.7 Exemplos de Cálculos A-34	11.2 Dimensões de encosto A-100	15.2 Ajuste A-130
3.7 Precisão de Giro e Tipo de Rolamento A-19	6 LIMITE DE ROTAÇÃO DO ROLAMENTO A-37	11.3 Sistemas de Vedações A-102	15.3 Folga Interna Radial e Axial A-132
3.8 Instalação, Remoção e Tipo de Rolamento . . A-19	6.1 Correção do Limite de Rotação A-37	11.3.1 Vedações do Tipo sem Contato A-102	15.4 Pré-carga e Momento de Atrito de Partida . A-134
4 SELEÇÃO DA DISPOSIÇÃO DOS ROLAMENTOS A-20	6.2 Limite de Rotação nos Rolamentos de Esferas com Vedação A-37	11.3.2 Vedações do Tipo com Contato A-104	15.5 Coeficiente de Atrito e Outros Dados dos Rolamentos A-136
4.1 Rolamentos de Lado Fixo e Lado Livre A-20	7 DIMENSÕES PRINCIPAIS E NÚMEROS DE IDENTIFICAÇÃO DOS ROLAMENTOS A-38	12 LUBRIFICAÇÃO A-105	15.6 Designação e características de graxas lubrificantes A-138
4.2 Exemplos de Aplicação das Disposições dos Rolamentos A-21	7.1 Dimensões Principais e Dimensões das Ranhuras dos Anéis de Retenção A-38	12.1 Objetivos da Lubrificação A-105	
5-SELEÇÃO DA DIMENSÃO DO ROLAMENTO A-24	7.1.1 Dimensões Principais A-38	12.2 Métodos de Lubrificação A-105	
5.1 Vida do Rolamento A-24	7.1.2 Dimensões das Ranhuras e dos Anéis de Retenção A-38	12.2.1 Lubrificação a Graxa A-105	
5.1.1 Vida de Fadiga e Vida Nominal A-24	7.2 Números de Identificação A-54	12.2.2 Lubrificação a Óleo A-107	
5.2 Capacidade de Carga Básica Dinâmica e Vida Nominal A-24	8 TOLERÂNCIAS DOS ROLAMENTOS A-58	12.3 Lubrificantes A-110	
5.2.1 Capacidade de Carga Básica Dinâmica . . A-24	8.1 Normas das Tolerâncias dos Rolamentos . . . A-58	12.3.1 Graxas Lubrificantes A-110	
5.2.2 Equipamentos para o uso de Rolamentos e Vida de Projeto A-24	8.2 Seleção da Classe de Precisão A-81	12.3.2 Óleos Lubrificantes A-112	
5.2.3 Seleção da Dimensão do Rolamento em função da Capacidade de Carga Básica Dinâmica A-25	9 AJUSTE E FOLGA DE ROLAMENTO A-82	13 MATERIAL DE ROLAMENTO A-114	
5.2.4 Correção da Capacidade de Carga Básica em função da Temperatura A-26	9.1 Ajuste A-82	13.1 Materiais dos Anéis e dos Corpos Rolantes A-114	
5.2.5 Correção da Vida Nominal A-27	9.1.1 Importância do Ajuste A-82	13.2 Materiais da Gaiola A-115	
5.3 Cálculo da Carga no Rolamento A-28	9.1.2 Seleção do Ajuste A-82	14 MANUSEIO DE ROLAMENTOS A-116	
5.3.1 Coeficiente de Carga A-28	9.1.3 Ajuste Recomendado A-83	14.1 Precauções para o Adequado Manuseio dos Rolamentos A-116	
5.3.2 Cargas em Acionamentos por Correia ou por Corrente A-28	9.2 Folga Interna do Rolamento A-88	14.2 Instalação A-116	
5.3.3 Cargas em Acionamentos por Engrenagens . A-29	9.2.1 Folga Interna e os Valores Normalizados . A-88	14.2.1 Instalação de Rolamentos com Furo Cilíndrico A-116	
5.3.4 Distribuição da Carga nos Rolamentos . . . A-29	9.2.2 Seleção da Folga Interna A-94	14.2.2 Instalação de Rolamentos com Furo Cônico A-118	
5.3.5 Média da Carga Variável A-29	10 PRÉ-CARGA NO ROLAMENTO A-96	14.3 Teste de Giro A-118	
	10.1 Objetivo da Pré-carga A-96	14.4 Remoção A-121	
	10.2 Métodos de Pré-carregamento A-96	14.4.1 Remoção do Anel Externo A-121	

1 TIPOS E CARACTERÍSTICAS DOS ROLAMENTOS

1.1 Tipo e Classificação

Os mancais de rolamento (doravante denominados simplesmente de rolamentos) são em geral, constituídos por anéis, corpos rolantes e gaiola; e principalmente, em função da direção da carga que irá apoiar são divididos em rolamentos radiais e rolamentos axiais. Ainda, em função do tipo de corpo rolante é possível separar em rolamentos de esferas e rolamentos de rolos; podem também ser classificados em função da configuração e a aplicação específica destes.

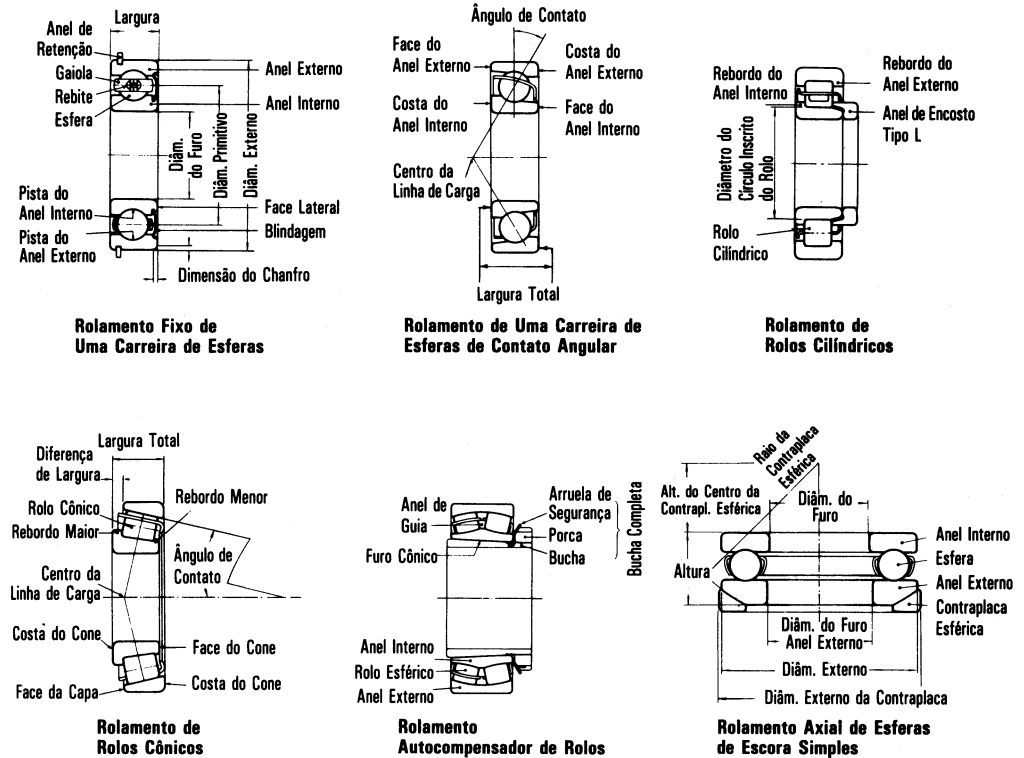
A designação de cada uma das partes dos tipos representativos de rolamentos é apresentada na figura 1.1, e a classificação genérica dos rolamentos na figura 1.2.

1.2 Tipo e Característica

Os rolamentos (mancais de rolamento) quando comparados aos mancais de deslizamento apresentam as seguintes vantagens:

- (1) O atrito de partida e a diferença com o atrito dinâmico são pequenos.
- (2) Com a avançada padronização internacional são intercambiáveis e possibilitam a utilização pela substituição simples.
- (3) Possibilitam a simplificação da configuração dos conjugados, facilitando a manutenção e a inspeção.
- (4) Em geral, podem apoiar simultaneamente a carga radial e a carga axial.
- (5) A utilização em altas e baixas temperaturas é relativamente facilitada.
- (6) Permitem a utilização com folga negativa (condição de pré-carga) para aumentar a rigidez.

Além disso, cada tipo de rolamento possui características próprias, que são apresentadas para os rolamentos mais representativos nas páginas A10 a A13 e na tabela 1.1 (páginas A14 e A15).



O conteúdo deste catálogo poderá ser alterado sem prévio aviso em função de casos como o do avanço tecnológico.
Os dados inseridos foram cuidadosamente verificados, no entanto, eximimo-nos da responsabilidade por eventuais erros ou omissões.

Fig. 1.1 Designação das Partes dos Rolamentos

1 TIPOS E CARACTERÍSTICAS DOS ROLAMENTOS

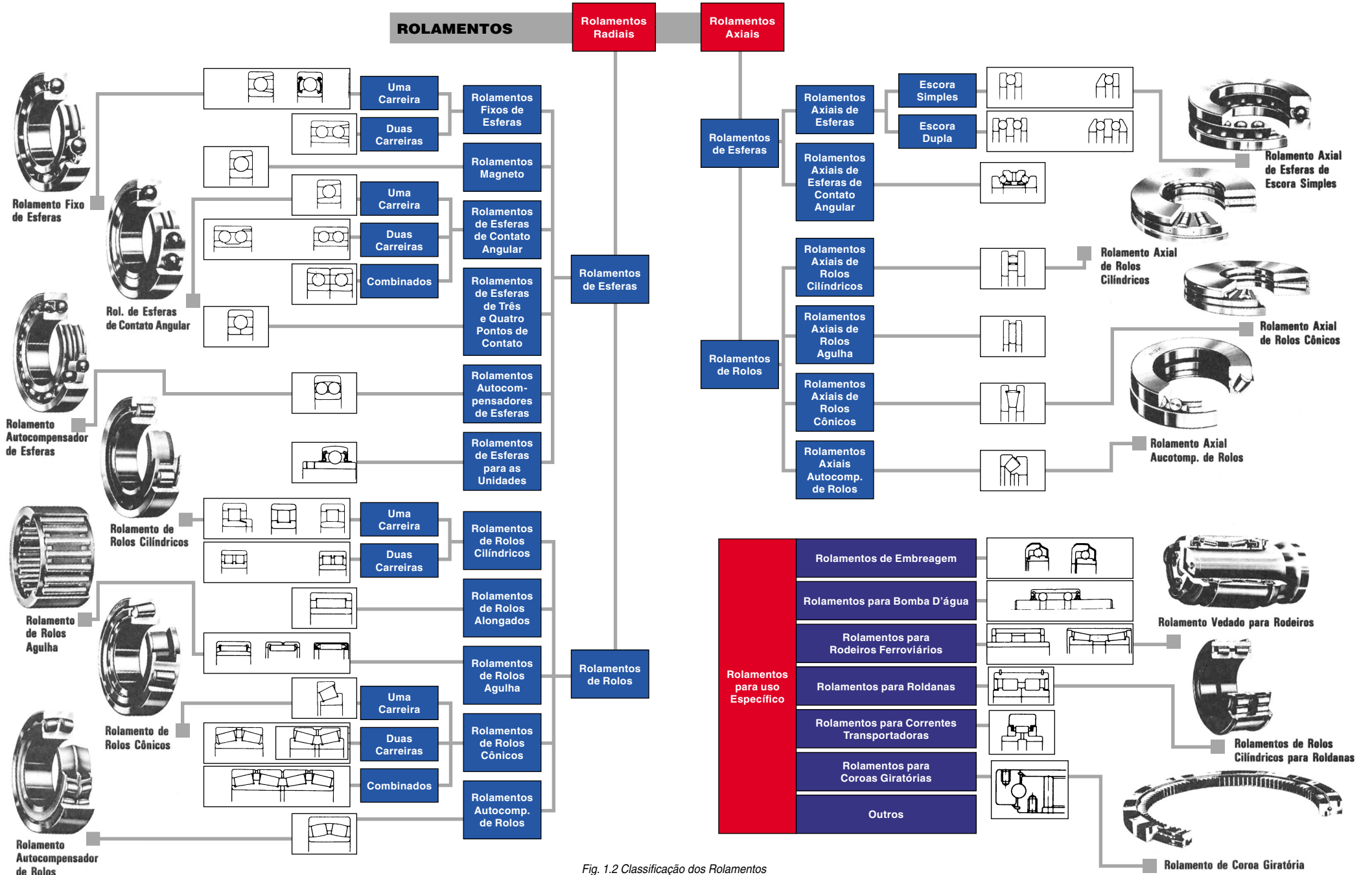
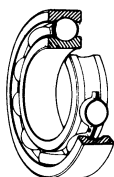


Fig. 1.2 Classificação dos Rolamentos

1 TIPOS E CARACTERÍSTICAS DOS ROLAMENTOS

Rolamentos Fixos de Uma Carreira de Esferas



Os rolamentos fixos de uma carreira de esferas são entre os rolamentos, os de tipo mais representativo e atendem um extenso campo de aplicações. O canal da pista no anel interno e no anel externo apresentam um perfil lateral em arco, com raio ligeiramente maior que o raio das esferas.

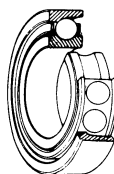
Além da carga radial, permite o apoio da carga axial em ambos os sentidos.

O torque de atrito é pequeno, sendo o mais adequado para aplicações que requerem baixo ruído e vibração, e em locais de alta velocidade de rotação.

Neste rolamento, além do tipo aberto, existem os blindados com placas de aço, os vedados com proteção de borracha, e os com anel de retenção no anel externo.

Geralmente, as gaiolas utilizadas são as prensadas de aço.

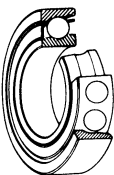
Rolamentos Magneto



O canal da pista do anel interno é um pouco menos profundo que o do rolamento fixo de esferas, e o diâmetro interno do anel externo no lado que se abre está cilíndrica no fundo do canal. Conseqüentemente, o anel externo é separável, sendo conveniente para a instalação do rolamento. Normalmente, duas peças deste rolamento são contrapostas nas aplicações. São rolamentos pequenos com diâmetro do furo de 4 a 30 mm, usados principalmente em pequenos geradores (Magneto), giroscópios e instrumentos indicadores.

Geralmente, as gaiolas utilizadas são as prensadas de latão.

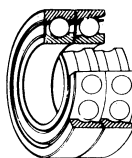
Rolamentos de Uma Carreira de Esferas de Contato Angular



Os rolamentos deste tipo permitem o apoio da carga radial e num único sentido a carga axial. A esfera e os anéis interno e externo formam ângulos de contato de 15°, 25°, 30° ou 40°. Quanto maior o ângulo de contato maior será a capacidade de carga axial, e quanto menor o ângulo de contato melhor será para altas rotações.

Normalmente, duas peças do rolamento são contrapostas e utilizadas com o ajuste da folga. Geralmente, as gaiolas utilizadas são as prensadas de aço, mas para os rolamentos de alta precisão com ângulo de contato menor que 30°, são utilizadas principalmente, as gaiolas de poliamida.

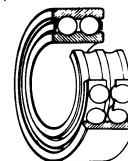
Rolamentos Combinados



Compreende-se como rolamentos combinados, a formação do jogo de corpo único com duas ou mais peças de rolamentos radiais. Normalmente, as combinações entre os rolamentos de esferas de contato angular e entre os rolamentos de rolos cônicos são as mais freqüentes.

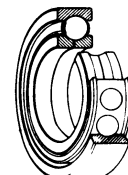
Existem como tipos de combinação, a combinação face a face (tipo DF) em que os anéis externos são unidos pelas faces, a combinação costa a costa (tipo DB) em que os anéis são unidos pelas costas, e a combinação tandem (tipo DT) em que os anéis estão no mesmo sentido.

Os rolamentos combinados dos tipos DF e DB permitem o apoio da carga radial, e em ambos os sentidos a carga axial. Os rolamentos combinados do tipo DT são usados em casos de cargas axiais maiores num único sentido.



Rolamentos de Duas Carreiras de Esferas de Contato Angular

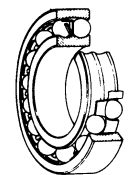
Os rolamentos de duas carreiras de esferas de contato angular, possuem a configuração básica de duas peças do rolamento de uma carreira de esferas de contato angular dispostas costa a costa, em que os anéis internos e externos estão cada qual integrados numa única peça. Conseqüentemente, têm a capacidade de apoiar a carga axial em ambos os sentidos.



Rolamentos de Esferas de Quatro Pontos de Contato

Os rolamentos de esferas de quatro pontos de contato possuem o anel interno bipartido num plano perpendicular ao centro do eixo e são rolamentos de uma carreira de esferas de contato angular com os anéis internos e externos separáveis. Permite apoiar a carga axial em ambos os sentidos com uma única peça. O ângulo de contato formado pela esfera e os anéis interno e externo é de 35°. Com uma peça deste rolamento pode-se substituir a combinação face a face ou costa a costa do rolamento de esferas de contato angular.

Geralmente, as gaiolas utilizadas são as usinadas de latão.

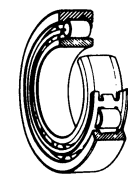


Rolamentos Autocompensadores de Esferas

O anel interno possui duas pistas e a pista do anel externo é esférica. O centro do raio que forma esta superfície esférica é coincidente ao centro do rolamento, conseqüentemente, o anel interno, as esferas e a gaiola inclinam-se livremente em relação ao anel externo.

Os erros de alinhamento que ocorrem devido aos casos como o do desvio na usinagem do eixo e alojamento, e as deficiências na instalação são corrigidos automaticamente.

Além disso, existem também os rolamentos de furo cônico que são fixados através de buchas.



Rolamentos de Rolos Cilíndricos

Rolamentos de construção simples em que os rolos de forma cilíndrica estão em contato linear com a pista. Possuem uma grande capacidade de carga, principalmente, apoiando a carga radial. Como o atrito entre os corpos rolantes e o rebordo do anel é reduzido, são adequados para altas rotações.

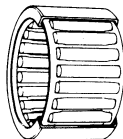
Em função da existência ou não de rebordos nos anéis, há os tipos NU, NJ, NUP, N e NF para os de uma carreira, e os tipos NNU e NN para os rolamentos de duas carreiras. O anel interno e o anel externo são separáveis em todos os tipos.

Os tipos de rolamentos de rolos cilíndricos que não têm o rebordo no anel interno ou no anel externo, por permitirem o movimento relativo entre o anel interno e o anel externo na direção axial, são utilizados como rolamentos lado livre. Os rolamentos de rolos cilíndricos que possuem rebordos nos dois lados de um dos anéis, interno ou externo, e um rebordo no outro anel, podem apoiar a carga axial de certo grau em um sentido.

Os rolamentos de duas carreiras de rolos cilíndricos têm uma alta rigidez em relação a carga radial, e são usados principalmente em fusos de máquinas-ferramentas.

As gaiolas normalmente usadas são as prensadas de aço e as usinadas de latão, há também uma parcela com gaiolas de poliamida.

1 TIPOS E CARACTERÍSTICAS DOS ROLAMENTOS



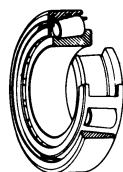
Rolamentos de Rolos Agulha

Nos rolamentos de rolos agulha são inseridos um grande número de rolos finos e alongados com comprimento de 3 a 10 vezes o diâmetro. Conseqüentemente, com a reduzida proporção do diâmetro externo em relação ao diâmetro do círculo inscrito dos rolos, possuem capacidade de carga radial comparativamente maior.

Existem vários tipos de rolos agulha, como os de anel externo estampado em chapa de aço especial, os sólidos de anéis usinados, as gaiolas com os rolos e sem anéis, os rolos comando, etc.

Além disso, existem tipos e classificações como: com anel interno e sem anel interno ou com gaiola e sem gaiola.

Nos rolamentos com gaiola são usadas, principalmente, as gaiolas prensadas de aço.

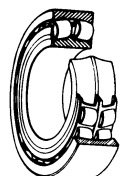


Rolamentos de Rolos Cônicos

Os rolos cônicos trapezoidais inseridos como corpos rolantes são guiados pelo rebordo maior do anel interno. De grande capacidade de carga permitem o apoio da carga radial e num único sentido a carga axial. A série HR com os rolos numericamente e dimensionalmente aumentados possui uma alta capacidade de carga. Em geral, igualmente ao rolamento de esferas de contato angular, duas peças do rolamento são usadas contrapostas. Neste caso, em função do ajuste do espaçamento entre os anéis internos ou entre os anéis externos na direção axial, permite-se selecionar a folga interna adequada.

O anel interno (cone) e o anel externo (capa) podem ser instalados independentemente por serem separáveis. Conforme o ângulo de contato estão classificados em: ângulo normal, ângulo intermediário e ângulo grande. Na classificação pelo número de carreiras, há também os rolamentos de duas e de quatro carreiras de rolos cônicos.

Geralmente, as gaiolas utilizadas são as prensadas de aço.



Rolamentos Autocompensadores de Rolos

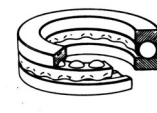
Rolamentos formados pelo anel interno com duas pistas, anel externo com pista esférica e os rolos com a superfície de rolagem esférica. Devido ao centro da pista esférica do anel externo ser coincidente ao centro do rolamento, permite o auto-alinhamento como os rolamentos autocompensadores de esferas.

Conseqüentemente, quando houver erros de alinhamento em eixos e alojamentos ou flexão do eixo, são automaticamente ajustados, fazendo com que não ocorram cargas anormais no rolamento.

Os rolamentos autocompensadores de rolos permitem o apoio da carga radial e em ambos os sentidos a carga axial. A capacidade de carga radial é grande e são adequados para aplicações com cargas pesadas e cargas de choque.

Os rolamentos com furo cônico podem ser instalados diretamente no eixo cônico ou podem ser instalados no eixo cilíndrico pela utilização das buchas de fixação ou de desmontagem.

As gaiolas normalmente utilizadas são as prensadas de aço, as usinadas de latão e as de poliamida.



Rolamentos Axiais de Esferas de Escora Simples

Rolamentos Axiais de Esferas de Escora Dupla

Os rolamentos axiais de esferas são constituídos por anéis em configuração de arruelas com canal e gaiolas com as esferas embutidas.

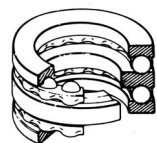
O anel a ser instalado no eixo é denominado de anel interno e o anel a ser instalado no alojamento é denominado de anel externo.

Nos rolamentos de escora dupla, o anel central (anel intermediário) é o instalado no eixo.

Os rolamentos axiais de esferas de escora simples suportam a carga axial em um sentido e os rolamentos de escora dupla suportam a carga axial em ambos os sentidos.

No intuito de minimizar a influência de desvios na instalação, existem também os rolamentos axiais de esferas com contraplaca esférica no anel externo.

Nos rolamentos pequenos são usadas, principalmente, as gaiolas prensadas de aço e nos rolamentos grandes as gaiolas usinadas.



Rolamentos Axiais Autocompensadores de Rolos

Rolamentos axiais em que os rolos trapezoidais são dispostos obliquamente na superfície de rolagem.

O rolamento possui auto-alinhamento em virtude da pista do anel externo ser esférica.

A capacidade de carga axial é elevadíssima e quando estiver sob carga axial permite a aplicação de cargas radiais moderadas.

As gaiolas utilizadas são as prensadas de aço ou as usinadas de latão.

1 TIPOS E CARACTERÍSTICAS DOS ROLAMENTOS

Tabela 1.1 Tipos e Características dos Rolamentos

Tipos de Rolamentos		Fixos de uma carreira de esferas	Mag-neto	Uma carreira de esferas de contato angular	Duas carreiras de esferas de contato angular	Combi-nados	Esfe-ras de Quatro pontos de con-tato	Auto-com-pensadores de esfe-ras	Rolos Cilindri-cos	Duas carreiras de rolos Cilindri-cos	Rolos Cilindri-cos com Rebordo em um lado	Rolos Cilindri-cos com anel de encosto	Rolos Agulha	Rolos Cônicos	Duas e multi-plas carreiras de rolos Cônicos	Auto-com-pensadores de rolos	Axiais de esfe-ras	Axiais de esfe-ras com contra-placa esférica	Duas carreiras de esfe-ras de contato angular	Axiais de Rolos Cilindri-cos	Axiais de Rolos Cônicos	Axiais auto-com-pensadores de rolos	Referê-nça na Pá-gina	
Características																								
Capacidade de carga	Carga Radial																							
	Carga Axial																							
	Carga Combinada																							
Alta Velocidade																							A 18 A 37	
Alta Pressão																							A 19 A 58 A 81	
Baixo Torque e Ruído																							A 19	
Rigidez																								A 19 A 96
Desalinhamento Permissível																								A 18 No Prém-bulo de cada tipo
Ação de Compensação																								A 18
Separação dos Anéis																								A 19 A 20
Rolamento Lado Fixo																								A 20- A 21
Rolamento Lado Livre																								A 20- A 27
Furo Cônico																								A 80 A 118 A 122
Observação	Usa-se duas peças contrapostas Além desta, existem as com-binações DF e DT, mas não permitem o uso no lado livre o ângulo de contato é de 35° Inclui o tipo N Inclui o tipo NNU Inclui o Tipo NF Inclui o tipo NUP Usa-se duas peças contrapostas, a folga deve ser ajustada Além desta, existem os tipos XH e KV, mas igualmente não permitem o uso no lado livre Inclui os Rolamentos axiais de rolos Agulha Usados com lubrifi-cação a óleo																							

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

2. PROCESSO DA SELEÇÃO DO ROLAMENTO

O desempenho requerido nos mecanismos das mais diversas máquinas, nos aparelhos e em outros locais que utilizam os rolamentos, cada vez mais se tornam severos; conseqüentemente, as condições e o desempenho exigido aos rolamentos aumentam e diversificam-se continuamente.

Portanto, a seleção do rolamento mais apropriado para cada aplicação, dentre os inúmeros tipos e dimensões requer o estudo cuidadoso de vários ângulos.

Geralmente, quando da seleção do rolamento, de princípio define-se o tipo, considerando a disposição do rolamento a partir do projeto do eixo, a facilidade na instalação e na remoção, o espaço permissível, as dimensões, a disponibilidade do rolamento, etc. Em seguida, as dimensões dos rolamentos são definidas, analisando-se comparativamente, a vida de projeto das diversas máquinas que irão utilizar os rolamentos e os vários limites de durabilidade dos rolamentos. No tocante à seleção do rolamento, por vezes, somente a vida de fadiga do rolamento é considerada, no entanto, há casos que requerem um suficiente estudo quanto aos itens como o da vida de graxa em função da deterioração da graxa, de desgaste, de ruído, etc..

Ainda, conforme a aplicação torna-se necessário, selecionar os rolamentos que tenham sido considerados especialmente quanto as especificações internas, como: a precisão, a folga interna, o tipo de gaiola, a graxa, etc..

Contudo, não há processo ou regras definidas para a seleção do rolamento, o mais prático é atribuir a preferência do estudo, no item de maior relação para com as condições e desempenho requeridos ao rolamento. Quando da seleção do rolamento para casos como o de novas máquinas e o de aplicação em condições especiais de operação ou de meio, consulte a NSK.

No diagrama a seguir (figura 2.1) é apresentado em forma de exemplo referencial o processo da seleção genérica do rolamento.

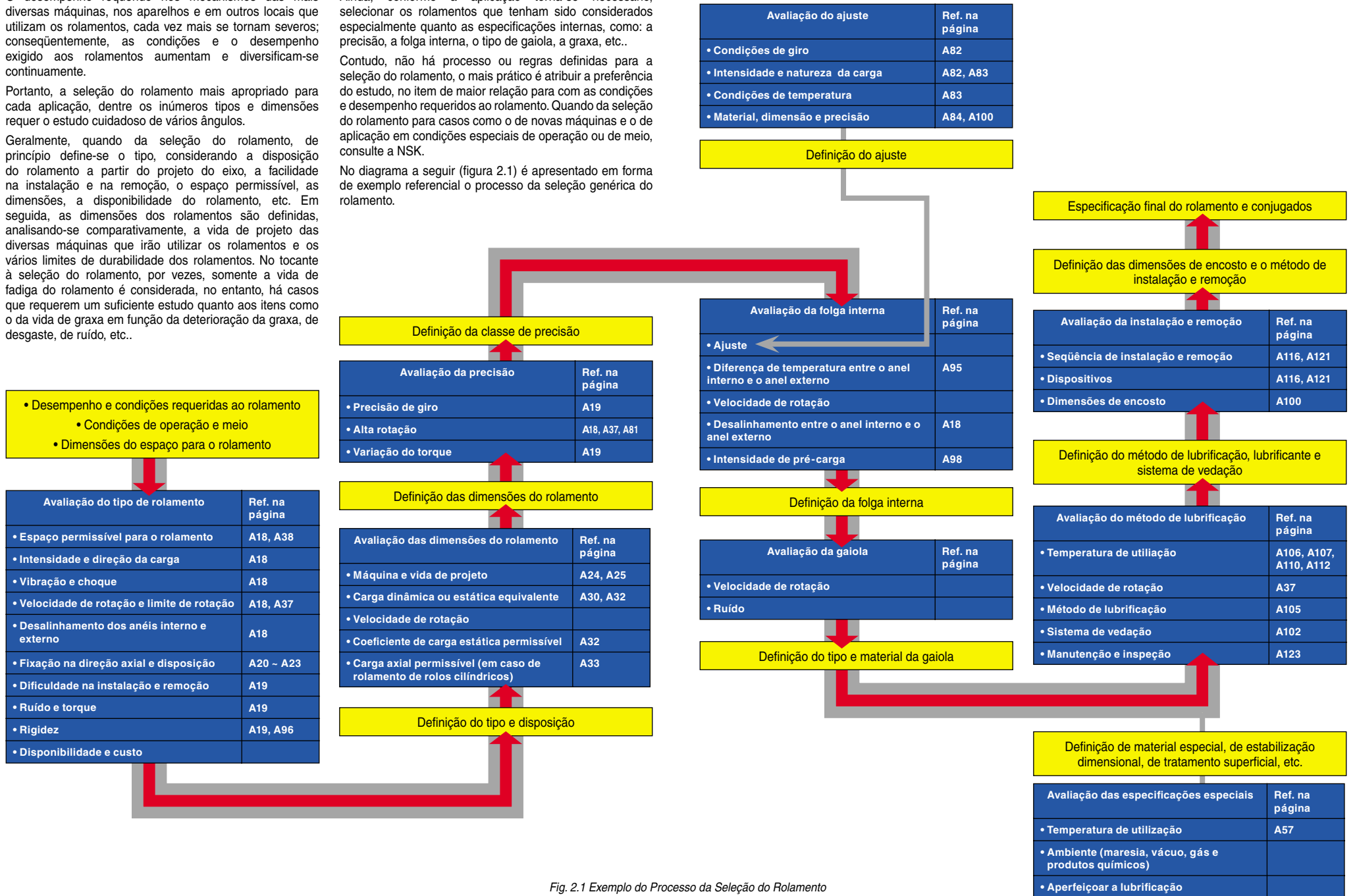


Fig. 2.1 Exemplo do Processo da Seleção do Rolamento

3 SELEÇÃO DO TIPO DE ROLAMENTO

3.1 Espaço e Tipo de Rolamento

O espaço permissível para os rolamentos e os conjugados quando do projeto, geralmente são limitados, de forma que, o tipo e as dimensões dos rolamentos devem ser selecionados dentro de tais limites. Na maioria dos casos, em razão do projeto da máquina, define-se primeiramente o diâmetro do eixo, por este motivo os rolamentos são freqüentemente selecionados com base no diâmetro dos furos.

A existência de numerosas séries de dimensão e tipos padronizados de rolamentos, possibilita a seleção do tipo mais adequado dentre estes rolamentos. Na figura 3.1 são apresentadas as séries de dimensão dos rolamentos radiais e os tipos correspondentes de rolamentos.

3.2 Carga e Tipo de Rolamento

As capacidades dos rolamentos suportarem as cargas radiais e as cargas axiais, quando comparadas separadamente pelos tipos de rolamentos, serão aproximadamente como indicadas na figura 3.2. Conseqüentemente, no caso de comparar o rolamento da mesma série de dimensão, a capacidade de carga do rolamento de rolos é maior em relação ao rolamento de esferas, com vantagem em aplicações onde atuam cargas de choque.

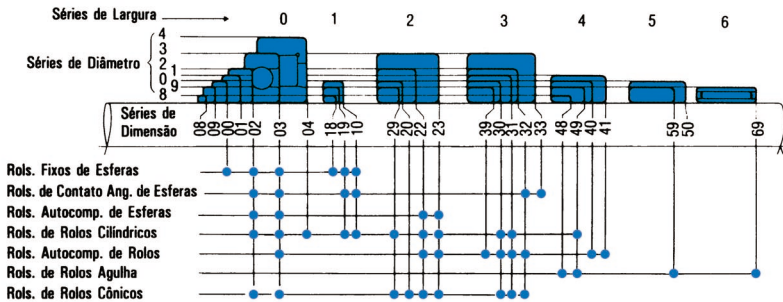


Fig. 3.1 Séries de Dimensão e Tipos de Rolamentos Radiais

Tipo de Rolamento	Cap. de Carga Radial				Cap. de Carga Axial			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Fixo de uma Carreira de Esferas								
Contato Angular de uma Carreira de Esferas								
Rolos Cilíndricos								
Rolos Cônicos								
Autocompensador de Rolos								

Obs: Os rolamentos de rolos cilíndricos com rebordos possuem certo grau de capacidade de carga axial.

Fig. 3.2 Comparação das Capacidades de Cargas pelos Tipos de Rolamentos

3.3 Limite de Rotação e Tipo de Rolamento

A rotação máxima permissível nos rolamentos, além de variar pelo tipo, difere em função da dimensão, do tipo e material da gaiola, da carga no rolamento, do método de lubrificação, das condições de refrigeração, etc. Relativamente, nos casos generalizados de lubrificação em banho de óleo, se os tipos de rolamentos forem posicionados pela ordem decrescente do limite de rotação, será aproximadamente como o indicado na figura 3.3.

3.4 Desalinhamento dos Anéis, Interno e Externo, e Tipo de Rolamento

Devido por exemplo, aos casos como o da flexão do eixo em função da carga, da imprecisão do eixo e alojamento, ou da deficiência na instalação, ocorrem desalinhamentos entre o anel interno e o anel externo do rolamento. O ângulo de desalinhamento permissível difere de acordo com o tipo de rolamento e as condições de utilização, em geral inferiores a 0.0012 radianos (4°).

Quando grandes desalinhamentos são previstos, devem ser selecionados os tipos com capacidade de auto-alinhamento (figuras 3.4 e 3.5), como os autocompensadores de esferas, os autocompensadores de rolos esféricos e as unidades de rolamentos.

Tipo de Rolamento	Velocidade Permissível Relativa				
	1	4	7	10	13
Fixos de Esferas					
Contato Angular de Esferas					
Rolos Cilíndricos					
Rolos Agulha					
Rolos Cônicos					
Autocompensador de Rolos					
Axiais de Esferas					

Obs:
■ Lubrificação em banho de óleo.
■ Com providências especiais nos rolamentos e conjugados.

Fig. 3.3 Comparação do Limite de Rotação em Função dos tipos de Rolamentos

Os ângulos de desalinhamento permissível são mencionados no pré-âmbulo de cada tipo de rolamento na tabela de dimensões.

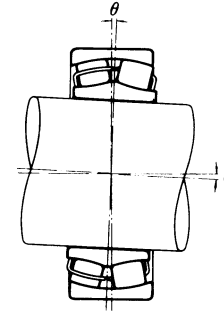


Fig. 3.4 Desalinhamento nos Rolamentos Autocompensadores de Rolos

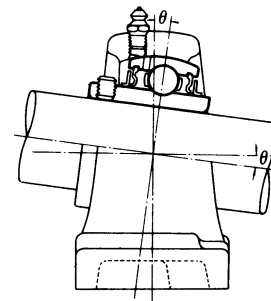


Fig. 3.5 Desalinhamento nas Unidades de Rolamentos

3.5 Rigidez e Tipo de Rolamento

Ao aplicar uma carga no rolamento, ocorre uma deformação elástica nas áreas de contato entre os corpos rolantes e a pista. A rigidez do rolamento é determinada em função proporcional da carga no rolamento e a intensidade da deformação elástica no anel interno, no anel externo e no corpo rolante.

Casos como o de fusos em máquinas-ferramentas, devido a necessidade de aumentar a rigidez do rolamento juntamente com a rigidez do eixo, é freqüente a seleção dos rolamentos de rolos, em razão da menor deformação pela carga que os rolamentos de esferas.

Além disto, a rigidez pode ser aumentada pelo método de pré-carregamento através da utilização do rolamento em condição de folga negativa. Os rolamentos de contato angular de esferas e os rolamentos de rolos cônicos são os mais apropriados para este método.

3.6 Ruído, Torque e Tipo de Rolamento

Os rolamentos por serem fabricados através de técnicas de usinagem de alta precisão, têm o ruído e o torque pequenos. Nos rolamentos como os fixos de esferas e os de rolos cilíndricos, têm estabelecidas as classes de ruído de acordo com as necessidades, e nos rolamentos miniaturas de esferas de alta precisão está regulamentado o torque de partida.

Os rolamentos fixos de esferas são os mais apropriados para as máquinas que requerem baixo ruído e baixo torque, como nos motores elétricos e instrumentos de medição.

3.7 Precisão de Giro e Tipo de Rolamento

Os rolamentos de alta precisão como os das classes 5, 4 e 2, são utilizados em aplicações de alta velocidade de rotação como os de superalimentadores, ou quando é requerida alta precisão nos desvios do corpo rotativo como em fusos de máquinas-ferramentas.

A precisão de giro dos rolamentos está regulamentada numa variedade de itens, as classes de precisão regulamentadas variam de acordo com o tipo de rolamento.

A figura 3.6 apresenta a comparação do desvio radial de giro do anel interno, na precisão máxima estabelecida no regulamento para cada tipo de rolamento.

Conseqüentemente, para aplicações que necessitem de alta precisão de giro são apropriados os rolamentos, principalmente, como os fixos de esferas, os de contato angular de esferas e os de rolos cilíndricos.

3.8 Instalação, Remoção e Tipo de Rolamento

Os tipos de rolamentos que têm os anéis internos e externos separáveis, como os rolamentos de rolos cilíndricos, de rolos agulha e de rolos cônicos, apresentam maior facilidade na instalação e na remoção. Estes tipos de rolamentos são apropriados para máquinas que tenham a instalação e a remoção do rolamento com relativa freqüência, em função de causas como a inspeção periódica.

Os rolamentos com furo cônico, como os autocompensadores de esferas e os autocompensadores de rolos (os de menor porte), podem ser instalados e removidos com relativa facilidade pela utilização de buchas.

Tipo de Rolamento	Classe Especificada de Maior Precisão	Comparação do Desvio Radial de Giro Permissível no Anel Interno				
		1	2	3	4	5
Fixos de Esferas	Classe 2					
Contato Angular de Esferas	Classe 2					
Rolos Cilíndricos	Classe 2					
Rolos Cônicos	Classe 4					
Autocompensador de Rolos	Classe N					

Fig. 3.6 Comparação do Limite Permissível para o Desvio de Giro do Anel Interno em Função dos Tipos de Rolamentos

4 SELEÇÃO DA DISPOSIÇÃO DOS ROLAMENTOS

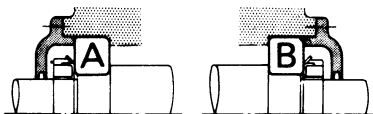
Normalmente, os eixos são apoiados por dois rolamentos e, quando do projeto, a disposição destes deve ser estudada considerando-se os itens a seguir:

- (1) Dilatação e contração do eixo em função da variação de temperatura.
- (2) Facilidade de instalação e remoção do rolamento.
- (3) Desalinhamento entre o anel interno e o anel externo em função de casos como a deficiência na instalação e a flexão do eixo.
- (4) Rigidez e método de pré-carga do conjunto completo relacionado à parte rotativa inclusive o rolamento.
- (5) A posição mais apropriada para apoiar a carga.

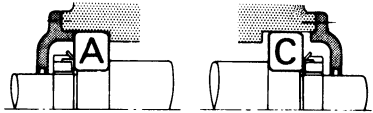
4.1 Rolamentos de Lado Fixo e Lado Livre

Dentre os rolamentos a serem dispostos, somente uma peça é determinada como de lado fixo e é usada para fixar o eixo posicionando axialmente o rolamento. Neste lado fixo, deve ser selecionado o tipo de rolamento que suporte a carga radial juntamente com a carga axial.

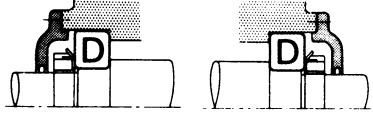
Os outros rolamentos, excluindo o de lado fixo, são determinados como de lado livre, suportando somente a carga radial devem permitir o deslocamento do eixo devido a dilatação ou contração pela variação de temperatura.



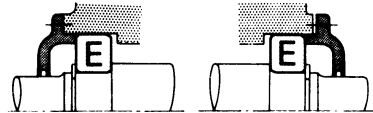
Lado fixo Lado livre (rol. separável)



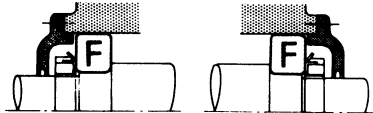
Lado fixo Lado livre (rol. não-separável)



Sem distinção entre lado fixo e lado livre



Sem distinção entre lado fixo e lado livre



Sem distinção entre lado fixo e lado livre

Além disso, pode ser também utilizado para o ajuste do posicionamento na direção axial.

A insuficiência de contramedidas para a dilatação ou contração do eixo em função da variação de temperatura, acarretará uma carga axial anormal no rolamento, podendo se tornar a causa de uma falha prematura.

Os rolamentos que permitem a separação dos anéis internos e externos, os rolamentos de rolos cilíndricos do tipo que também permite o deslocamento na direção axial (como os tipos NU e N), e os rolamentos radiais de rolos agulha, são os indicados como rolamentos de lado livre, o uso destes facilita a instalação e a remoção em grande número dos casos.

Normalmente, quando da utilização dos rolamentos não-separáveis no lado livre, o ajuste entre o anel externo e o alojamento é com folga, para permitir a fuga do eixo junto com o rolamento, quando da dilatação durante a operação. Além deste, há casos em que a fuga é pela superfície de ajuste do anel interno com o eixo.

Quando a influência da dilatação e contração do eixo é reduzida, pela pequena distância entre os rolamentos, são usadas duas peças contrapostas de rolamentos como o de contato angular de esferas e o de rolos cônicos, que suportam a carga axial numa única direção. A folga axial (intensidade de movimento na direção axial) após a instalação é ajustada através de porcas e calços.

A distinção entre lado livre e lado fixo, a disposição e os tipos de rolamentos são apresentados na figura 4.1.

<p>Rolamento A</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fixos de Esferas • Contato Angular de Esferas Combinados • Contato Angular de Duas Carreiras de Esferas • Autocomp. de Esferas • Rolos Cilíndricos com Rebordos (tipos NH, NUP) • Duas Carreiras de Rolos Cônicos • Autocomp. de Rolos 	<p>Rolamento B</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rolos Cilíndricos (tipos NU, N) • Rolos Agulha (tipo NA e outros)
<p>Rolamento C⁽¹⁾</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fixos de Esferas • Contato Angular de Esferas Combinados (costa a costa) • Contato Angular de Duas Carreiras de Esferas • Autocomp. de Esferas • Duas Carreiras de Rolos Cônicos (tipo KBE) • Autocomp. de Rolos 	
<p>Rolamento D, E⁽²⁾</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contato Angular de Esferas • Rolos Cônicos • Magneto • Rolos Cilíndricos (tipos NJ, NF) 	
<p>Rolamento F</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fixos de Esferas • Autocomp. de Esferas • Autocomp. de Rolos 	

Notas:
 (1) A fuga da dilatação ou contração do eixo na figura, é indicada para ocorrer na superfície do diâmetro externo, no entanto, há casos em que a fuga ocorre na superfície do furo.
 (2) São usadas duas peças contrapostas do mesmo tipo de rolamento.

4.2 Exemplos de Aplicação das Disposições dos Rolamentos

Casos representativos das disposições práticas, que têm consideradas a pré-carga e a rigidez, a dilatação e contração do eixo, a deficiência na instalação, entre outros, são apresentados na tabela 4.1.

Tabela 4.1 Disposições Representativas e Exemplos de Aplicações





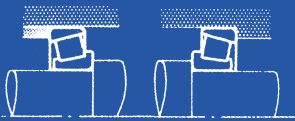
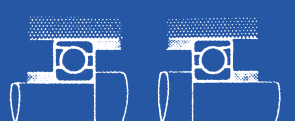
Disposição dos Rolamentos		Observação	Exemplos de Aplicações (referência)
Lado fixo	Lado livre		
		<ul style="list-style-type: none"> • Disposição básica em que não ocorre a incidência de carga axial anormal, mesmo que haja dilatação ou contração do eixo. • Adequado para uso em altas rotações quando a deficiência na instalação for pequena. 	Motores elétricos de porte médio, ventiladores industriais, etc.
		<ul style="list-style-type: none"> • Suporta cargas radiais elevadas, cargas de choque e certo grau de carga axial. • Os rolamentos de rolos cilíndricos por serem separáveis, são adequados para as aplicações com necessidade de interferência no anel interno e no externo. 	Motores de tração
		<ul style="list-style-type: none"> • Utilizados em casos de cargas relativamente elevadas. • O arranjo costa a costa é usado para obter rigidez no rolamento de lado fixo. • A precisão do eixo e alojamento deve ser melhorada, necessitando-se também, diminuir a deficiência na instalação. 	Mesa de rolos em usinas siderúrgicas, fusos de tornos, etc.
		<ul style="list-style-type: none"> • Pode-se utilizar também, quando da necessidade de interferência no anel interno e no anel externo em que não haja incidência de cargas axiais demasiadamente grandes. 	Rolos das calandras dos equipamentos para fabricação de papel, eixo de locomotiva diesel, etc.
		<ul style="list-style-type: none"> • Adequado para aplicações de alta rotação com carga radial elevada em que haja também a incidência de carga axial. • Através da folga entre o diâmetro externo do rolamento de esferas e o furo do alojamento, deve ser evitada a incidência da carga radial nesta peça. 	Redutor de velocidade de locomotiva diesel, etc.

continua na próxima página

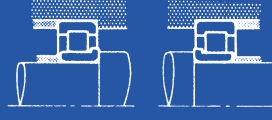

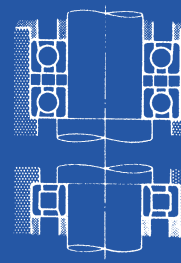
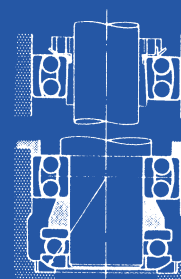
Fig. 4.1 Disposição e Tipo de Rolamento

4 SELEÇÃO DA DISPOSIÇÃO DOS ROLAMENTOS

Tabela 4.1 Disposições Representativas e Exemplos de Aplicações (continuação)

Disposição dos Rolamentos		Observação	Exemplos de Aplicações (referência)
Lado fixo	Lado livre		
		<ul style="list-style-type: none"> Disposição extremamente básica. Além da carga radial suporta certo grau de carga axial. 	Bombas centrífugas, transmissão de veículos automotores, etc.
		<ul style="list-style-type: none"> Disposição mais adequada quando houver deficiência na instalação ou flexão do eixo. Muito comum em máquinas industriais com cargas elevadas. 	Redutores de velocidade, mesa de rolos, rodeiro de pontes rolantes, etc.
		<ul style="list-style-type: none"> Adequado para casos com incidência de uma carga axial relativamente grande em ambas as direções, esquerda e direita. Em substituição à combinação do rolamento de contato angular de esferas, há casos também, de se utilizar o rolamento de contato angular de duas carreiras de esferas. 	Coroa do redutor de velocidade, etc.
Casos sem distinção entre lado fixo e lado livre.		Observação	Exemplos de Aplicações (referência)
		<ul style="list-style-type: none"> Disposição usada amplamente por suportar cargas elevadas e cargas de choque. O arranjo costa a costa é conveniente nos casos de atuação da carga de momento, principalmente, quando a distância entre os rolamentos for pequena. O arranjo face a face facilita a instalação quando da necessidade de interferência no anel interno. Além disso, é vantajoso para deficiências comuns na instalação. Requer atenção na intensidade da pré-carga e ajuste da folga em caso de se utilizar pré-carregado. 	Pinhão de diferencial, roda dianteira e traseira, coroa do redutor de velocidade, etc.
			
		<ul style="list-style-type: none"> Usa-se como sendo para alta rotação, quando a carga radial não for tão elevada e a carga axial relativamente grande. Adequado quando se aplica a pré-carga para obter rigidez no eixo. O arranjo costa a costa é superior ao arranjo face a face quanto a carga de momento 	Eixo de rebolo de retífica.

continua na próxima página

Casos sem distinção entre lado fixo e lado livre.	Observação	Exemplos de Aplicações (referência)
 Arranjo NJ + NJ	<ul style="list-style-type: none"> Resiste a cargas elevadas e cargas de choque. Pode-se utilizar também quando houver necessidade de interferência tanto no anel interno como no anel externo. Atentar para que a folga axial durante a operação não se torne excessivamente reduzida. Há Também o arranjo do tipo NF + NF. 	Máquinas de construção civil, etc.
	<ul style="list-style-type: none"> Há Também casos de se utilizar o anel de compensação na face lateral do anel externo de um dos rolamentos. 	Motores elétricos de pequeno porte, redutores de velocidade de pequeno porte, bombas de pequeno porte, etc.
Disposição na vertical	Observação	Exemplos de Aplicações (referência)
	<ul style="list-style-type: none"> A combinação dos rolamentos de contato angular de esferas é o lado fixo. O rolamento de rolos cilíndricos é o lado livre. 	Motores elétricos verticais, etc.
	<ul style="list-style-type: none"> O centro da superfície esférica da contra-placa deve coincidir com o centro do rolamento autocompensador de esferas. O rolamento superior é o lado livre. 	Máquina de tecelagem, etc.

5-SELEÇÃO DA DIMENSÃO DO ROLAMENTO

5.1 Vida do Rolamento

As funções requeridas para os rolamentos diferem de acordo com a aplicação, e devem ser mantidas necessariamente por um período além do determinado. O rolamento mesmo que utilizado corretamente, ao passar do tempo deixa de desempenhar de forma satisfatória, devido entre outros casos como o aumento de ruído e vibração, a redução da precisão pelo desgaste, a deterioração da graxa lubrificante ou o escamamento por fadiga na superfície de rolamento.

A vida do rolamento no amplo sentido do termo são estes períodos até a impossibilitação do uso, denominados respectivamente como, vida de ruído, vida de desgaste, vida de graxa ou vida de fadiga.

Além destas vidas existem outros casos que não permitem a utilização dos rolamentos, como o superaquecimento, a trinca e o lascamento, o arraste prejudicial nas pistas e danos nas placas de proteção. Estes são casos de natureza a serem distinguidos como vida pelo mau funcionamento do rolamento, freqüentemente com origem em erros, como de seleção do rolamento, da falha no projeto do eixo, alojamento e correlacionados, da falha na instalação, do erro no método de utilização ou da manutenção deficiente.

5.1.1 Vida de Fadiga e Vida Nominal

As pistas dos anéis internos e externos, juntamente com os corpos rolantes são submetidas a cargas cíclicas ininterruptas quando os rolamentos estiverem em rotação sob carga, por esta razão, em função da fadiga do material ocorre na superfície de contato da pista e dos corpos rolantes, falhas com desprendimento de material em forma de escamas, esta ocorrência (figura 5.1) é denominada de escamamento. O número total de revoluções até a ocorrência deste início de escamamento, é definido como vida de fadiga e é freqüentemente denominado, simplesmente, de vida.

A vida de fadiga do rolamento, mesmo operando em condições idênticas um grande número de rolamentos, que tenham as mesmas dimensões, construção, material, tratamento térmico, processo de fabricação, entre outros, apresentam uma dispersão considerável (figura 5.2). Isto ocorre devido a existência de dispersão natural na própria fadiga do material. Conseqüentemente, esta dispersão da vida é tratada como fenômeno estatístico e aplica-se a vida nominal definida a seguir.

A vida nominal é definida como sendo, o total do número de revoluções que um lote de rolamentos com o mesmo número possam girar sem apresentar escamamento em função da fadiga em 90% destes rolamentos, ao serem girados individualmente nas mesmas condições de operação.

Nos casos de operação em velocidades constantes são freqüentes a indicação da vida nominal pelo total de horas em operação.

Ao estudar a determinação da vida do rolamento, esta vida relativa à fadiga é usualmente o fator considerado; entretanto, de acordo com as funções requeridas ao rolamento, há necessidade de considerar juntamente alguns

limites de utilização. Exemplificando, há a vida de graxa nos rolamentos pré-lubrificadas (consultar capítulo 12 página A107), que pode ser calculada aproximadamente.

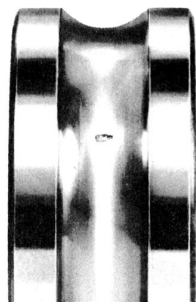
A vida de ruído e a vida de desgaste são freqüentemente definidas por antecipação baseadas nos limites obtidos empiricamente, isto se deve ao padrão dos limites de utilização que diferem de acordo com a aplicação do rolamento.

5.2 Capacidade de Carga Básica Dinâmica e Vida Nominal

5.2.1 Capacidade de Carga Básica Dinâmica

A capacidade de carga básica dinâmica que representa a capacidade de carga do rolamento, é definida como a carga de direção e intensidade constantes que resulte na vida nominal de um milhão de revoluções (10⁶ revoluções), na condição de anel interno em movimento e o anel externo em repouso. No rolamento radial toma-se a carga radial central de direção e intensidade constantes, no rolamento axial toma-se a carga axial, coincidente ao eixo central, de direção e intensidade constante. A capacidade de carga básica dinâmica C, para cada um dos rolamentos é relacionada nas tabelas de dimensões, como Cr nos rolamentos radiais e Ca nos rolamentos axiais.

Fig. 5.1 Escamamento na Pista



5.2.2 Equipamentos para o uso de Rolamentos e Vida de Projeto

Ao selecionar os rolamentos tomar futilmente uma vida nominal longa, implicará no aumento proporcional de tamanho dos rolamentos tornando-se antieconômico. Além

Fig. 5.2 Dispersão da Vida do Rolamento

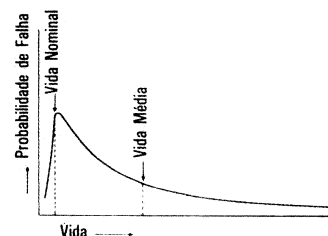


Tabela 5.1 Coeficiente de Vida f_h e Exemplos de Aplicações

Condições de trabalho	Valores de f _h e Aplicações				
	~3	2-4	3-5	4-7	6~
Uso esporádico ou curto período	• Pequenos motores para aspiradores e máquinas de lavar domésticos • Ferramentas elétricas	• Máquinas agrícolas			
Uso ocasional mas requer funcionamento seguro		• Motores para aparelhos de ar condicionado doméstico • Máquinas de construção civil	• Roletes de correias transportadoras • Elevadores		
Uso intermitente mas relativamente em períodos longos	• Pescoço de cilindros de laminação	• Pequenos Motores • Guindastes de convés • Pontes rolantes • Caixas de pinhão • Veículos de passeio	• Motores industriais • Máquinas operatrizes • Sistemas de engrenamento em geral • Peneiras vibratórias • Britadores	• Roldanas de guindastes • Compressores • Importantes sistemas de engranamento	
Uso contínuo por longos períodos ou acima de 8 horas diárias		• Escadas rolantes	• Separadores centrifugos • Sistemas de ar Condicionado • Sopradores • Máquinas de marcenaria • Grandes motores • Rodeiros de carros de passageiros	• Guindastes de mineração • Volantes de prensas • Motores de tração • Rodeiros de locomotivas	• Máquinas para indústria de papel
Uso ininterrupto de 24 horas sem admitir parada accidental					• Sist. Fornec. De água • Equip. de Hidrelétricas • Bombas de drenagem de minas

disto, há casos em que devido a itens como resistência, rigidez e dimensões de instalação do eixo, nem sempre é possível se basear na vida nominal. Os rolamentos usados nos vários tipos de equipamentos, dependendo das condições de uso têm vidas de projeto que servem como orientação, se estas forem indicadas por coeficiente da vida (consulte tabela 5.2) empírica, serão conforme a tabela 5.1.

5.2.3 Seleção da Dimensão do Rolamento em função da Capacidade de Carga Básica Dinâmica

Entre a capacidade de carga básica, a carga no rolamento e a vida nominal há a seguinte relação:

Rolamento de Esferas $L = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \dots\dots\dots(5.1)$

Rolamento de Rolos $L = \left(\frac{C}{P}\right)^{\frac{3}{10}} \dots\dots\dots(5.2)$

Onde L: Vida nominal (10⁶ rev.)
 P: Carga no rolamento (equivalente) (N), {kgf}
referência na página A30
 C: Capacidade de carga básica dinâmica (N), {kgf}
 Indicado como: C_r no rolamento radial e C_a no rolamento axial

No caso dos rolamentos utilizados a uma velocidade constante, a indicação da vida do rolamento em horas torna-se mais conveniente. Em automóveis e rodeiros, geralmente, são indicadas em números de quilômetros percorridos (número total de revoluções).

Considerando, L_h (h) a vida nominal do rolamento, n (rpm) a velocidade de rotação, f_h o coeficiente de vida e f_n o coeficiente de velocidade, podem-se obter relações como a da tabela 5.2.

Tabela 5.2 Vida Nominal, Coeficiente de Vida e Coeficiente de Velocidade

Classificação	Rolamento de esferas	Rolamento de rolos
Vida Nominal	$L_h = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P}\right)^3 = 500f_h^3$	$L_h = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P}\right)^{\frac{10}{3}} = 500f_h^{\frac{10}{3}}$
Coeficiente de Vida	$f_h = f_n \frac{C}{P}$	$f_h = f_n \frac{C}{P}$
Coeficiente de Velocidade	$f_n = \left(\frac{10^6}{500 \times 60n}\right)^{\frac{1}{3}} = (0.03n)^{\frac{1}{3}}$	$f_n = \left(\frac{10^6}{500 \times 60n}\right)^{\frac{3}{10}} = (0.03n)^{\frac{3}{10}}$

n, f_n..... Fig. 5.3 (pág. A26), Apêndice tabela 12 (pág. C24)

L_h, f_h Fig. 5.4 (pág. A26), Apêndice tabela 13 (pág. C25)

5-SELEÇÃO DA DIMENSÃO DO ROLAMENTO

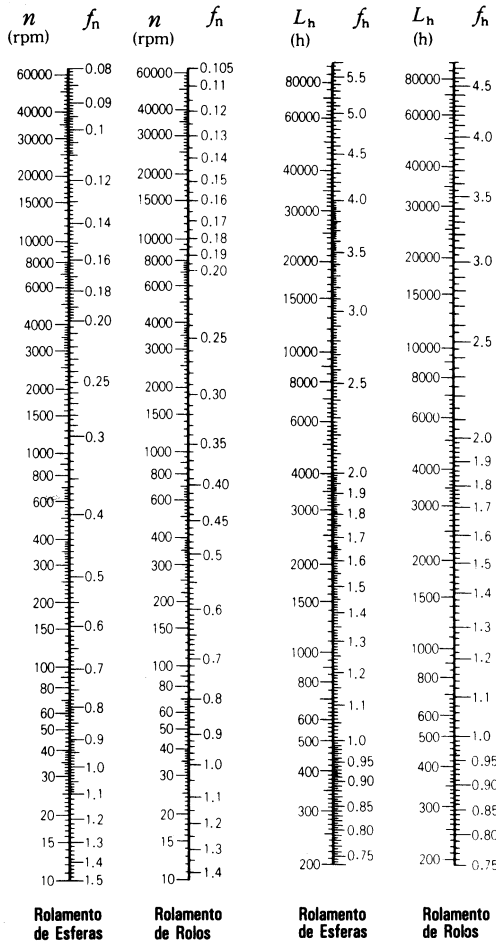


Fig. 5.3 Velocidade de Rotação e coeficiente de Velocidade

Fig. 5.4 Vida Nominal e Coeficiente de Vida

Ao atribuir como condição de uso, a carga de rolamento P e a velocidade de rotação n e caso definido o coeficiente de vida f_h como sendo a vida de projeto do rolamento para a máquina, a capacidade de carga básica C necessária pode ser obtida pela equação seguinte:

$$C = \frac{f_h \cdot P}{f_n} \dots\dots\dots(5.3)$$

O rolamento que satisfaça este valor de C deve ser selecionado a partir das tabelas de dimensões.

5.2.4 Correção da Capacidade de Carga Básica em função da Temperatura

A dureza dos rolamentos diminuem quando usados em altas temperaturas, como acima de 120°C, e em relação aos casos de uso em temperaturas normais têm a vida reduzida.

Conseqüentemente, há necessidade de estimar a redução proporcional na capacidade de carga pela equação seguinte:

$$C_t = f_t \cdot C \dots\dots\dots(5.4)$$

Onde: C_t : Capacidade de carga corrigida em função da temperatura de trabalho (N), {kgf}
 f_t : Coeficiente de temperatura (tabela 5.3)
 C : Capacidade de carga básica (N), {kgf}

Além disto, os rolamentos quando utilizados em temperaturas superiores a 120°C, de acordo com o tamanho podem apresentar alterações dimensionais sensíveis; nestes casos deve ser estudado a necessidade ou não do tratamento de estabilização dimensional.

A capacidade de carga básica dos rolamentos com tratamento de estabilização dimensional pode tornar-se menor que a capacidade relacionada nas tabelas de dimensões.

Tabela 5.3 Coeficiente de Temperatura f_t

Temperatura do Rolamento °C	125	150	175	200	250
Coeficiente de Temperatura f_t	1.00	1.00	0.95	0.90	0.75

5.2.5 Correção da Vida Nominal

Conforme tratado anteriormente, as equações básicas para o cálculo da vida nominal são as seguintes:

$$\text{Rolamento de Esferas } L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \dots\dots\dots(5.5)$$

$$\text{Rolamento de Rolos } L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^{\frac{10}{3}} \dots\dots\dots(5.6)$$

A vida L_{10} é ainda definida como a vida nominal com 90% de confiabilidade. Entretanto, dependendo do equipamento em que são empregados os rolamentos, há casos que requerem uma vida nominal presumida com acima de 90% de confiabilidade. Por outro lado, recentes aprimoramentos no material dos rolamentos proporcionaram a elevação da vida nominal; além disso, em função das pesquisas no campo da teoria de lubrificação elasto-hidrodinâmica, possibilitou-se a compreensão da influência significativa da espessura de película lubrificante, da área de contato entre a pista e os corpos rolantes, na vida dos rolamentos.

Como reflexo destes aprimoramentos no cálculo da vida, efetua-se a correção da vida nominal através dos coeficientes a seguir:

$$L_{na} = a_1 a_2 a_3 L_{10} \dots\dots\dots(5.7)$$

Onde

L_{na} : Vida nominal considerando-se a confiabilidade, aprimoramento no material, condição de lubrificação, etc.

L_{10} : Vida nominal com 90% de confiabilidade

a_1 : Coeficiente de confiabilidade

a_2 : Coeficiente de material

a_3 : Coeficiente das condições de uso

Os coeficientes de confiabilidade a_1 para confiabilidades superiores a 90% estão relacionados na tabela 5.4.

O coeficiente de material a_2 deve ser tomado acima de 1 por ser um coeficiente para a correção do prolongamento da vida em função de aprimoramento do material.

A NSK emprega de forma generalizada o aço para rolamento desgaseificado a vácuo, rigorosamente selecionado.

Os resultados dos testes em laboratório próprio, com os rolamentos normais deste material, comprovaram o considerável efeito no prolongamento da vida.

As capacidades de carga básica dinâmica C_r e C_a , relacionadas nas tabelas de dimensões têm considerado o efeito de prolongamento da vida em função de aprimoramento do material e da tecnologia de fabricação. Conseqüentemente, em caso de estimar a vida através da equação 5.7 é suficiente considerar $a_2 = 1$.

Tabela 5.4 Coeficiente de Confiabilidade a_1

Confiabilidade (%)	90	95	96	97	98	99
a_1	1.00	0.62	0.53	0.44	0.33	0.21

O coeficiente das condições de utilização a_3 é o coeficiente de correção da vida em função das condições de utilização do rolamento, particularmente para a influência das condições de lubrificação.

O coeficiente $a_3 \geq 1$ pode ser tomado em casos que possibilitem a expectativa de uma suficiente espessura da película de óleo no rolamento em operação, sem que haja desalinhamento entre os anéis interno e externo. Contudo, deve ser $a_3 < 1$ nos seguintes casos:

- Quando a viscosidade do óleo lubrificante na área de contato entre as pistas e os corpos rolantes for baixa.
- Quando a velocidade periférica do corpo rolante for muito baixa.
- Quando a temperatura no rolamento for alta.
- Quando o lubrificante estiver contaminado.
- Quando o desalinhamento entre os anéis interno e externo for grande.

O coeficiente das condições de utilização a_3 é difícil de se indicar quantitativamente em função de cada uma das condições de utilização, devido a existência de muitas áreas de influência desconhecidas na atualidade.

Ainda, devido ao coeficiente de material a_2 sofrer influência das condições de uso, há também a possibilidade de considerar a_2 e a_3 sem tomar como coeficientes independentes, e sim, combinados num único valor ($a_2 \times a_3$). Neste caso, em condições normais de lubrificação e utilização, como valor de ($a_2 \times a_3$) pode ser tomado o 1, mas quando a viscosidade do óleo lubrificante for baixa demais, o valor pode reduzir-se a níveis tão baixos quanto 0.2.

Valores de ($a_2 \times a_3$) aproximados a 2 podem ser tomados quando não houver influências como o do desalinhamento e se forem utilizados óleos lubrificantes de alta viscosidade, que possam assegurar suficiente espessura fluida de película do óleo na temperatura de operação.

A seleção do rolamento em função da capacidade de carga básica dinâmica, deve considerar de acordo com a necessidade o coeficiente de confiabilidade a_1 apropriado para cada aplicação e baseado nos equipamentos similares tradicionais, quanto a condições como a de lubrificação, de temperatura e de instalação, deve ser determinado através dos valores de C/P ou f_h obtidos empiricamente, para cada tipo de máquina.

5-SELEÇÃO DA DIMENSÃO DO ROLAMENTO

5.3 Cálculo da Carga no Rolamento

As cargas atuantes nos rolamentos, geralmente, são as da massa do corpo sustentado pelo rolamento, da massa do próprio corpo em rotação, a da força de transmissão das engrenagens e correias, e as cargas de origem no trabalho da máquina. Entre estas cargas há as que permitem o cálculo teórico, embora algumas delas sejam difíceis de ser calculadas. Além disto, muitas máquinas estão sujeitas a vibrações e choques durante o funcionamento, o que dificulta obter com exatidão a totalidade das cargas atuantes no rolamento. Portanto, para se obter a mais correta carga no rolamento, deve-se considerar na carga calculável diversos coeficientes deduzidos empiricamente.

5.3.1 Coeficiente de Carga

Não obstante as cargas radiais ou axiais tenham sido obtidas através de cálculos, as cargas que atuam efetivamente nos rolamentos são, em função das vibrações e choques nas máquinas, maiores que as calculadas em grande número dos casos. Esta carga pode ser obtida pelas equações seguintes:

$$\left. \begin{aligned} F_r &= f_w \cdot F_{rc} \\ F_a &= f_w \cdot F_{ac} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.8)$$

Onde F_r, F_a : Carga atuante no rolamento (N), {kgf}
 F_{rc}, F_{ac} : Carga calculada teoricamente (N), {kgf}
 f_w : Coeficiente de carga

Os valores indicados na tabela 5.5 são orientativos para o coeficiente de carga f_w .

Tabela 5.5 Valores de Coeficiente de Carga f_w

Condições de operação	Exemplos de Aplicação	f_w
Operação suave e sem choque	Motores elétricos, máquinas operatrizes, ar condicionado	1~1.2
Operação normal	Sopradores, elevadores, compressores, guindastes, máquinas para indústria de papel	1.2~1.5
Operação com choque, vibração ou ambos	Máquinas de construção civil, britadores, peneiras vibratórias, laminadores	1.5~3

5.3.2 Cargas em Acionamentos por Correia ou por Corrente

A força atuante nas polias e nas rodas dentadas onde o esforço de movimentação é transmitido através de correias ou correntes, pode ser encontrada pela equação a seguir:

$$\left. \begin{aligned} M &= 9.550.000H / n \dots\dots\dots (N.mm) \\ M &= 974.000H / n \dots\dots\dots (kgf.mm) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.9)$$

$$P_k = M / r \dots\dots\dots (5.10)$$

Onde:

- M : Torque atuante na polia ou roda dentada (N.mm), {kgf.mm}
- P_k : Força efetiva de acionamento da correia ou roda dentada (N), {kgf}
- H : Potência de acionamento (kW)
- n : Velocidade de rotação (rpm)
- r : Raio efetivo da polia ou roda dentada (mm)

No caso de acionamento por correia, a carga K_b no eixo da polia deve ser calculada, aplicando-se o coeficiente de correia f_b que tem considerada a tensão na correia, sobre a força efetiva de acionamento. O valor de f_b deve ser tomado conforme indicado na tabela 5.6 pelo tipo de correia.

$$K_b = f_b \cdot P_k \dots\dots\dots (5.11)$$

No caso de acionamento por corrente, os valores correspondentes a f_b devem ser de 1.25 a 1.5.

Tabela 5.6 Valores de Coeficiente de Correia f_b

Tipo de Correia	f_b
Correia dentada	1.3~2
Correia V	2~2.5
Correia plana com polia tensora	2.5~3
Correia plana	4~5

5.3.3 Cargas em Acionamentos por Engrenagens

O método de cálculo da carga atuante nas engrenagens difere de acordo com o tipo de engrenagem. No caso mais simples, o de engrenagem de dentes retos, a carga é calculada pela equação a seguir:

$$\left. \begin{aligned} M &= 9.550.000H / n \dots\dots\dots (N.mm) \\ M &= 974.000H / n \dots\dots\dots (kgf.mm) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.12)$$

$$P_k = M / r \dots\dots\dots (5.13)$$

$$S_k = P_k \cdot \tan \theta \dots\dots\dots (5.14)$$

$$K_c = \sqrt{P_k^2 + S_k^2} = P_k \cdot \sec \theta \dots\dots\dots (5.15)$$

Onde

- M : Torque atuante na engrenagem (N.mm), {kgf.mm}
- P_k : Força tangencial na engrenagem (N), {kgf}
- S_k : Força radial na engrenagem (N), {kgf}
- K_c : Força combinada na engrenagem (N), {kgf}
- H : Potência de acionamento (kW)
- n : Velocidade de rotação (rpm)
- r : Raio do diâmetro primitivo da engrenagem motriz (mm)
- θ : Ângulo de pressão

Além da carga teórica calculada acima, se somam a vibração e o choque de origem na precisão da engrenagem; em razão disto, deve ser considerado o coeficiente de engrenagem f_g , que aplicado à carga calculada teoricamente determinará a carga efetiva.

Os valores da tabela 5.7 são tomados, normalmente, para f_g . Ainda, quando for acompanhada por vibrações de outras fontes, a carga efetiva é obtida aplicando-se o coeficiente de carga no coeficiente de engrenagem.

Tabela 5.7 Valores de Coeficiente de Engrenagem f_g

Grau de Acabamento da Engrenagem	f_g
Retífica de precisão	1~1.1
Usinagem normal	1.1~1.3

5.3.4 Distribuição da Carga nos Rolamentos

Nos exemplos simplificados das figuras 5.5 e 5.6, as cargas radiais que atuam nos rolamentos I e II podem ser calculadas pelas equações seguintes:

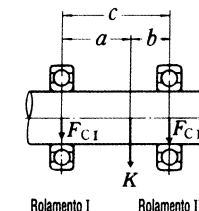
$$F_{CI} = \frac{b}{c} K \dots\dots\dots (5.16)$$

$$F_{CII} = \frac{a}{c} K \dots\dots\dots (5.17)$$

Onde:

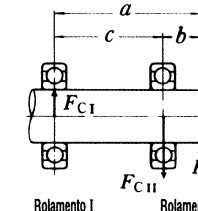
- F_{CI} : Carga no rolamento I (N), {kgf}
- F_{CII} : Carga no rolamento II (N), {kgf}
- K : Carga no eixo (N), {kgf}

Quando estes casos se aplicam simultaneamente, deve-se obter a carga radial para cada caso e somar os vetores de acordo com a direção da carga.



Rolamento I Rolamento II

Fig. 5.5 Distribuição da Carga Radial (1)



Rolamento I Rolamento II

Fig. 5.6 Distribuição da Carga Radial (2)

5.3.5 Média da Carga Variável

O cálculo da vida nos casos em que ocorrem diversas variações na carga atuante no rolamento, deve ser pela carga média que apresente uma vida correspondente ao que seria obtida nas condições de carga variável.

(1) Quando a relação entre a carga e a velocidade de rotação permitir uma divisão escalonada (figura 5.7).

Carga F_1 na rotação n_1 pelo tempo t_1

Carga F_2 na rotação n_2 pelo tempo t_2

⋮

Carga F_n na rotação n_n pelo tempo t_n

Neste caso, a carga média F_m pode ser calculada pela equação a seguir:

$$F_m = \sqrt[p]{\frac{F_1^p n_1 t_1 + F_2^p n_2 t_2 + \dots + F_n^p n_n t_n}{n_1 t_1 + n_2 t_2 + \dots + n_n t_n}} \dots\dots\dots (5.18)$$

Onde F_m : Média da carga variável (N), {kgf}

$p = 3$ para rolamento de esferas

$p = 10/3$ para rolamento de rolos

5-SELEÇÃO DA DIMENSÃO DO ROLAMENTO

A média da velocidade de rotação n_m pode ser calculada pela equação a seguir:

$$n_m = \frac{n_1 t_1 + n_2 t_2 + \dots + n_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \dots\dots(5.19)$$

(2) Quando a carga variar quase que linearmente (figura 5.8), a carga média F_m pode ser calculada aproximadamente pela equação a seguir:

$$F_m \cong \frac{1}{3}(F_{min} + 2F_{max}) \dots\dots(5.20)$$

Onde,

- F_{min} : Carga variável mínima (N), {kgf}
- F_{max} : Carga variável máxima (N), {kgf}

(3) Quando a carga variar em forma de curva senoidal (figura 5.9), a carga média F_m pode ser calculada aproximadamente pelas seguintes equações:

No caso da figura 5.9 (a)

$$F_m \cong 0.65 F_{max} \dots\dots(5.21)$$

No caso da figura 5.9 (b)

$$F_m \cong 0.75 F_{max} \dots\dots(5.22)$$

(4) Quando forem aplicadas cargas giratórias e cargas estacionárias (figura 5.10).

- F_R : Carga Giratória (N), {kgf}
- F_S : Carga estacionária (N), {kgf}

A carga média F_m pode ser calculada aproximadamente pelas seguintes equações:

a) Quando $F_R \cong F_S$

$$F_m \cong F_r + 0.3F_s + 0.2 \frac{F_s^2}{F_r} \dots\dots(5.23)$$

b) Quando $F_R < F_S$

$$F_m \cong F_r + 0.3F_s + 0.2 \frac{F_s^2}{F_s} \dots\dots(5.24)$$

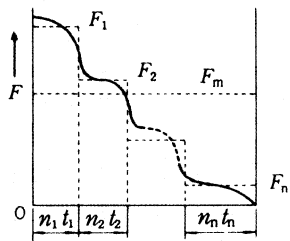


Fig. 5.7 Carga de Variação Escalonada

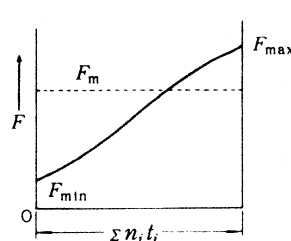


Fig. 5.8 Carga de Variação Simples

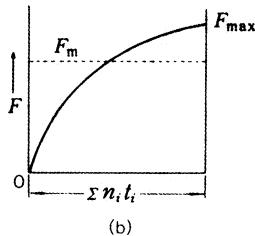
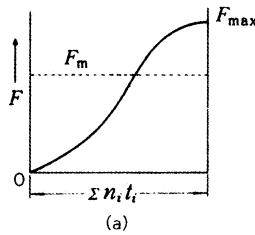


Fig. 5.9 Carga de Variação em forma de Curva Senoidal

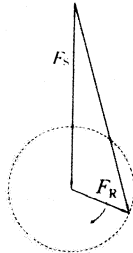


Fig. 5.10 Cargas Giratória e Estacionária

5.4 Carga Dinâmica Equivalente

As cargas que atuam nos rolamentos, em alguns casos se aplicam puramente radiais ou axiais; Na realidade, contudo, são maiores as aplicações simultâneas das cargas radiais e axiais combinadas, havendo também os casos de variação da intensidade e direção destas cargas.

Em casos como estes, pela inviabilidade de usar diretamente a carga que atua no rolamento para o cálculo da vida, deve ser estimada uma carga hipotética que passe pelo centro do rolamento, de intensidade constante, que possibilite uma vida correspondente à vida real do rolamento nas diversas condições de carga e rotação. Esta carga hipotética é definida como carga dinâmica equivalente.

5.4.1 Cálculo da Carga Dinâmica Equivalente

A carga dinâmica equivalente nos rolamentos radiais pode ser calculada através da equação seguinte:

$$P = XF_r + YF_a \dots\dots(5.25)$$

Onde

- P: Carga dinâmica equivalente (N), {kgf}
- Fr: Carga radial (N), {kgf}
- Fa: Carga axial (N), {kgf}
- X: Coeficiente de carga radial
- Y: Coeficiente de carga axial

Os valores de X e Y estão relacionados nas tabelas de dimensões.

Os rolamentos axiais de esferas normais não podem receber cargas radiais, mas os rolamentos axiais autocompensadores de rolos permitem a aplicação de certa carga radial. A carga dinâmica equivalente, neste caso, pode ser calculada através da equação seguinte:

$$P = F_a + 1.2F_r \dots\dots(5.26)$$

Quando $\frac{F_r}{F_a} \leq 0.55$

5.4.2 Componentes de Direção Axial nos Rolamentos de Esferas de Contato Angular e de Rolos Cônicos

O centro da linha de carga (centro efetivo da carga) nos rolamentos de esferas de contato angular e de rolos cônicos, conforme indicado na figura 5.11, fica no ponto de interseção do prolongamento da linha de contato da carga com a linha de centro do eixo. A posição do centro da linha de carga está relacionada nas tabelas de dimensões.

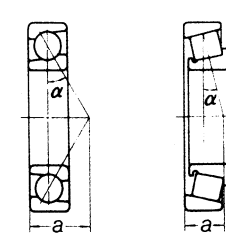


Fig. 5.11 Centro Efetivo da Carga

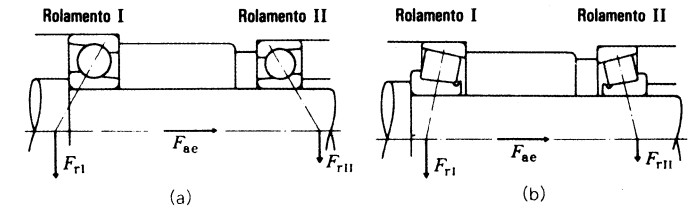


Fig. 5.12 Cargas Atuantes nos Rolamentos Contrapostos

A ação da carga radial nestes tipos de rolamentos, dá origem a componente de direção axial, em razão disto, são utilizadas duas peças contrapostas do mesmo tipo de rolamento. A componente na direção axial pode ser calculada através da equação seguinte:

$$F_{ai} = \frac{0.6}{Y} F_r \dots\dots(5.27)$$

Onde,

- F_{ai}: Componente na direção axial (N), {kgf}
- F_r: Carga Radial (N), {kgf}
- Y: Coeficiente de carga axial

Considerando-se o caso da atuação da carga axial F_{ae} de origem externa, na direção da flecha da figura 5.12, juntamente com as cargas radiais F_{rI} e F_{rII} nos rolamentos I e II respectivamente, e fazendo-se Y_I e Y_{II} como os respectivos coeficientes de carga axial e X como coeficiente de carga radial, a carga dinâmica equivalente P_I e P_{II} pode ser calculada através das equações seguintes:

Quando $F_{ae} + \frac{0.6}{Y_{II}} F_{rII} \cong \frac{0.6}{Y_I} F_{rI}$

$$P_I = XF_{rI} + Y_I \left(F_{ae} + \frac{0.6}{Y_{II}} F_{rII} \right) \dots\dots(5.28)$$

$$P_{II} = F_{rII}$$

Quando $F_{ae} + \frac{0.6}{Y_{II}} F_{rII} < \frac{0.6}{Y_I} F_{rI}$

$$P_I = F_{rI}$$

$$P_{II} = XF_{rII} + Y_{II} \left(\frac{0.6}{Y_I} F_{rI} - F_{ae} \right) \dots\dots(5.29)$$

5-SELEÇÃO DA DIMENSÃO DO ROLAMENTO

5.5 Capacidade de Carga Básica Estática e Carga Estática Equivalente

5.5.1 Capacidade de Carga Básica Estática

Os rolamentos quando submetidos a uma carga excessiva ou uma grande carga de choque, apresentam uma deformação parcial permanente nas pistas e nos corpos rolantes.

A intensidade desta deformação aumenta de acordo com o aumento da carga, e ao exceder determinado limite, o giro suave do rolamento será impedido.

A capacidade de carga básica estática é definida como a carga estática que resulte nas tensões de contato, relacionadas a seguir, calculadas no centro da área de contato entre o corpo rolante submetido à tensão máxima e a superfície da pista.

Rols. autocompensadores de esferas	4 600 Mpa {469 kgf/mm ² }
Outros rolamentos de esferas	4 200 Mpa {428 kgf/mm ² }
Rolamentos de rolos	4 000 Mpa {408 kgf/mm ² }

A soma da deformação permanente no corpo rolante e nas pistas, na área de contato submetida a esta tensão de contato, será de aproximadamente 0.0001 do diâmetro do corpo rolante.

A capacidade de carga básica estática C_0 , relativa a cada um dos rolamentos é apresentada nas tabelas de dimensões, como C_{0r} nos rolamentos radiais e como C_{0a} nos rolamentos axiais.

Além disto, acompanhando a alteração dos critérios para a capacidade de carga básica estática pela norma ISO, os novos valores de C_0 para rolamentos de esferas da NSK estão cerca de 0.8 a 1.3 vezes os valores anteriores e nos rolamentos de rolos cerca de 1.5 a 1.9 vezes.

Conseqüentemente, os coeficientes de carga estática permissível f_s indicados em 5.5.3 estão também modificados, devendo-se pois, tomar a devida atenção.

5.5.2 Carga Estática Equivalente

A carga estática equivalente é a carga hipotética que faz resultar na área de contato da pista com o corpo rolante que será submetido à tensão máxima, uma tensão de contato equivalente à tensão máxima de contato que resulte das condições reais de carga, quando o rolamento estiver estacionário (inclusive rotação extremamente baixa ou oscilação lenta). Nos rolamentos radiais toma-se a carga radial que passa pelo centro do rolamento, e nos rolamentos axiais toma-se a carga axial de direção coincidente ao eixo central.

(a) Carga estática equivalente nos rolamentos radiais.

O maior dos dois valores calculados a partir das equações a seguir, deve ser adotado como carga estática equivalente

nos rolamentos radiais.

$$P_o = X_o F_r + Y_o F_a \dots\dots\dots(5.30)$$

$$P_o = F_r \dots\dots\dots(5.31)$$

Onde

P_o : Carga estática equivalente (N), {kgf}

F_r : Carga radial (N), {kgf}

F_a : Carga axial (N), {kgf}

X_o : Coeficiente de carga radial estática

Y_o : Coeficiente de carga axial estática

(b) Carga estática equivalente nos rolamentos axiais

$$P_o = X_o F_r + F_a \quad \alpha \neq 90^\circ \dots\dots\dots(5.32)$$

Onde

P_o : Carga estática equivalente (N), {kgf}

α : Ângulo de contato nominal

Entretanto, quando $F_a < X_o F_r$, esta equação se torna menos precisa.

Os valores de X_o e Y_o para as equações (5.30) e (5.32) estão relacionados nas tabelas de dimensões.

5.5.3 Coeficiente de Carga Estática Permissível

A carga estática equivalente permissível nos rolamentos, difere em função da capacidade de carga básica estática e as condições de operação.

O coeficiente de carga estática permissível f_s , para a verificação do grau de segurança em relação à capacidade de carga básica estática, pode ser encontrado pela equação (5.33). Os valores de f_s geralmente recomendados estão indicados na tabela 5.8.

Acompanhando a alteração da capacidade de carga estática, especialmente nos rolamentos de rolos que tiveram os valores de C_0 aumentados, os valores de f_s foram alterados, em razão disto, deve-se tomar atenção suficiente quando da sua aplicação.

$$f_s = \frac{C_o}{P_o} \dots\dots\dots(5.33)$$

Onde

C_o : Capacidade de carga básica estática (N), {kgf}

P_o : Carga estática equivalente (N), {kgf}

Normalmente, para os rolamentos axiais autocompensadores de rolos deverá ser $f_s \geq 4$.

Tabela 5.8 Coeficiente de Carga Estática Permissível f_s

Condição de Operação	Limite Inferior de f_s	
	Rol. de Esferas	Rol. de Rolos
Requer baixo ruído em especial	2	3
Casos com vibração e choque	1.5	2
Casos de operação normal	1	1.5

5.6 Carga Axial Permissível nos Rolamentos de Rolos Cilíndricos

Os rolamentos de rolos cilíndricos com rebordos no anel interno e anel externo ou com anéis de encosto, permitem a atuação simultânea da carga radial e carga axial de certo grau.

A carga axial permissível é limitada em função do aquecimento ou superaquecimento devido ao deslizamento entre as faces dos rolos e da lateral dos rebordos.

A carga axial permissível para os rolamentos da série de diâmetro 3, carregados continuamente e lubrificadas a graxa ou a óleo, está indicada na figura 5.13.

Lubrificação a graxa (equação empírica)

$$C_A = 9.8 f \left\{ \frac{900(k.d)^2}{n+1500} - 0.023(k.d)^{2.5} \right\} \dots(N) \dots\dots\dots(5.34)$$

$$C_A = f \left\{ \frac{900(k.d)^2}{n+1500} - 0.023(k.d)^{2.5} \right\} \dots\{kgf\}$$

Lubrificação a óleo (equação empírica)

$$C_A = 9.8 f \left\{ \frac{490(k.d)^2}{n+1000} - 0.000135(k.d)^{3.4} \right\} \dots(N) \dots\dots\dots(5.35)$$

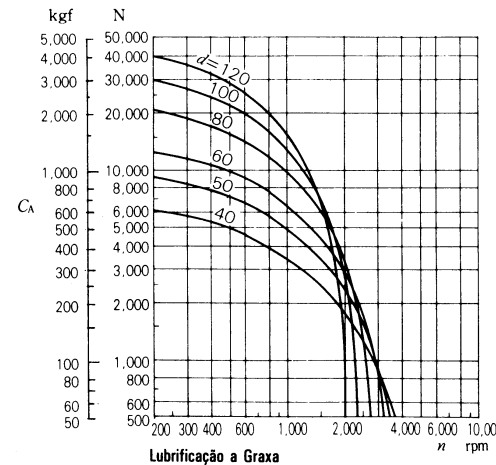
$$C_A = f \left\{ \frac{490(k.d)^2}{n+1000} - 0.000135(k.d)^{3.4} \right\} \dots\{kgf\}$$

Onde

C_A : Carga axial permissível (N), {kgf}

d : Diâmetro nominal do furo (mm)

n : Velocidade de rotação (rpm)



f : Coeficiente de Carga

k : Coeficiente de Dimensão

Carregamento	f
Contínuo	1
Intermitente	2
Curtos períodos	3

Séries de Diâmetro	k
2	0.75
3	1
4	1.2

Além disto, para que os rolamentos de rolos cilíndricos demonstrem uma estável capacidade de carga axial, precauções como as relacionadas em seguida são necessárias para o rolamento e os adjacentes:

- Quando a carga axial for aplicada, deverá com certeza ter a carga radial aplicada.
- Deve-se garantir lubrificante em suficiência entre as faces do rolo e da lateral do rebordo.
- Usar lubrificantes com alto poder de extrema pressão.
- Efetuar suficientemente a operação de amaciamento.
- Melhorar a precisão de instalação.
- A folga radial não deve ser tomada maior que a necessária.

Nos casos em que a velocidade de rotação dos rolamentos é extremamente baixa, ou em que são superiores a 50% do limite de rotação, ou ainda, em casos de rolamentos de rolos cilíndricos de grande porte, como os de diâmetro interno acima de 200mm, é necessário um cuidadoso estudo para cada caso com referência à lubrificação, resfriamento, etc.

Consulte a NSK em casos semelhantes.

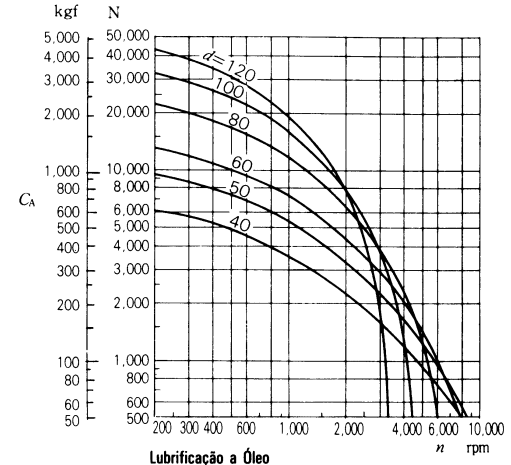


Fig. 5.13 Carga Axial Permissível nos Rolamentos de Rolos Cilíndricos Para rolamentos da série de diâmetro 3 ($k=1.0$) em carregamento contínuo ($f=1$)

5.7 Exemplos de Cálculos

(Exemplo 1)

Determinar o coeficiente de vida nominal f_h do rolamento **6208** sob carga radial

$F_r = 2\,500\text{N}$, {255kgf} e velocidade $n = 900\text{ rpm}$

A capacidade de carga básica C_r do **6208** é de 29 100N, {2970 kgf} (pág. B10, tabela de dimensões). Como somente a carga radial atua sobre o rolamento, a carga dinâmica equivalente P será conforme o abaixo:

$$P = F_r = 2\,500\text{N}, \{255\text{kgf}\}$$

Como a velocidade $n = 900\text{ rpm}$, o coeficiente de velocidade f_n pode ser obtido da equação da tabela 5.2 (pág. A25) ou pela figura 5.3 (pág. A26).

$$f_n = 0.333$$

Nestas condições, o coeficiente de vida nominal f_h será:

$$f_h = f_n \frac{C_r}{P} = 0.333 \frac{29\,100}{2\,500} = 3.88$$

O valor encontrado é adequado para mecanismos de engrenagem em geral, sistemas de ar condicionado, entre outros, utilizados continuamente. De acordo com a equação da tabela 5.2 ou figura 5.4 (pág. A26), o encontrado corresponde aproximadamente a 29 000 horas.

(Exemplo 2)

Selecionar um rolamento fixo de uma carreira de esferas com furo de 50mm e externo abaixo de 100mm que satisfaça as seguintes condições:

Carga radial $F_r = 3\,000\text{N}$, {306 kgf}

Velocidade de rotação $n = 1\,900\text{rpm}$

Vida nominal $L_h \geq 10\,000\text{h}$

O coeficiente de vida f_h do rolamento de esferas que possibilita $L_h \geq 10\,000\text{h}$ é $f_h \geq 2.72$.

Como $f_n = 0.26$, $P = F_r = 3\,000\text{N}$, {306 kgf}

$$f_h = f_n \frac{C_r}{P} = 0.26 \frac{C_r}{3\,000} \geq 2.72$$

$$\text{Portanto, } C_r \geq 2.72 \frac{3\,000}{0.26} = 31\,380\text{N}, \{3\,200\text{kgf}\}$$

Da tabela de dimensões página B12, o **6210** é selecionado por satisfazer as condições acima.

(Exemplo 3)

Determinar C_r/P ou f_h no caso de acrescentar às condições do exemplo 1, uma carga axial $F_a = 1\,000\text{N}$, {102kgf}

Quando a carga radial F_r e a carga axial F_a são aplicadas no rolamento **6208**, a carga dinâmica equivalente P deve ser calculada de acordo com o seguinte procedimento:

Obter os coeficientes de carga radial X e de carga axial Y , e a constante e definidos em função da magnitude de C_{or}/F_a nas tabelas auxiliares localizadas na parte superior das tabelas de dimensões.

Sendo a capacidade de carga básica C_{or} do rolamento **6208** igual a 17 900N, {1 820kgf} (pág. B10).

$$C_{or}/F_a = 17\,900/1\,000 = 17.9$$

$$e \cong 0.26$$

$$\text{e } F_a/F_r = 1\,000/2\,500 = 0.4 > e$$

$$X = 0.56$$

$$Y = 1.71 \text{ (Valor de } Y \text{ obtido pela interpolação linear)}$$

Portanto, a carga dinâmica equivalente P e o f_h serão:

$$\begin{aligned} P &= XF_r + YF_a \\ &= 0.56 \times 2\,500 + 1.71 \times 1\,000 \\ &= 3\,110\text{N}, \{317\text{kgf}\} \end{aligned}$$

$$\frac{C_r}{P} = \frac{29\,100}{3\,110} = 9.36$$

$$f_h = f_n \frac{C_r}{P} = 0.333 \frac{29\,100}{3\,110} = 3.12$$

O valor obtido de f_h corresponde, aproximadamente, a 15 200 horas para o rolamento de esferas.

(Exemplo 4)

Selecionar o rolamento autocompensador de rolos da série 231 que satisfaça as seguintes condições:

Carga radial $F_r = 45\,000\text{N}$, {4 950kgf}

Carga axial $F_a = 8\,000\text{N}$, {816kgf}

Velocidade de rotação $n = 500\text{rpm}$

Vida nominal $L_h \geq 30\,000\text{h}$

O coeficiente de vida f_h dos rolamentos de rolos que possibilita $L_h \geq 30\,000\text{h}$ é maior que 3.45, pela figura 5.4 (pág. A26).

A carga dinâmica equivalente P do rolamento autocompensador de rolos será:

Quando $F_a/F_r \leq e$

$$P = XF_r + YF_a = F_r + Y_3F_a$$

Quando $F_a/F_r > e$

$$P = XF_r + YF_a = 0.67F_r + Y_2F_a$$

$$F_a/F_r = 8\,000/45\,000 = 0.18$$

Como pode ser verificado na tabela de dimensões, na série 231 o valor de e encontra-se em torno de 0.3 e Y_3 em torno de 2.2.

$$\begin{aligned} \text{Portanto, } P &= XF_r + YF_a = F_r + Y_3F_a \\ &= 45\,000 + 2.2 \times 8\,000 \\ &= 62\,600\text{N}, \{6\,380\text{kgf}\} \end{aligned}$$

Com isto, a partir do coeficiente f_h a capacidade de carga básica necessária pode ser obtida, cálculo a seguir:

$$f_h = f_n \frac{C_r}{P} = 0.444 \frac{C_r}{62\,600} = 3.45$$

Conseqüentemente, $C_r \geq 490\,000\text{N}$, {50 000kgf}

O menor rolamento autocompensador de rolos da série 231 que satisfaz este valor de C_r , é o **23126C** ($C_r = 505\,000\text{N}$, {51 500kgf}).

Ao determinar o rolamento, substitui-se o valor de Y_3 e recalcula-se o valor de P e a vida L_h correspondente:

$$\begin{aligned} P &= F_r + Y_3F_a = 45\,000 + 2.4 \times 8\,000 \\ &= 64\,200\text{N}, \{6\,500\text{kgf}\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_h &= 500 \left(f_n \frac{C_r}{P} \right)^{\frac{10}{3}} \\ &= 500 \left(0.444 \frac{505\,000}{64\,200} \right)^{\frac{10}{3}} \\ &= 500 \times 3.49^{\frac{10}{3}} \cong 32\,000\text{h} \end{aligned}$$

(Exemplo 5)

Partindo dos rolamentos de rolos cônicos **30305D** e **HR30206J**, usados em disposição costa a costa como na figura 5.14, com 50 mm entre as faces posteriores do anel externo.

Calcular a vida nominal de cada rolamento, quando além da carga radial $F_r = 5\,500\text{N}$, {561kgf} no conjunto, atuar uma carga axial $F_{ac} = 2\,000\text{N}$, {240kgf} no rolamento **30305D** como indicada na figura 5.14.

A velocidade de rotação do anel interno é de 600rpm.

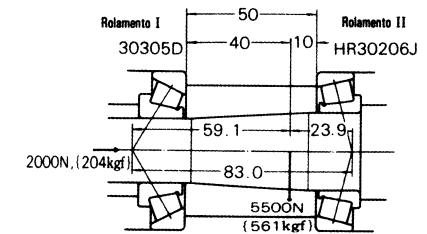


Fig. 5.14 Cargas nos Rolamentos de Rolos Cônicos

Quando da distribuição da carga radial F_r nos rolamentos I e II, os centros efetivos das cargas devem ser considerados nos rolamentos de rolos cônicos. Verificando o centro efetivo da carga a dos rolamentos I e II na tabela de dimensões, a relação das posições destas com a da carga radial F_r ficará conforme a figura 5.14.

Conseqüentemente, a carga radial no rolamento I (30305D) e no rolamento II (**HR30206J**) pode ser encontrada pelas equações a seguir:

$$F_{rI} = 5\,500 \times \frac{23.9}{83.0} = 1\,584\text{N}, \{162\text{ kgf}\}$$

$$F_{rII} = 5\,500 \times \frac{59.1}{83.0} = 3\,916\text{N}, \{399\text{ kgf}\}$$

Os valores a seguir são obtidos das tabelas de dimensões:

Rolamentos	Capacidade de Carga Básica Dinâmica C_r		Coeficiente de Carga Axial Y_I	Constante e
	(N)	{kgf}		
Rolamento I (30305D)	31 500	(3 200)	$Y_I = 0.74$	0.81
Rolamento II (HR 30206J)	43 000	(4 400)	$Y_{II} = 1.6$	0.38

Quando uma carga radial atua no rolamento de rolos cônicos, origina-se uma componente de carga axial que deve ser considerada no cálculo da carga radial equivalente (Referência no parágrafo 5.4.2, página A31).

$$F_{ae} + \frac{0.6}{Y_{II}} F_{rII} = 2\,000 + \frac{0.6}{1.6} \times 3\,916 = 3\,468\text{N}, \{354\text{kgf}\}$$

$$\frac{0.6}{Y_I} F_{rI} = \frac{0.6}{0.74} \times 1\,584 = 1\,284\text{N}, \{131\text{kgf}\}$$

Portanto, nesta disposição dos rolamentos, a carga axial

$$F_{ae} + \frac{0.6}{Y_{II}} F_{rI} \text{ atua somente no rolamento } I.$$

Disto, o rolamento I terá:

$$F_{rI} = 1\,584\text{N}, \{162\text{kgf}\}$$

$$F_{aI} = 3\,468\text{N}, \{354\text{kgf}\}$$

e como $F_{aI}/F_{rI} = 2.2 > e = 0.81$

$$\begin{aligned} \text{A carga dinâmica equivalente será: } P_I &= X F_{rI} + Y_I F_{aI} \\ &= 0.4 \times 1\,584 + 0.74 \times 3\,468 \\ &= 3\,200\text{N}, \{326\text{kgf}\} \end{aligned}$$

$$\text{e o coeficiente de vida } f_h = f_n \frac{C_r}{P_I}$$

$$= \frac{0.42 \times 31\,500}{3\,200} = 4.13$$

$$\text{que resultará na vida nominal } L_h = 500 \times 4.13^{\frac{10}{3}} = 56\,500\text{h}$$

O rolamento II terá:

$$F_{rII} = 3\,916\text{N}, \{399\text{kgf}\}, F_{aII} = 0$$

A carga dinâmica equivalente será:

$$P_{II} = F_{rII} = 3\,916\text{N}, \{399\text{kgf}\}$$

e o coeficiente de vida

$$f_h = f_n \frac{C_r}{P_{II}} = \frac{0.42 \times 43\,000}{3\,916} = 4.61$$

$$\text{Que resultará na vida nominal } L_h = 500 \times 4.61^{\frac{10}{3}} = 81\,000\text{h}$$

(Exemplo 6)

Selecionar um rolamento para redutor de velocidade nas seguintes condições:

Condições de utilização

Carga radial $F_r = 245\,000\text{N}$, {25 000kgf}

Carga axial $F_a = 49\,000\text{N}$, {5 000kgf}

Velocidade de rotação $n = 500\text{ rpm}$

Condições dimensionais

Diâmetro do eixo = 300mm

Furo do alojamento = abaixo de 500mm

A atuação de cargas pesadas e de choque, e pelo fato de poder prever a flexão do eixo, entre outros, deve ser selecionado o autocompensador de rolos como tipo de rolamento.

Os rolamentos autocompensadores de rolos que satisfazem as condições dimensionais anteriores, são relacionados no quadro a seguir (referência na página B190).

d	D	B	Rolamentos	Capacidade de Carga Básica Dinâmica C_r (N) {kgf}	Constante e	Coefficiente Y_3
300	420	90	23960	1 050 000 107 000	0.20	3.4
	460	118	23060 CA	1 920 000 196 000	0.24	2.8
	460	118	23060	1 630 000 166 000	0.25	2.7
	460	160	24060 CA	2 310 000 235 000	0.32	2.1
	460	160	24060	2 110 000 215 000	0.34	2.0
	500	160	23160 CA	2 670 000 273 000	0.31	2.2
500	160	23160	2 360 000 241 000	0.33	2.1	
	200	24160 CA	3 100 000 315 000	0.38	1.8	
	200	24160	2 590 000 264 000	0.41	1.6	

$$\text{Como } F_a / F_r = 0.20 < e$$

A carga dinâmica equivalente P será:

$$P = F_r + Y_3 F_a$$

Da tabela 5.1 coeficiente de vida f_h e exemplos de aplicação da página A25, 3-5 são os valores orientativos de f_h .

$$f_h = f_n \frac{C_r}{P} = \frac{0.444 C_r}{F_r + Y_3 F_a} = 3 \sim 5$$

Supondo-se $Y_3 = 2.1$, a capacidade de carga básica dinâmica C_r necessária ao rolamento será:

$$\begin{aligned} C_r &= \frac{(F_r + Y_3 F_a) \times (3 \sim 5)}{0.444} \\ &= \frac{(245\,000 + 2.1 \times 49\,000) \times (3 \sim 5)}{0.444} \\ &= 2\,350\,000 \sim 3\,900\,000\text{N}, \{240\,000 \sim 400\,000\text{kgf}\} \end{aligned}$$

Os rolamentos que atendem esta necessidade são **23160CA, 23160, 24160CA ou 24160**.

6 LIMITE DE ROTAÇÃO DO ROLAMENTO

Os rolamentos apresentam, cada qual, certos limites na velocidade de rotação. Caso os rolamentos sejam postos em funcionamento, conforme o aumento da velocidade mais alto será o aumento da temperatura de origem no calor de atrito interno do rolamento. O limite de rotação é a velocidade permissível obtida empiricamente pelo qual se permite a operação contínua do rolamento, sem que ocorra o travamento por superaquecimento ou a geração de calor acima de certo limite. O limite de rotação (rpm) de cada um dos rolamentos, conseqüentemente, difere de acordo com fatores como o tipo e a dimensão do rolamento, o tipo e o material da gaiola, a carga no rolamento, o método de lubrificação e as condições de resfriamento inclusive com os conjugados adjacentes ao rolamento.

Os limites de rotação (rpm) para os casos de lubrificação a graxa e a óleo são apresentados nas tabelas de dimensões para cada um dos rolamentos. Os limites são válidos para os rolamentos de projeto padrão em condições normais de carga (aproximadamente, $C/P \cong 12$ e $F_a/F_r \leq 0.2$), cada qual, nos casos de lubrificação a graxa ou a óleo.

Os valores para lubrificação a óleo estão baseados no método de lubrificação por banho de óleo.

Ainda, de acordo com a marca e as características do lubrificante, há casos de não serem adequados para altas rotações, embora possam ser acentuadamente superiores em outros aspectos. Conseqüentemente, nos casos como os de velocidades de operação dos rolamentos superiores a 70% dos limites de rotação relacionados nas tabelas de dimensões, há necessidade de se selecionar graxas e óleos lubrificantes que tenham boas propriedades para altas rotações.

(Referência)

Tabela 12.2 Propriedades dos vários tipos de graxa (páginas A110 e A111)

Tabela 12.5 Exemplos de seleção de óleos lubrificantes (página A113)

Tabela 15.8 Designação das graxas lubrificantes e comparação das características (páginas A138 a A141)

6.1 Correção do Limite de Rotação

A correção do limite de rotação se torna necessária quando a carga no rolamento P ultrapassar 8% da capacidade de carga dinâmica C , ou em casos como o das condições de uso em que a carga axial F_a for superior a 20% da carga radial F_r ; esta correção do limite de rotação deve ser efetuada aplicando o coeficiente das figuras 6.1 e 6.2.

Além disto, nas condições de uso em que a velocidade de rotação do rolamento for maior que o limite de rotação, o rolamento deve ser selecionado, após estudar suficientemente a precisão, a folga interna, o tipo e o material da gaiola, entre outros itens. Igualmente, quanto à lubrificação há necessidade de se adotar métodos como a lubrificação por circulação forçada do óleo, a lubrificação por jato de óleo, a lubrificação por névoa de óleo ou a lubrificação óleo-ar.

Ao se tomar os cuidados em relação à solicitação de alta

velocidade, como os anteriormente citados, pode-se admitir um limite de rotação superior. Isto é, permite-se adotar até os valores multiplicados pelo fator de correção da tabela 6.1. A NSK deve ser consultada nestes casos.

6.2 Limite de Rotação nos Rolamentos de Esferas com Vedação

O limite de rotação no tipo de vedação com contato (DDU), nos rolamentos de esferas vedados é determinado principalmente pela velocidade periférica da extremidade de contato da vedação. As tabelas de dimensões dos rolamentos apresentam estes valores.

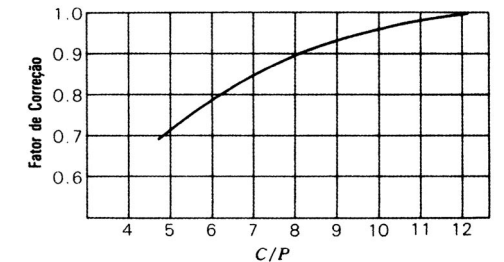


Fig. 6.1 Correção do Limite de Rotação devido a Intensidade da Carga no Rolamento

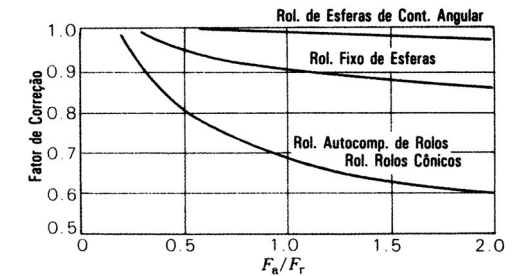


Fig. 6.2 Correção do Limite de Rotação devido a Carga Combinada

Tabela 6.1 Correção do Limite de Rotação devido às Condições para Altas Velocidades

Tipos de Rolamento	Fator de Correção
Rol. rolos cilíndricos (uma carreira)	2
Rol. rolos agulha (exceto os de largura maior)	2
Rol. rolos cônicos	2
Rol. autcomp. de rolos	1.5
Rol. fixo de esferas	2.5
Rol. de esferas de contato angular (15°)	1.5
Rol. de esferas de contato angular (25° e 30°)	2

7 DIMENSÕES PRINCIPAIS E NÚMEROS DE IDENTIFICAÇÃO DOS ROLAMENTOS

7.1 Dimensões Principais e Dimensões das Ranhuras dos Anéis de Retenção

7.1.1 Dimensões Principais

As dimensões principais dos rolamentos, conforme indicadas nas figuras 7.1 a 7.5, são as dimensões como o diâmetro do furo d , o diâmetro externo D , a largura B , a largura de montagem (ou altura) T e o chanfro r , que indicam o contorno determinante dos limites dos rolamentos, sendo estas, muito importantes quando da instalação dos rolamentos nos eixos e nos alojamentos.

As dimensões principais são regulamentadas pela norma internacional (ISO 15) e a norma JIS B 1512 (dimensões principais dos rolamentos) está também de acordo com a norma internacional.

As dimensões principais e as séries de dimensão dos rolamentos radiais, dos rolamentos de rolos cônicos e dos rolamentos axiais são indicadas nas tabelas 7.1 a 7.3 (páginas A20 a A49).

Nas tabelas das dimensões principais, as outras dimensões relativas aos números do furo e as dimensões do furo, são indicadas pelas séries de diâmetro e pelas séries de dimensão.

A graduação das séries de diâmetro externo dos rolamentos, relativas aos diâmetros dos furos normais, são as séries de diâmetro dos rolamentos, e as séries de dimensão dos rolamentos são as combinações das séries de largura ou altura com as séries de diâmetro.

As séries de dimensão estão definidas em grande número, todavia, a utilização prática deste universo de dimensões não é total, havendo reservas para os futuros processos de padronização.

As tabelas das dimensões principais apresentam na sua parte superior, os tipos de rolamentos e os símbolos (símbolo que indica o tipo e a série de dimensão, consultar a tabela 7.5, página A55), dos rolamentos mais representativos.

As diferenças devidas às séries dimensionais na dimensão da seção dos rolamentos radiais (exceto os rolamentos de rolos cônicos), e dos rolamentos axiais são indicadas pelas figuras 7.6 e 7.7.

7.1.2 Dimensões das Ranhuras e dos Anéis de Retenção

As dimensões das ranhuras para os anéis de retenção, no diâmetro externo dos rolamentos, são especificadas pela ISO 464. Igualmente, as dimensões e a precisão dos anéis de retenção são também especificadas pela ISO 464. As dimensões das ranhuras e dos anéis de retenção, referentes aos rolamentos das séries de diâmetro 8, 9, 0, 2, 3 e 4, são indicadas na tabela 7.4 (páginas A50 a A53).

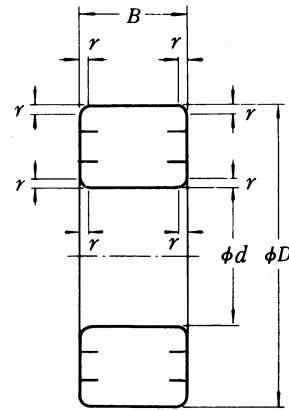


Fig. 7.1 Dimensões Principais dos Rolamentos Radiais de Esferas e de Rolos

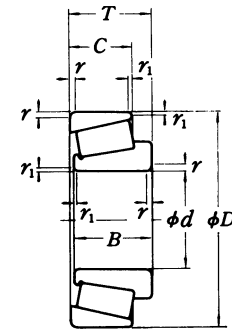


Fig. 7.2 Rolamentos de Rolos Cônicos

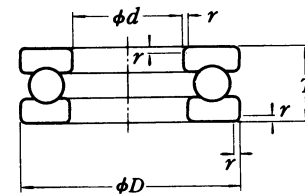


Fig. 7.3 Rolamentos Axiais de Esferas de Escora Simples

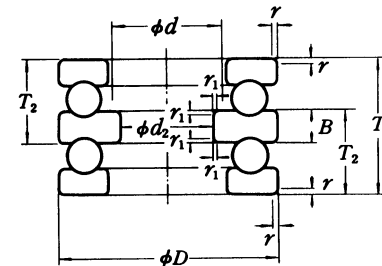


Fig. 7.4 Rolamentos Axiais de Esferas de Escora Dupla

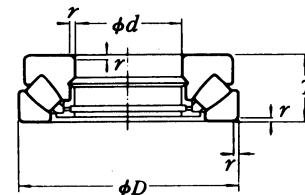


Fig. 7.5 Rolamentos Axiais Autocompensadores de Rolos

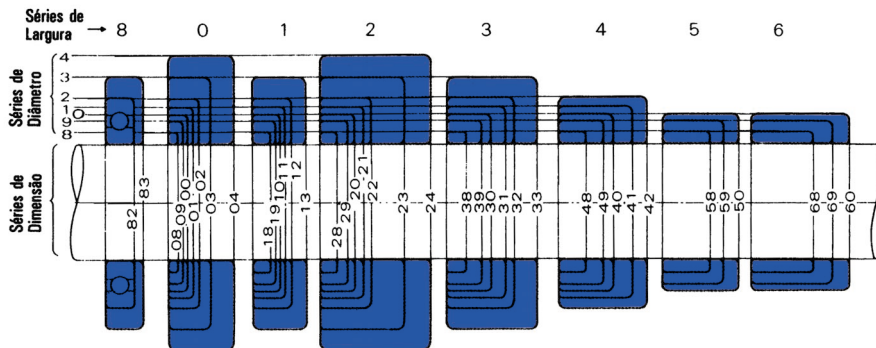


Fig. 7.6 Diferenças devidas às Séries de Dimensão na Seção dos Rolamentos Radiais (exceto os Rolamentos de Rolos Cônicos)

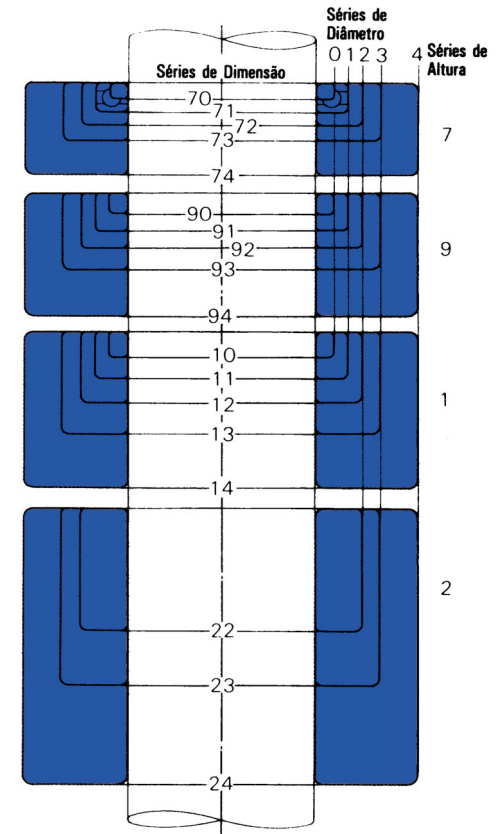


Fig. 7.7 Diferenças devidas às Séries de Dimensão na Seção dos Rolamentos Axiais (exceto a Série de Diâmetro 5)

Tabela 7.2 Dimensões Principais dos Rolamentos de Rolos Cônicos

unidade: mm

Table with columns: Rolos de Rolos Cônicos, Número do Furo, Série de Diâmetro 9, 0, 1, 2, 3, and Série de Diâmetro 3. Rows include dimensions like D, D, I, C, T, B, C, T, C, Capa, and r(min).

Observação

- 1. Existem outras séries especificadas pela ISO que não constam desta tabela.
2. No caso da série dimensional da série de diâmetro 9, a classificação I era a especificada pela JIS, e a classificação II é a especificada pela ISO. As partes sem classificação têm as dimensões (D, B, C, T) especificadas de acordo com a ISO.
3. A dimensão do chanfro está de acordo com a dimensão mínima permissível especificada pela ISO. Não se aplica no canto do lado da face.

Nota

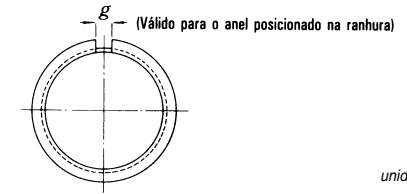
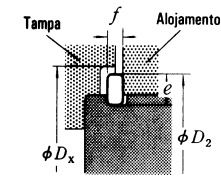
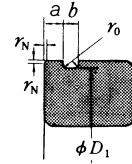
- (1) Válidos nos rolamentos da série 303D. O equivalente dimensional ao 303D da JIS é o 313 da DIN. Nos furos acima de 100 mm, os itens da série de dimensão 13 passam para 313, como deveriam ser pela série de dimensão.

Tabela 7.3 Dimensões Principais dos Rolamentos Axiais (Assento Plano) – 2 –

Table with columns for Axial de Esferas, Axial Autocomp. de Rolos, Série de Diâmetro 0-5, and Número do Furo. Rows include dimensions like 68, 72, 76, 80, 84, 88, 92, 96, 100, 1060, 1120, 1180, 1250, 1320, 1440, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2120, 2240, 2360, 2500.

Observação: 1. As séries de dimensão 22, 23 e 24, são séries dos rolamentos de escora dupla.
2. O diâmetro externo máximo permitível do anel interno e do anel central, e o diâmetro interno mínimo permitível do anel externo foram omitidos (consulte a tabela de dimensões para rolamentos axiais).

Tabela 7.4 Dimensões da Ranhura e do Anel de Retenção – 1 – Rolamentos das Séries de Dimensão 18 e 19



unidade: mm

Rolamento		Ranhura para o Anel de Retenção										Anel de Retenção						Tampa	
Série de Dimensão	d	D	Diâmetro da Ranhura D_1		Posição da Ranhura a				Largura da Ranhura b		Raio do Canto r_0	Número do Anel de Retenção	Altura da Seção e		Espessura f		Anel de Posicionamento na Ranhura (Referência)		Diâm. Int. do Rebaixo (Referência) D_x
					Séries de Dimensão dos Rolamentos												Dim. da Abertura g		
			18	19	max	min	max	min	max	min	max		min	max	min	max	min		
-	10	22	20.8	20.5	-	-	1.05	0.9	1.05	0.8	0.2	NR 1022	2.0	1.85	0.7	0.6	2	24.8	25.5
-	12	24	22.8	22.5	-	-	1.05	0.9	1.05	0.8	0.2	NR 1024	2.0	1.85	0.7	0.6	2	26.8	27.5
-	15	28	26.7	26.4	-	-	1.3	1.15	1.2	0.95	0.25	NR 1028	2.05	1.9	0.85	0.75	3	30.8	31.5
-	17	30	28.7	28.4	-	-	1.3	1.15	1.2	0.95	0.25	NR 1030	2.05	1.9	0.85	0.75	3	32.8	33.5
20	-	32	30.7	30.4	1.3	1.15	-	-	1.2	0.95	0.25	NR 1032	2.05	1.9	0.85	0.75	3	34.8	35.5
22	-	34	32.7	32.4	1.3	1.15	-	-	1.2	0.95	0.25	NR 1034	2.05	1.9	0.85	0.75	3	36.8	37.5
25	20	37	35.7	35.4	1.3	1.15	1.7	1.55	1.2	0.95	0.25	NR 1037	2.05	1.9	0.85	0.75	3	39.8	40.5
-	22	39	37.7	37.4	-	-	1.7	1.55	1.2	0.95	0.25	NR 1039	2.05	1.9	0.85	0.75	3	41.8	42.5
28	-	40	38.7	38.4	1.3	1.15	-	-	1.2	0.95	0.25	NR 1040	2.05	1.9	0.85	0.75	3	42.8	43.5
30	25	42	40.7	40.4	1.3	1.15	1.7	1.55	1.2	0.95	0.25	NR 1042	2.05	1.9	0.85	0.75	3	44.8	45.5
32	-	44	42.7	42.4	1.3	1.15	-	-	1.2	0.95	0.25	NR 1044	2.05	1.9	0.85	0.75	4	46.8	47.5
-	28	45	43.7	43.4	-	-	1.7	1.55	1.2	0.95	0.25	NR 1045	2.05	1.9	0.85	0.75	4	47.8	48.5
35	30	47	45.7	45.4	1.3	1.15	1.7	1.55	1.2	0.95	0.25	NR 1047	2.05	1.9	0.85	0.75	4	49.8	50.5
40	32	52	50.7	50.4	1.3	1.15	1.7	1.55	1.2	0.95	0.25	NR 1052	2.05	1.9	0.85	0.75	4	54.8	55.5
-	35	55	53.7	53.4	-	-	1.7	1.55	1.2	0.95	0.25	NR 1055	2.05	1.9	0.85	0.75	4	57.8	58.5
45	-	58	56.7	56.4	1.3	1.15	-	-	1.2	0.95	0.25	NR 1058	2.05	1.9	0.85	0.75	4	60.8	61.5
-	40	62	60.7	60.3	-	-	1.7	1.55	1.2	0.95	0.25	NR 1062	2.05	1.9	0.85	0.75	4	64.8	65.5
50	-	65	63.7	63.3	1.3	1.15	-	-	1.2	0.95	0.25	NR 1065	2.05	1.9	0.85	0.75	4	67.8	68.5
-	45	68	66.7	66.3	-	-	1.7	1.55	1.2	0.95	0.25	NR 1068	2.05	1.9	0.85	0.75	5	70.8	72
55	50	72	70.7	70.3	1.7	1.55	1.7	1.55	1.2	0.95	0.25	NR 1072	2.05	1.9	0.85	0.75	5	74.8	76
60	-	78	76.2	75.8	1.7	1.55	-	-	1.6	1.3	0.4	NR 1078	3.25	3.1	1.12	1.02	5	82.7	84
-	55	80	77.9	77.5	-	-	2.1	1.9	1.6	1.3	0.4	NR 1080	3.25	3.1	1.12	1.02	5	84.4	86
65	60	85	82.9	82.5	1.7	1.55	2.1	1.9	1.6	1.3	0.4	NR 1085	3.25	3.1	1.12	1.02	5	89.4	91
70	65	90	87.9	87.5	1.7	1.55	2.1	1.9	1.6	1.3	0.4	NR 1090	3.25	3.1	1.12	1.02	5	94.4	96
75	-	95	92.9	92.5	1.7	1.55	-	-	1.6	1.3	0.4	NR 1095	3.25	3.1	1.12	1.02	5	99.4	101
80	70	100	97.9	97.5	1.7	1.55	2.5	2.3	1.6	1.3	0.4	NR 1100	3.25	3.1	1.12	1.02	5	104.4	106
-	75	105	102.6	102.1	-	-	2.5	2.3	1.6	1.3	0.4	NR 1105	4.04	3.89	1.12	1.02	5	110.7	112
85	80	110	107.6	107.1	2.1	1.9	2.5	2.3	1.6	1.3	0.4	NR 1110	4.04	3.89	1.12	1.02	5	115.7	117
90	-	115	112.6	112.1	2.1	1.9	-	-	1.6	1.3	0.4	NR 1115	4.04	3.89	1.12	1.02	5	120.7	122
95	85	120	117.6	117.1	2.1	1.9	3.3	3.1	1.6	1.3	0.4	NR 1120	4.04	3.89	1.12	1.02	7	125.7	127
100	90	125	122.6	122.1	2.1	1.9	3.3	3.1	1.6	1.3	0.4	NR 1125	4.04	3.89	1.12	1.02	7	130.7	132
105	95	130	127.6	127.1	2.1	1.9	3.3	3.1	1.6	1.3	0.4	NR 1130	4.04	3.89	1.12	1.02	7	135.7	137
110	100	140	137.6	137.1	2.5	2.3	3.3	3.1	2.2	1.9	0.6	NR 1140	4.04	3.89	1.7	1.6	7	145.7	147
-	105	145	142.6	142.1	-	-	3.3	3.1	2.2	1.9	0.6	NR 1145	4.04	3.89	1.7	1.6	7	150.7	152
120	110	150	147.6	147.1	2.5	2.3	3.3	3.1	2.2	1.9	0.6	NR 1150	4.04	3.89	1.7	1.6	7	155.7	157
130	120	165	161.8	161.3	3.3	3.1	3.7	3.5	2.2	1.9	0.6	NR 1165	4.85	4.7	1.7	1.6	7	171.5	173
140	-	175	171.8	171.3	3.3	3.1	-	-	2.2	1.9	0.6	NR 1175	4.85	4.7	1.7	1.6	10	181.5	183
-	130	180	176.8	176.3	-	-	3.7	3.5	2.2	1.9	0.6	NR 1180	4.85	4.7	1.7	1.6	10	186.5	188
150	140	190	186.8	186.3	3.3	3.1	3.7	3.5	2.2	1.9	0.6	NR 1190	4.85	4.7	1.7	1.6	10	196.5	198
160	-	200	196.8	196.3	3.3	3.1	-	-	2.2	1.9	0.6	NR 1200	4.85	4.7	1.7	1.6	10	206.5	208

Observação: O limite mínimo da dimensão r_N do chanfro do lado da ranhura no anel externo, será conforme a seguir:
 - 0.3mm quando o diâmetro externo do rolamento for menor que 78mm, e 0.5mm quando o diâmetro externo do rolamento for acima de 78mm, para a série de dimensão 18.
 - 0.3mm quando o diâmetro externo do rolamento for menor que 47mm, e 0.5mm quando o diâmetro externo do rolamento for acima de 47mm, para a série de dimensão 19.

7.2 Números de Identificação

Os números de identificação dos rolamentos são designações que expressam, o tipo do rolamento, as dimensões principais, a precisão dimensional e de giro, a folga interna e outras especificações, sendo constituídos pelo número básico e símbolos suplementares alfanuméricos.

As dimensões principais dos rolamentos normalmente usados, em grande parte dos casos, são baseadas no plano geral das dimensões principais da norma ISO, os números de identificação destes rolamentos normais são regulamentados pela JIS B 1513 (Números de Identificação dos Rolamentos).

A NSK, devido a necessidade de uma classificação detalhada das especificações do rolamento, usa também em paralelo, símbolos suplementares não especificados pela JIS.

Os símbolos das séries de rolamentos que representam as séries de dimensão e o tipo do rolamento, e que fazem parte dos números básicos constituintes dos números de identificação, são apresentados na tabela 7.5.

Na tabela 7.6 (páginas A56 e A57), são apresentadas as ordens de posicionamento dos números básicos e dos símbolos suplementares, bem como, números e símbolos mais representativos com os significados.

Ainda, quanto ao símbolo do ângulo de contato e os símbolos suplementares, somente os inerentes ao especificado são posicionados a partir da esquerda.

A seguir, como referência, são apresentados alguns exemplos de números de identificação.

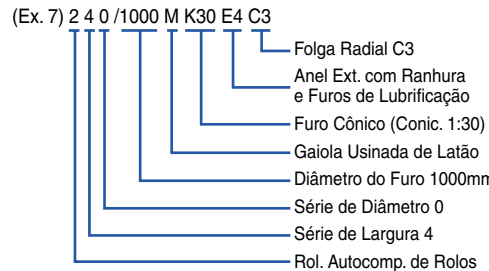
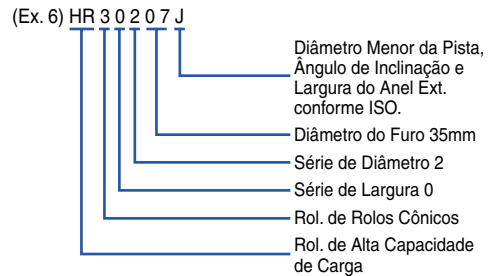
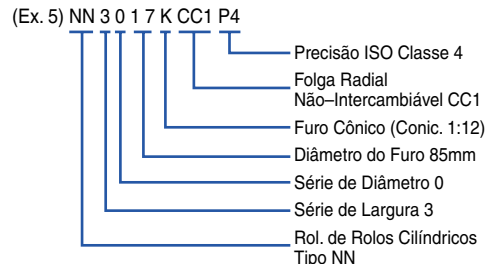
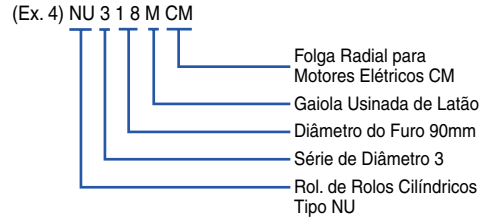
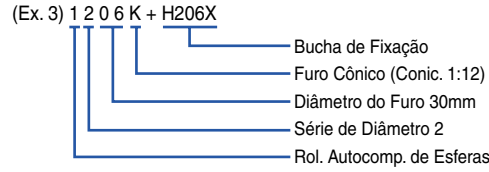
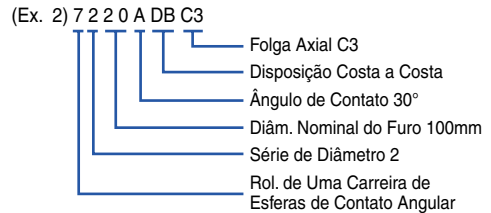
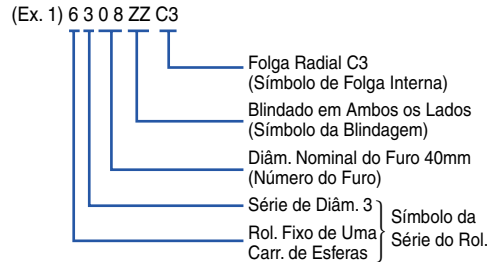


Tabela 7.5 Símbolos das Séries de Rolamentos

Tipos de Rolamento	Símbolos das Séries de Rolamentos	Símbolos de Tipo	Símbolos de Dimensão	
			Símbolos de Largura ou Altura	Símbolos de Diâmetro
Rolamentos Fixos de Uma Carreira de Esferas	68	6	(1)	8
	69	6	(1)	9
	60	6	(1)	0
	62	6	(0)	2
Rolamentos de Uma Carreira de Esferas de Contato Angular	63	6	(0)	3
	79	7	(1)	9
	70	7	(1)	0
Rolamentos Auto-compensadores de Esferas	72	7	(0)	2
	73	7	(0)	3
	12	1	(0)	2
Rolamentos de Uma Carreira de Esferas de Rolos Cilíndricos	13	1	(0)	3
	22	2	(2)	2
	23	2	(2)	3
	NU10	NU	1	0
	NU2	NU	(0)	2
	NU22	NU	2	2
	NU3	NU	(0)	3
	NU23	NU	2	3
	NU4	NU	(0)	4
	NJ2	NJ	(0)	2
	NJ22	NJ	2	2
	NJ3	NJ	(0)	3
	NJ23	NJ	2	3
	NJ4	NJ	(0)	4
Rolamentos Axiais Autocompensadores de Rolos	NUP2	NUP	(0)	2
	NUP22	NUP	2	2
	NUP3	NUP	(0)	3
	NUP23	NUP	2	3
	NUP4	NUP	(0)	4
	N10	N	1	0
	N2	N	(0)	2
	N3	N	(0)	3
	N4	N	(0)	4
	NF2	NF	(0)	2
Rolamentos Axiais de Esferas de Assento plano	NF3	NF	(0)	3
	NF4	NF	(0)	4
	213 ⁽¹⁾	2	0	3
	223	2	2	3
Rolamentos Axiais Autocompensadores de Rolos	511	5	1	1
	512	5	1	2
	513	5	1	3
	514	5	1	4
	522	5	2	2
	523	5	2	3
	524	5	2	4
	292	2	9	2
293	2	9	3	
294	2	9	4	

Nota

(¹) O símbolo da série de rolamento 213, deveria ser 203 pela série de largura, no entanto, o 213 é usado tradicionalmente.

Observação

Os símbolos de largura entre () na coluna dos símbolos de largura são omitidos nas séries de rolamentos.

Tabela 7.6 Posicionamento e Significado do Número de Identificação dos Rolamentos

Número Básico				Símbolos Suplementares																															
Símbolos das Séries de Rolamentos (¹)		Número do Furo		Símbolo do Ângulo de Contato		Símbolo de Projeto Interno		Símbolo de Material		Símbolo de Gaiola		Símbolos de Construção Externa				Símbolo de Combinação		Símbolo de Folga Interna		Símbolo da Classe de Precisão		Símbolo de Especificação Especial		Símbolo de Buchas e Espaçadores		Símbolo da Graxa									
Símb.	Signif.	Símb.	Signif.	Símb.	Signif.	Símb.	Signif.	Símb.	Signif.	Símb.	Signif.	Símb.	Signif.	Símb.	Signif.	Símb.	Signif.	Símb.	Signif.	Símb.	Signif.	Símb.	Signif.	Símb.	Signif.	Símb.	Signif.								
68	Rols. Fixos de Uma Carreira de Esferas	1	Diâm.Interno 1mm	A	(Rols. de Esf. de Contato Angular) Ângulo de Contato 30°	A	Projeto Interno Diferente do Normal	g	Anéis e Corpos Rolantes em Aço Cementado	M	Gaiola Usinada de Latão	Z	Blindagem em Um Lado	K	Anel Int. com Furo Cônico (conic. 1:12)	DB	Disposição Costa a Costa	C1	Folga Menor que C2	Omitido	Classe Normal da ISO	Rols. com Tratamento de Estabilização Dimensional	+K	Rol. com Espaçador no Anel Externo	AV2	Graxa Shell Alvania 2									
69		2	2									ZS															C2	Folga Menor que Normal							
60		3	3									C3	Folga Normal																						
70	Rols. de Uma Carreira de Esferas de Cont. Ang.	9	9	A5	Ângulo de Contato 25°	J	Diâm. Menor da Pista, Ângulo de Inclinação e Largura do Anel Ext. do Rol. de Rolos Cônicos, Conforme ISO	h	Anéis e Corpos Rolantes em Aço Inoxidável	W	Gaiola Prensada de Aço	ZZ	Blindagem em Ambos os Lados	K30	Anel Int. com Furo Cônico (Conic. 1:30)	DF	Disposição Face a Face	C3	Folga Maior que Normal	P6	Classe 6 da ISO	Limite de Temp. de Trabalho Abaixo de 150°	+L	Rol. com Espaçador no Anel Interno	D4M	Toray Silicone SH 44M									
72		00	10									ZZS															C4	Folga Maior que C3							
73		01	12									B	Ângulo de Contato 40°	T	Gaiola de Resina Sintética	DU	Vedação com Contato em um Lado	E	Furos de Lubrificação ou Rasgos nos Anéis	DT	Disposição em Tandem	CC1	Folga Menor que CC2	P5	Classe 5 da ISO	X26									
12	Rolamentos Autocomp. de Esferas	03	17	C	Ângulo de Contato 15°	Omitido	(Rols. de Rolos Cônicos) Ângulo de Contato < 17°	V	Sem Gaiola	DDU	Vedação com Contato em Ambos os Lados	E	Ranhura na Superf. do Diâm. Ext. e Furos de Lubrificação no Anel Ext.	MC1	Folga Menor que MC2	P4	Classe 4 da ISO	X28	Limite de Temp. de Trabalho Abaixo de 220°C	+KL	Rol. com Espaçador no Anel Interno e Externo	PS2	Multimp PS 2												
13		/22	22																					CC2	Folga Menor que Normal	P2	Classe 2 da ISO								
22		/28	28																					CC3	Folga Maior que Normal	P2	Classe 2 da ISO								
NU 10		/32	32	C	Ângulo de Contato 20°	CA	Rolamentos Autocomp. de Rolos	V	Vedação sem Contato em um Lado	E4	Ranhura para Anel de Retenção no Anel Externo	MC2	Folga Menor que MC3	MC3	Folga Considerada Normal	MC4	Folga Maior que MC3	X29	Limite de Temp. de Trabalho Abaixo de 250°C	AH	Símbolo do Tipo da Bucha de Fixação														
NJ 2		04 ⁽³⁾	20																			MC4	Folga maior que MC4												
N 3		05	25																			MC5	Folga maior que MC5												
NN 30		06	30																			MC6	Folga maior que MC5												
NA 48		88	440																			H	Rols. Radiais e Axiais Autocomp. de Rolos	HR ⁽⁴⁾	Rolamentos de Rolos Cônicos	VV	Vedação sem Contato em Ambos os Lados	N	Ranhura para Anel de Retenção no Anel Externo	CM	Folga do Rol. Fixo de Esferas para Motores Elétricos	CT	Folga do Rol. de Rolos Cilíndricos para Motores Elétricos	HJ	Símbolo do Tipo do Anel de Encosto
NA49		92	460																																
NA 69		96	480																																
320	Rolamentos de Rolos Cônicos (²)	/500	500																			NR	Ranhura e Anel de Retenção no Anel Externo	S11	Limite de Temp. de Trabalho Abaixo de 200°C										
322		/530	530																																
323		/560	560																																
230		/2360	2360																																
222		/2500	2500																																
223																																			
511	Rols. Axiais de Esferas de Assento Plano			S11	Limite de Temp. de Trabalho Abaixo de 200°C																														
512																																			
513																																			
292																																			
293																																			
294																																			
Os Símbolos e os Números estão conforme JIS						Símbolo NSK						Símbolo NSK				Parcialmente Igual a JIS		Igual a JIS		Símbolo NSK parcialmente igual a JIS e a BAS				Igual a JIS		Símbolo NSK, parcialmente igual a JIS									
Gravado no Rolamento									Não é Gravado no Rolamento			Fundamentalmente é para ser Gravado no Rolamento													Não é Gravado no Rolamento										

Nota: (¹) Símbolos das séries de rolamentos conforme tabela 7.5.

(²) Consultar a página B111 quanto ao número básico dos rolamentos de rolos cônicos das novas séries ISO.

(³) Os números do furo, desde 04 até 96, ao serem multiplicados por 5 se convertem na dimensão na dimensão do furo em milímetros (exceto os rolamentos axiais de escora dupla)

(⁴) HR vem na frente (como prefixo) dos símbolos das séries de rolamentos.

8 TOLERÂNCIAS DOS ROLAMENTOS

8.1 Normas das Tolerâncias dos Rolamentos

As tolerâncias e os limites dimensionais e a precisão de giro dos rolamentos são especificados pelas normas ISO 492/199/582. As tolerâncias e os limites estão definidos nos itens como os abaixo relacionados.

As tolerâncias dos rolamentos são normalizadas em termos de classes conforme o estreitamento da tolerância, deste

modo, além da classe normal da ISO, de acordo com o aumento da precisão, há a classe 6X (para rolamentos de rolos cônicos), a classe 6, a classe 5, a classe 4 e a classe 2, sendo a classe 2 a de mais alta precisão da ISO.

As classes de tolerância aplicáveis para os tipos de rolamentos e a confrontação comparativa das classes são apresentadas na tabela 8.1.

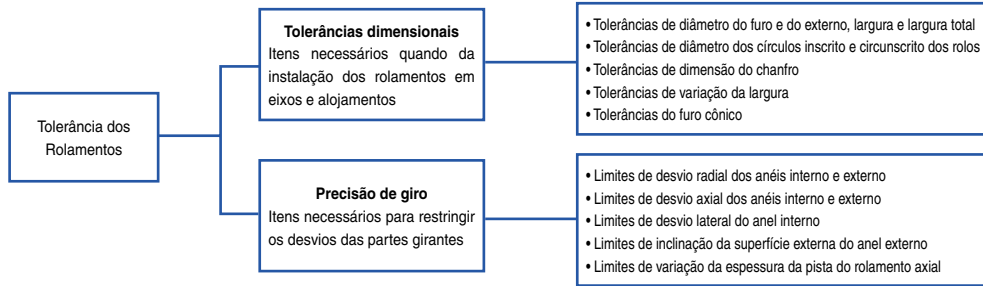


Tabela 8.1 Tipos de Rolamento e as Classes de Tolerância

Tipos de Rolamento		Classes de Tolerância					Tabelas	Páginas	
Rolamentos Fixos de Esferas		Classe N	Classe 6	Classe 5	Classe 4	Classe 2	Tabela 8.2	A60 ~ A63	
Rols. de Esferas de Contato Angular		Classe N	Classe 6	Classe 5	Classe 4	Classe 2			
Rols. Autocompensadores de Esferas		Classe N	Equivalente à Classe 6	Equivalente à Classe 5	-	-			
Rolamentos de Rolos Cilíndricos		Classe N	Classe 6	Classe 5	Classe 4	Classe 2			
Rolamentos de Rolos Agulha		Classe N	Equivalente à Classe 6	Equivalente à Classe 5	-	-			
Rols. Autocompensadores de Rolos		Classe N	Equivalente à Classe 6	Equivalente à Classe 5	-	-	Tabela 8.3	A64 ~ A67	
Rolamentos de Rolos Cônicos	Série Métrica	Classe N Classe 6X	-	Classe 5	Classe 4	-			
	Série Polegada	AFBMA Classe 4	AFBMA Classe 2	AFBMA Classe 3	AFBMA Classe 0	AFBMA Classe 00	Tabela 8.4	A68 ~ A69	
Rolamentos Magneto		Classe N	Classe 6	Classe 5	-	-	Tabela 8.5	A70 ~ A71	
Rolamentos Axiais de Esferas		Classe N	Classe 6	Classe 5	Classe 4	-	Tabela 8.6	A72 ~ A74	
Rols. Axiais Autocomp. de Rolos		Classe N	-	-	-	-	Tabela 8.7	A75	
Normas Comparativas (Referência)	JIS ⁽¹⁾	Classe 0	Classe 6	Classe 5	Classe 4	Classe 2	-	-	
	DIN ⁽²⁾	0	P6	P5	P4	P2	-	-	
	AFBMA ⁽³⁾	Rolamentos de Esferas	ABEC 1	ABEC 3	ABEC 5 (ABEC 5P)	ABEC 7 (ABEC 7P)	ABEC 9 (ABEC 9P)	Tabela 8.2 (Tabela 8.8)	A60 ~ A63 (A76 ~ A77)
		Rolamentos de Rolos	RBEC 1	RBEC 3	RBEC 5	-	-		
	Rolamentos de Rolos Cônicos	CLASSE 4	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 0	CLASSE 00	(Tabela 8.4)	(A68 ~ A69)	

Notas

(1) JIS : Japanese Industrial Standards (2) DIN: Deutsh Industrie Norm

(3) AFBMA: Anti-friction Bearing Manufacturers Association

Observação

O limite permitido da dimensão do chanfro é conforme a tabela 8.9 (página A78), e a tolerância e o limite do furo cônico conforme tabela 8.10 (página A80).

(Referência) O significado resumido dos itens definidos na precisão de giro e os métodos de medição estão ilustrados na figura 8.1, a descrição detalhada pode ser encontrada na ISO 5593 (Terminologia dos Mancais de Rolamento), e na JIS B 1515 (Método de Medição dos Mancais de Rolamento).

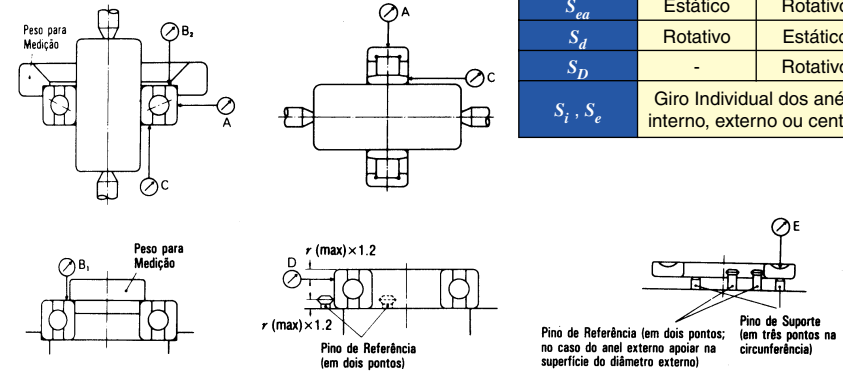


Fig. 8.1 Métodos de Medição das Precisões de Giro (simplificado)

Tabela Suplementar

Precisão de Giro	Anel Interno	Anel Externo	Relógio Comparador
K_{ia}	Rotativo	Estático	A
K_{ea}	Estático	Rotativo	A
S_{ia}	Rotativo	Estático	B_1
S_{ea}	Estático	Rotativo	B_2
S_d	Rotativo	Estático	C
S_D	-	Rotativo	D
S_i, S_e	Giro Individual dos anéis interno, externo ou central		E

Símbolos

d	Diâmetro nominal do furo	D	Diâmetro externo nominal
Δ_{ds}	Desvio do diâmetro do furo	Δ_{Ds}	Desvio do diâmetro externo
Δ_{dmp}	Desvio do diâm. médio do furo em um plano	Δ_{Dmp}	Desvio do diâm. médio do externo em um plano
V_{dp}	Varição do diâm. do furo em um plano radial	V_{Dp}	Varição do diâm. externo em um plano radial
V_{dmp}	Varição do diâm. médio do furo em um plano	V_{Dmp}	Varição do diâm. médio do externo em um plano
B	Largura nominal do anel interno	C	Largura nominal do anel externo
Δ_{Bs}	Desvio da largura do anel interno	Δ_{Cs}	Desvio da largura do anel externo
V_{Bs}	Varição da largura do anel interno	V_{Cs}	Varição da largura do anel externo
K_{ia}	Desvio radial de giro do anel interno	K_{ea}	Desvio radial de giro do anel externo
S_d	Desvio lateral de giro do anel interno	S_D	Inclinação da superfície externa do anel externo
S_{ia}	Desvio axial de giro do anel interno	S_{ea}	Desvio axial de giro do anel externo
S_i, S_e	Varição da espessura da pista dos anéis interno, externo ou central do rolamento axial		
T	Largura nominal do rolamento		
Δ_{Ts}	Desvio da largura de montagem do rolamento de uma carreira		

Tabela 8.3 Tolerâncias para Rolamentos de Rolos Cônicos da Série Métrica

Tabela 8.3.1 Tolerâncias para Diâmetro do Furo e Precisão de Giro do Anel Interno

unidade: µm

Diâm. Nominal do Furo <i>d</i> (mm)	Δ_{dmp}				Δ_{ds}		V_{dp}				V_{dmp}				K_{ia}				S_d		S_{ia}			
	Classe N Classe 6X		Classe 6 Classe 5		Classe 4		Classe 4		Classes N, 6X	Classe 6	Classe 5	Classe 4	Classes N, 6X	Classe 6	Classe 5	Classe 4	Classe N Classe 6X	Classe 6	Classe 5	Classe 4	Classe 5	Classe 4	Classe 4	
Acima de	Inclusive	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	
10	18	0	-8	0	-7	0	-5	0	-5	8	7	5	4	6	5	5	4	15	7	3.5	2.5	7	3	3
18	30	0	-10	0	-8	0	-6	0	-6	10	8	6	5	8	6	5	4	18	8	4	3	8	4	4
30	50	0	-12	0	-10	0	-8	0	-8	12	10	8	6	9	8	5	5	20	10	5	4	8	4	4
50	80	0	-15	0	-12	0	-9	0	-9	15	12	9	7	11	9	6	5	25	10	5	4	8	5	4
80	120	0	-20	0	-15	0	-10	0	-10	20	15	11	8	15	11	8	5	30	13	6	5	9	5	5
120	180	0	-25	0	-18	0	-13	0	-13	25	18	14	10	19	14	9	7	35	18	8	6	10	6	7
180	250	0	-30	0	-22	0	-15	0	-15	30	22	17	11	23	16	11	8	50	20	10	8	11	7	8
250	315	0	-35	0	-25	0	-18	0	-18	35	-	-	-	26	-	-	-	60	25	13	10	13	8	10
315	400	0	-40	0	-30	0	-23	0	-23	40	-	-	-	30	-	-	-	70	30	15	12	15	10	14
400	500	0	-45	0	-35	0	-27	0	-27	-	-	-	-	-	-	-	-	70	35	18	14	19	13	17
500	630	0	-50	0	-40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85	40	20	-	22	-	-
630	800	0	-75	0	-60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	45	22	-	27	-	-

Observação

1. A tolerância superior do diâmetro do furo do rolamento, constante na tabela, não se aplica no espaço de 1.2 vez o chanfro *r* (máx.) a partir das faces laterais.
2. Uma parcela das tolerâncias está conforme norma NSK.

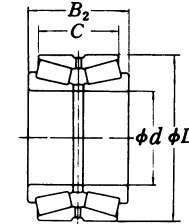
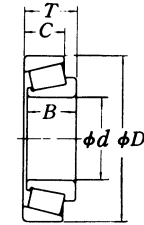


Tabela 8.3.2 Tolerâncias para Diâmetro Externo e Precisão de Giro do Anel Externo

unidade: µm

Diâm. Externo Nominal <i>D</i> (mm)	Δ_{Dmp}				Δ_{Ds}		V_{Dp}				V_{Dmp}				K_{ea}				SD		S_{ea}			
	Classe N Classe 6X		Classe 6 Classe 5		Classe 4		Classe 4		Classes N, 6X	Classe 6	Classe 5	Classe 4	Classes N, 6X	Classe 6	Classe 5	Classe 4	Classe N Classe 6X	Classe 6	Classe 5	Classe 4	Classe 5	Classe 4	Classe 4	
Acima de	Inclusive	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	
18	30	0	-9	0	-8	0	-6	0	-6	9	8	6	5	7	6	5	4	18	9	6	4	8	4	5
30	50	0	-11	0	-9	0	-7	0	-7	11	9	7	5	8	7	5	5	20	10	7	5	8	4	5
50	80	0	-13	0	-11	0	-9	0	-9	13	11	8	7	10	8	6	5	25	13	8	5	8	4	5
80	120	0	-15	0	-13	0	-10	0	-10	15	13	10	8	11	10	7	5	35	18	10	6	9	5	6
120	150	0	-18	0	-15	0	-11	0	-11	18	15	11	8	14	11	8	6	40	20	11	7	10	5	7
150	180	0	-25	0	-18	0	-13	0	-13	25	18	14	10	19	14	9	7	45	23	13	8	10	5	8
180	250	0	-30	0	-20	0	-15	0	-15	30	20	15	11	23	15	10	8	50	25	15	10	11	7	10
250	315	0	-35	0	-25	0	-18	0	-18	35	25	19	14	26	19	13	9	60	30	18	11	13	8	10
315	400	0	-40	0	-28	0	-20	0	-20	40	28	22	15	30	21	14	10	70	35	20	13	13	10	13
400	500	0	-45	0	-33	0	-23	0	-23	45	-	-	-	34	-	-	-	80	40	23	15	15	11	15
500	630	0	-50	0	-38	0	-28	0	-28	50	-	-	-	38	-	-	-	100	50	25	18	18	13	18
630	800	0	-75	0	-45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	120	60	30	-	20	-	-
800	1000	0	-100	0	-60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	120	75	35	-	23	-	-

Observação

1. A tolerância inferior do diâmetro externo do rolamento, constante na tabela, não se aplica no espaço de 1.2 vez o chanfro *r* (máx.) a partir das faces laterais.
2. Uma parcela das tolerâncias está conforme norma NSK.

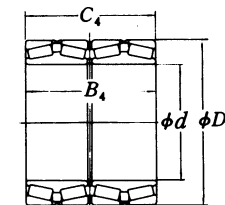


Tabela 8.3 Tolerâncias para os Rolamentos de Rolos Cônicos da Série Métrica

Tabela 8.3.3 Tolerâncias para Largura, Largura da Montagem e Largura Combinada

unidade: μm

Diâm. Nominal do Furo d (mm)	Δ_{B_s}						Δ_{C_s}						Δ_{T_s}						Desvio da Largura Efetiva do Cone com Rolos Δ_{T1s}				Desvio da Largura Efetiva da Carga Δ_{T2s}				Desvio da Largura do Rolamento Combinado				Diâm. Nominal do Furo d (mm)		
	Classe N		Classe 6X		Classe 5		Classe N		Classe 6X		Classe 5		Classe N		Classe 6X		Classe N		Classe 6X		Classe N		Classe 6X		$\Delta_{B_{2s}}$		$\Delta_{B_{4s}}, \Delta_{C_{4s}}$						
	Acima de	Inclusive	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Acima de
10	18	0	-120	0	-50	0	-200	0	-120	0	-100	0	-200	+200	0	+100	0	+200	-200	+100	0	+50	0	+100	0	+50	0	+200	-200	-	-	10	18
18	30	0	-120	0	-50	0	-200	0	-120	0	-100	0	-200	+200	0	+100	0	+200	-200	+100	0	+50	0	+100	0	+50	0	+200	-200	-	-	18	30
30	50	0	-120	0	-50	0	-240	0	-120	0	-100	0	-240	+200	0	+100	0	+200	-200	+100	0	+50	0	+100	0	+50	0	+200	-200	-	-	30	50
50	80	0	-150	0	-50	0	-300	0	-150	0	-100	0	-300	+200	0	+100	0	+200	-200	+100	0	+50	0	+100	0	+50	0	+300	-300	+300	-300	50	80
80	120	0	-200	0	-50	0	-400	0	-200	0	-100	0	-400	+200	-200	+100	0	+200	-200	+100	-100	+50	0	+100	-100	+50	0	+300	-300	+400	-400	80	120
120	180	0	-250	0	-50	0	-500	0	-250	0	-100	0	-500	+350	-250	+150	0	+350	-250	+150	-150	+50	0	+200	-100	+100	0	+400	-400	+500	-500	120	180
180	250	0	-300	0	-50	0	-600	0	-300	0	-100	0	-600	+350	-250	+150	0	+350	-250	+150	-150	+50	0	+200	-100	+100	0	+450	-450	+600	-600	180	250
250	315	0	-350	0	-50	0	-700	0	-350	0	-100	0	-700	+350	-250	+200	0	+350	-250	+150	-150	+100	0	+200	-100	+100	0	+550	-550	+700	-700	250	315
315	400	0	-400	0	-50	0	-800	0	-400	0	-100	0	-800	+400	-400	+200	0	+400	-400	+200	-200	+100	0	+200	-200	+100	0	+600	-600	+800	-800	315	400
400	500	0	-450	-	-	0	-800	0	-450	-	-	0	-800	+400	-400	-	-	+400	-400	-	-	-	-	-	-	-	-	+700	-700	+900	-900	400	500
500	630	0	-500	-	-	0	-800	0	-500	-	-	0	-800	+500	-500	-	-	+500	-500	-	-	-	-	-	-	-	-	+800	-800	+1000	-1000	500	630
630	800	0	-750	-	-	0	-800	0	-750	-	-	0	-800	+600	-600	-	-	+600	-600	-	-	-	-	-	-	-	-	+1200	-1200	+1500	-1500	630	800

Observação

A largura efetiva do anel interno (cone) com rolos T_1 é a largura total da montagem do cone com rolos na capa padrão.

A largura efetiva do anel externo (capa) T_2 é a largura total da montagem da capa no cone padrão com rolos.

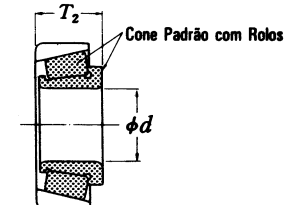
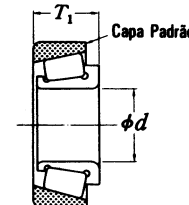
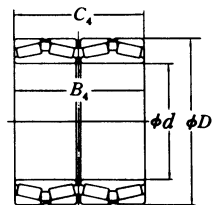
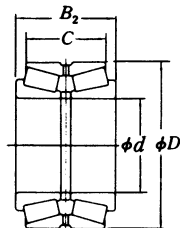
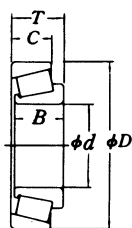


Tabela 8.4 Tolerâncias para Rolamentos de Rolos Cônicos da Série Polegada

Tabela 8.4.1 Tolerâncias para Diâmetro do Furo

unidade: μm

Diâmetro Nominal do Furo d				Δ_{ds}					
Acima de		Inclusive		CLASSES 4, 2		CLASSES 3, 0		CLASSE 00	
(mm)	1/25.4	(mm)	1/25.4	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.
-	-	76.200	3.0000	+13	0	+13	0	+8	0
76.200	3.0000	266.700	10.5000	+25	0	+13	0	+8	0
266.700	10.5000	304.800	12.0000	+25	0	+13	0	-	-
304.800	12.0000	609.600	24.0000	+51	0	+25	0	-	-
609.600	24.0000	914.400	36.0000	+76	0	+38	0	-	-
914.400	36.0000	1 219.200	48.0000	+102	0	+51	0	-	-
1 219.200	48.0000	-	-	+127	0	+76	0	-	-

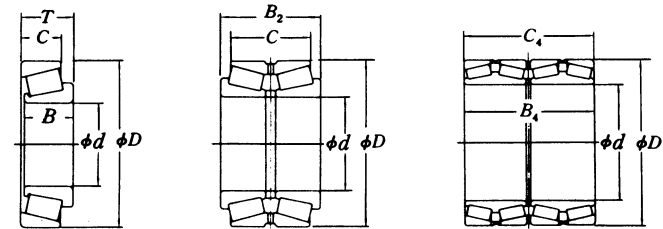


Tabela 8.4.2 Tolerâncias para Diâmetro Externo e Desvio Radial de Giro dos Anéis Interno e Externo

unidade: μm

Diâmetro Externo Nominal D				Δ_{Ds}						K_{ia}, K_{ea}				
Acima de		Inclusive		CLASSES 4, 2		CLASSES 3, 0		CLASSE 00		CLASSE 4	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 0	CLASSE 00
(mm)	1/25.4	(mm)	1/25.4	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	max	max	max	max	max
-	-	266.700	10.5000	+25	0	+13	0	+8	0	51	38	8	4	2
266.700	10.5000	304.800	12.0000	+25	0	+13	0	-	-	51	38	8	4	-
304.800	12.0000	609.600	24.0000	+51	0	+25	0	-	-	51	38	18	-	-
609.600	24.0000	914.400	36.0000	+76	0	+38	0	-	-	76	51	51	-	-
914.400	36.0000	1 219.200	48.0000	+102	0	+51	0	-	-	76	-	76	-	-
1 219.200	48.0000	-	-	+127	0	+76	0	-	-	76	-	76	-	-

Tabela 8.4.3 Tolerâncias para Largura da Montagem e Largura Combinada

unidade: μm

Diâmetro Nominal do Furo d				Desvio da Largura da Montagem do Rolamento de Uma Carreira Δ_{Ts}										Desvio da Largura do Rol. de Duas Carreiras Combinado Δ_{B2s}								Desvio da Larg. do Rol. de 4 Carreiras Combinado $\Delta_{B4s}, \Delta_{C4s}$					
Acima de		Inclusive		CLASSE 4		CLASSE 2		CLASSE 3				CLASSES 0,00		CLASSE 4		CLASSE 2		CLASSE 3				CLASSES 0,00		CLASSES 4, 3, 0			
(mm)	1/25.4	(mm)	1/25.4	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	$D \leq 508.000$ (mm)		$D > 508.000$ (mm)		Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	$D \leq 508.000$ (mm)		$D > 508.000$ (mm)		Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.		
-	-	101.600	4.0000	+203	0	+203	0	+203	-203	+203	-203	+203	-203	+406	0	+406	0	+406	-406	+406	-406	+406	-406	+406	-406	+1524	-1524
101.600	4.0000	304.800	12.0000	+356	-254	+203	0	+203	-203	+203	-203	+203	-203	+711	-508	+406	-203	+406	-406	+406	-406	+406	-406	+406	-406	+1524	-1524
304.800	12.0000	609.600	24.0000	+381	-381	+381	-381	+203	-203	+381	-381	-	-	+762	-762	+762	-762	+406	-406	+762	-762	-	-	+1524	-1524		
609.600	24.0000	-	-	+381	-381	-	-	+381	-381	+381	-381	-	-	+762	-762	-	-	+762	-762	+762	-762	-	-	+1524	-1524		

Tabela 8.5 Tolerâncias para Rolamentos Magneto

Tabela 8.5.1 Tolerâncias para Anel Interno, Largura do Anel Externo e Largura da Montagem

unidade: μm

Diâmetro Nominal do Furo d (mm)		Δ_{dmp}						V_{dp}			V_{dmp}			Δ_{Bs} (ou Δ_{Cs}) (¹)				V_{Bs} (ou V_{Cs}) (¹)		Δ_{Ts}		K_{ia}			S_d	S_{ia}
		Classe N		Classe 6		Classe 5		Classe N	Classe 6	Classe 5	Classe N	Classe 6	Classe 5	Classe N Classe 6		Classe 5		Classes N, 6, 5		Classe N	Classe 6	Classe 5	Classe 5	Classe 5		
Acima de	Inclusive	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	max	max	max	max	max	max	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	max	max	Sup.	Inf.	max	max	max	max	max
2.5	10	0	-8	0	-7	0	-5	6	5	4	6	5	3	0	-120	0	-40	15	5	+120	-120	10	6	4	7	7
10	18	0	-8	0	-7	0	-5	6	5	4	6	5	3	0	-120	0	-80	20	5	+120	-120	10	7	4	7	7
18	30	0	-10	0	-8	0	-6	8	6	5	8	6	3	0	-120	0	-120	20	5	+120	-120	13	8	4	8	8

Nota

(¹) Os valores de desvio e de variação definidos para a largura do anel externo são os mesmos da largura do anel interno.

Observação

A tolerância superior do diâmetro do furo do rolamento, constante na tabela, não se aplica no espaço de 1.2 vez o chanfro r (máx.) a partir das faces laterais.

Tabela 8.5.2 Tolerâncias para Anel Externo

unidade: μm

Diâmetro Externo Nominal D (mm)		Δ_{Dmp}												V_{Dp}			V_{Dmp}			K_{ea}			S_{ea}	S_D	
		Série de Rolamento E						Série de Rolamento EN																	
		Classe N		Classe 6		Classe 5		Classe N		Classe 6		Classe 5		Classe N	Classe 6	Classe 5	Classe N	Classe 6	Classe 5	Classe N	Classe 6	Classe 5	Classe 5	Classe 5	
Acima de	Inclusive	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max
6	18	+8	0	+7	0	+5	0	0	-8	0	-7	0	-5	6	5	4	6	5	3	15	8	5	8	8	
18	30	+9	0	+8	0	+6	0	0	-9	0	-8	0	-6	7	6	5	7	6	3	15	9	6	8	8	
30	50	+11	0	+9	0	+7	0	0	-11	0	-9	0	-7	8	7	5	8	7	4	20	10	7	8	8	

Observação

A tolerância inferior do diâmetro externo do rolamento, contante na tabela, não se aplica no espaço de 1.2 vez o chanfro r (máx.) a partir das faces laterais.

Tabela 8.6 Tolerâncias para Rolamentos Axiais de Esteras

Tabela 8.6.1 Tolerâncias para Diâmetro do Furo e Precisão de Giro do Anel Interno

unidade: μm

Diâmetro Nominal do Furo d ou d_2 (mm)		Δ_{dmp} ou Δ_{d2mp}				V_{dp} ou V_{d2p}		S_r ou S_e (*)				
		Classes N, 6, 5		Classe 4		Classes N, 6, 5	Classe 4	Classe N	Classe 6	Classe 5	Classe 4	
Acima de	Inclusive	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	max	max	max	max	max	max	
-	18	0	-8	0	-7	6	5	10	5	3	2	
18	30	0	-10	0	-8	8	6	10	5	3	2	
30	50	0	-12	0	-10	9	8	10	6	3	2	
50	80	0	-15	0	-12	11	9	10	7	4	3	
80	120	0	-20	0	-15	15	11	15	8	4	3	
120	180	0	-25	0	-18	19	14	15	9	5	4	
180	250	0	-30	0	-22	23	17	20	10	5	4	
250	315	0	-35	0	-25	26	19	25	13	7	5	
315	400	0	-40	0	-30	30	23	30	15	7	5	
400	500	0	-45	0	-35	34	26	30	18	9	6	
500	630	0	-50	0	-40	38	30	35	21	11	7	
630	800	0	-75	0	-50	-	-	40	25	13	8	
800	1000	0	-100	-	-	-	-	45	30	15	-	
1000	1250	0	-125	-	-	-	-	50	35	18	-	

Nota

(*) Nos rolamentos de escora dupla, não se deve basear em d_2 , mas sim, no d do rolamento de escora simples que tenha o mesmo D e a mesma série de diâmetro.

Ainda, a variação S_g , da espessura do anel externo, é válida somente para os rolamentos de assento plano.

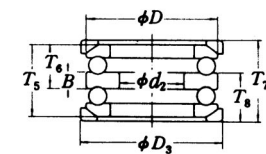
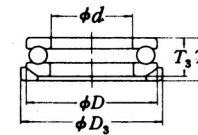
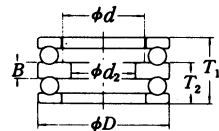
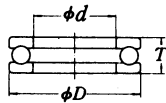


Tabela 8.6.2 Tolerâncias para Diâmetro Externo do Anel Externo e da Contraplaca Esférica

unidade: μm

Diâmetro Externo Nominal do Rolamento ou da Contraplaca Esférica D ou D_3 (mm)		Δ_{Dmp}						V_{Dp}		Desvio do Diâm. Externo da Contraplaca Esférica Δ_{D3s}	
		Assento Plano				Assento Esférico		Classes N, 6, 5	Classe 4	Classe N	
		Classes N, 6, 5		Classe 4		Classe N Classe 6				Sup.	Inf.
Acima de	Inclusive	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Max	Max	Sup.	Inf.
10	18	0	-11	0	-7	0	-17	8	5	0	-25
18	30	0	-13	0	-8	0	-20	10	6	0	-30
30	50	0	-16	0	-9	0	-24	12	7	0	-35
50	80	0	-19	0	-11	0	-29	14	8	0	-45
80	120	0	-22	0	-13	0	-33	17	10	0	-60
120	180	0	-25	0	-15	0	-38	19	11	0	-75
180	250	0	-30	0	-20	0	-45	23	15	0	-90
250	315	0	-35	0	-25	0	-53	26	19	0	-105
315	400	0	-40	0	-28	0	-60	30	21	0	-120
400	500	0	-45	0	-33	0	-68	34	25	0	-135
500	630	0	-50	0	-38	0	-75	38	29	0	-180
630	800	0	-75	0	-45	0	-113	55	34	0	-225
800	1000	0	-100	-	-	-	-	75	-	-	-
1000	1250	0	-125	-	-	-	-	-	-	-	-
1250	1600	0	-160	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 8.6.3 Tolerâncias para Altura do Rolamento Axial de Esferas e para Altura do Anel Central

unidade: μm

Diâmetro Nominal do Furo d (1) (mm)		Assento Plano				Assento Esférico				Com Contraplaca Esférica				Desvio da Altura do Anel Central Δ_{Bs}	
		Δ_{Ts} ou Δ_{T2s}		Δ_{T1s}		Δ_{T3s} ou Δ_{T6s}		Δ_{T5s}		Δ_{T4s} ou Δ_{T8s}		Δ_{T7s}			
		Classes N, 6, 5, 4		Classes N, 6, 5, 4		Classes N, 6		Classes N, 6		Classes N, 6		Classes N, 6			
Acima de	Inclusive	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.
-	30	0	-75	+50	-150	0	-75	+50	-150	+50	-75	+150	-150	0	-50
30	50	0	-100	+75	-200	0	-100	+75	-200	+50	-100	+175	-200	0	-75
50	80	0	-125	+100	-250	0	-125	+100	-250	+75	-125	+250	-250	0	-100
80	120	0	-150	+125	-300	0	-150	+125	-300	+75	-150	+275	-300	0	-125
120	180	0	-175	+150	-350	0	-175	+150	-350	+100	-175	+350	-350	0	-150
180	250	0	-200	+175	-400	0	-200	+175	-400	+100	-200	+375	-400	0	-175
250	315	0	-225	+200	-450	0	-225	+200	-450	+125	-225	+450	-450	0	-200
315	400	0	-300	+250	-600	0	-300	+250	-600	+150	-275	+550	-550	0	-250

Nota

(1) Nos rolamentos de escora dupla, o d deve ser baseado no do rolamento de escora simples que tenha o mesmo D e a mesma série de diâmetro.

Observação:

Os Δ_{Ts} da tabela indicam os desvios das alturas T das figuras abaixo.

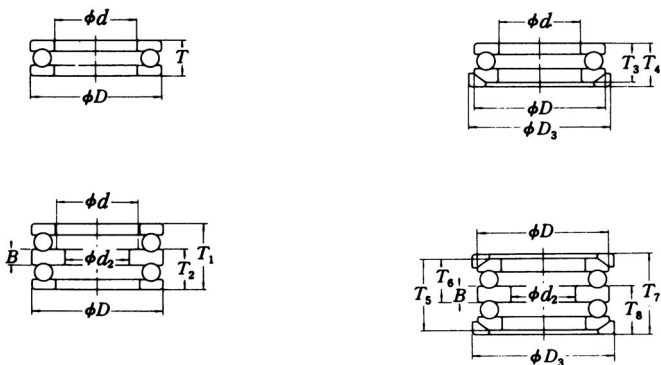


Tabela 8.7 Tolerâncias para Rolamentos Axiais Autocompensadores de Rolos

Tabela 8.7.1 Tolerâncias para Anel Interno e Altura (Classe N)

unidade: μm

Diâm. Nominal do Furo d (mm)		Δ_{dmp}		V_{dp}	Referência		
					S_d	Δ_{Ts}	
Acima de	Inclusive	Sup.	Inf.	max	max	Sup.	Inf.
50	80	0	-15	11	25	+150	-150
80	120	0	-20	15	25	+200	-200
120	180	0	-25	19	30	+250	-250
180	250	0	-30	23	30	+300	-300
250	315	0	-35	26	35	+350	-350
315	400	0	-40	30	40	+400	-400
400	500	0	-45	34	45	+450	-450

Observação

A tolerância superior do diâmetro do furo do rolamento, constante na tabela, não se aplica no espaço de 1.2 vez o chanfro r (máx.) a partir das faces laterais.

Tabela 8.7.2 Tolerâncias para Anel Externo (Classe N)

unidade: μm

Diâmetro Externo Nominal D (mm)		Δ_{Dmp}	
Acima de	Inclusive	Sup.	Inf.
120	180	0	-25
180	250	0	-30
250	315	0	-35
315	400	0	-40
400	500	0	-45
500	630	0	-50
630	800	0	-75
800	1000	0	-100

Observação

A tolerância inferior do diâmetro externo do rolamento, constante na tabela, não se aplica no espaço de 1.2 vez o chanfro r (máx.) a partir das faces laterais.

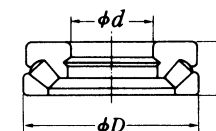


Tabela 8.8 Tolerâncias da Norma AFBMA - U.S.A. (equivalente)
 ABEC 5P, ABEC 7P e ABEC 9P (Série Polegada)
 (1) Tolerâncias para Anel Interno e Largura do Anel Externo

unidade: μm

Diâmetro Nominal do Furo d (mm)	Δ_{dmp}				Δ_{ds}				V_{dp}		V_{dmp}		Δ_{Bs} (ou Δ_{Cs})				V_{Bs}			K_{ia}			S_{ia}			S_d					
	ABEC 5P ABEC 7P		ABEC 9P		ABEC 5P ABEC 7P		ABEC 9P		ABEC 5P ABEC 7P	ABEC 9P	ABEC 5P ABEC 7P	ABEC 9P	Rol. Simples		Rol. Combinado (1)		ABEC 5P	ABEC 7P	ABEC 9P	ABEC 5P	ABEC 7P	ABEC 9P	ABEC 5P	ABEC 7P	ABEC 9P	ABEC 5P	ABEC 7P	ABEC 9P	ABEC 5P	ABEC 7P	ABEC 9P
	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	max	max	max	max	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	
Acima de	Inclusive	0	-5	0	-2.5	0	-5	0	-2.5	2.5	1.2	2.5	1.2	0	-25	0	-381	5	2.5	1.2	3.5	2.5	1.2	7.5	2.5	1.2	7.5	2.5	1.2		
-	10																														
10	18	0	-5	0	-2.5	0	-5	0	-2.5	2.5	1.2	2.5	1.2	0	-25	0	-381	5	2.5	1.2	3.5	2.5	1.2	7.5	2.5	1.2	7.5	2.5	1.2		
18	30	0	-5	0	-2.5	0	-5	0	-2.5	2.5	1.2	2.5	1.2	0	-25	0	-381	5	2.5	1.2	3.5	2.5	1.2	7.5	3.5	2.5	7.5	3.5	2.5		

Nota

(1) Aplicados nos rolamentos em combinação de dois que devem ter as diferenças de largura ajustadas.

Observação

As classes de tolerâncias ABEC 5P, 7P e 9P são usadas em rolamentos de precisão para aparelhos de medição.

As tolerâncias referentes aos rolamentos de precisão da série métrica, para aparelhos de medição, solicita-se consultar a NSK.

(2) Tolerâncias para Anel Externo

unidade: μm

Diâmetro Externo Nominal D (mm)	Δ_{Dmp}				Δ_{Ds}				V_{Dp}		V_{Dmp}		V_{Cs} (1)			S_D			K_{ea}			S_{ea}			Desvio do Diâm. Externo do Flange Δ_{Dis}		Desvio da Largura do Flange Δ_{ClS}		Desvio Axial de Giro S_{eal} (2)					
	ABEC 5P ABEC 7P		ABEC 9P		ABEC 5P ABEC 7P		ABEC 9P		ABEC 5P ABEC 7P	ABEC 9P	ABEC 5P ABEC 7P	ABEC 9P	ABEC 5P	ABEC 7P	ABEC 9P	ABEC 5P	ABEC 7P	ABEC 9P	ABEC 5P	ABEC 7P	ABEC 9P	ABEC 5P	ABEC 7P	ABEC 9P	ABEC 5P	ABEC 7P	ABEC 5P ABEC 7P	ABEC 5P ABEC 7P	ABEC 5P ABEC 7P					
	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Max			
Acima de	Inclusive	0	-5	0	-2.5	0	-5	+1	-6	0	-2.5	2.5	5	1.2	2.5	5	1.2	5	2.5	1.2	7.5	3.5	1.2	5	3.5	1.2	7.5	5	1.2	0	-25	0	-51	7.5
-	18																																	
18	30	0	-5	0	-3.5	0	-5	+1	-6	0	-3.5	2.5	5	2	2.5	5	2	5	2.5	1.2	7.5	3.5	1.2	5	3.5	2.5	7.5	5	2.5	0	-25	0	-51	7.5
30	50	0	-5	0	-3.5	0	-5	+1	-6	0	-3.5	2.5	5	2	2.5	5	2	5	2.5	1.2	7.5	3.5	1.2	5	5	2.5	7.5	5	2.5	0	-25	0	-51	7.5

Notas

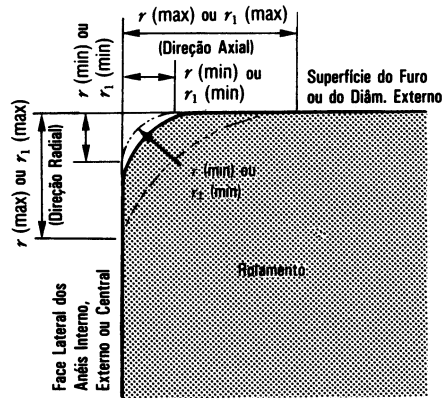
(1) Válido também para a variação da largura do flange nos rolamentos flangeados.

(2) Válido para a face posterior do flange.

Tabela 8.9 Limites para a Dimensão do Chanfro (Série Métrica)

Tabela 8.9.1 Limites para os Rolamentos Radiais (exceto rolamentos de rolos cônicos)

unidade: mm



Dimensão Mínima Permissível do Chanfro nos Anéis Interno e Externo r (min) ou r_j (min)	Diâmetro Nominal do Furo d		Dimensão Máxima Permissível do Chanfro nos Anéis Interno e Externo r (max) ou r_j (max)		Referência
	Acima de	Inclusive	Direção Radial	Direção Axial	Raio de Canto no Eixo ou no Alojamento r_a
					max
0.05	-	-	0.1	0.2	0.05
0.08	-	-	0.16	0.3	0.08
0.1	-	-	0.2	0.4	0.1
0.15	-	-	0.3	0.6	0.15
0.2	-	-	0.5	0.8	0.2
0.3	-	40	0.6	1	0.3
	40	-	0.8	1	
0.6	-	40	1	2	0.6
	40	-	1.3	2	
1	-	50	1.5	3	1
	50	-	1.9	3	
1.1	-	120	2	3.5	1
	120	-	2.5	4	
1.5	-	120	2.3	4	1.5
	120	-	3	5	
2	-	80	3	4.5	2
	80	220	3.5	5	
	220	-	3.8	6	
2.1	-	280	4	6.5	2
	280	-	4.5	7	
2.5	-	100	3.8	6	2
	100	280	4.5	6	
	280	-	5	7	
3	-	280	5	8	2.5
	280	-	5.5	8	
4	-	-	6.5	9	3
5	-	-	8	10	4
6	-	-	10	13	5
7.5	-	-	12.5	17	6
9.5	-	-	15	19	8
12	-	-	18	24	10
15	-	-	21	30	12
19	-	-	25	38	15

Observação

Quando a largura nominal do rolamento for menor que 2mm, o r (máx.) na direção axial será igual ao valor na direção radial.

Tabela 8.9.2 Limites para os Rolamentos de Rolos Cônicos

unidade: mm

Dimensão Mínima Permissível do Chanfro nos Anéis Interno e Externo r (min.)	Diâmetro Nominal do Furo ou do Externo ⁽¹⁾ d ou D		Dimensão Máxima Permissível do Chanfro nos Anéis Interno e Externo r (max)		Referência
	Acima de	Inclusive	Direção Radial	Direção Axial	Raio de Canto no Eixo ou no Alojamento r_a
					max
0.15	-	-	0.3	0.6	0.15
0.3	-	40	0.7	1.4	0.3
	40	-	0.9	1.6	
0.6	-	40	1.1	1.7	0.6
	40	-	1.3	2	
1	-	50	1.6	2.5	1
	50	-	1.9	3	
1.5	-	120	2.3	3	1 *
	120	250	2.8	3.5	
	250	-	3.5	4	
2	-	120	2.8	4	1.5 *
	120	250	3.5	4.5	
	250	-	4	5	
2.5	-	120	3.5	5	2
	120	250	4	5.5	
	250	-	4.5	6	
3	-	120	4	5.5	2 *
	120	250	4.5	6.5	
	250	400	5	7	
	400	-	5.5	7.5	
4	-	120	5	7	2.5 *
	120	250	5.5	7.5	
	250	400	6	8	
	400	-	6.5	8.5	
5	-	180	6.5	8	3 *
	180	-	7.5	9	
6	-	180	7.5	10	4 *
	180	-	9	11	

Nota

⁽¹⁾ Os anéis internos são classificados por d e os anéis externos por D .

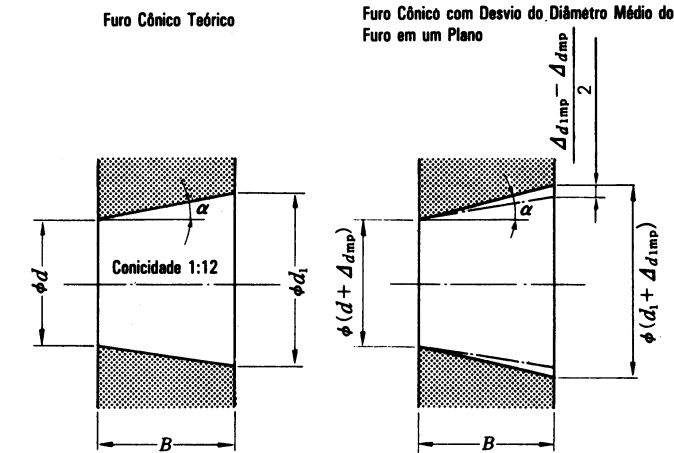
* Nestes casos, o valor do raio de canto do alojamento pode ser maior em 0.5 ou 1mm.

Tabela 8.9.3 Limites para os Rolamentos Axiais

unidade: mm

Dim. Min. Permissível do Chanfro nos Anéis Interno (ou Central) e Externo r (min) ou r_j (min)	Dim. Máx. Permissível do Chanfro nos Anéis Interno (ou Central) e Externo r (max) ou r_j (max)	Referência
		Raio de Canto no Eixo ou no Alojamento
0.05	01	0.05
0.08	0.16	0.08
0.1	0.2	0.1
0.15	0.3	0.15
0.2	0.5	0.2
0.3	0.8	0.3
0.6	1.5	0.6
1	2.2	1
1.1	2.7	1
1.5	3.5	1.5
2	4	2
2.1	4.5	2
3	5.5	2.5
4	6.5	3
5	8	4
6	10	5
7.5	12.5	6
9.5	15	8
12	18	10
15	21	12
19	25	15

Tabela 8.10 Tolerâncias para Furo Cônico (Classe N)



- d : Diâmetro Nominal do Furo
- d_1 : Diâmetro Teórico do Extremo Maior do Furo Cônico $d_1=d+1/12B$
- Δ_{dmp} : Desvio do Diâmetro Médio Teórico Relativo ao Extremo Menor do Furo Cônico
- Δ_{d1mp} : Desvio do Diâmetro Médio Teórico Relativo ao Extremo Maior do Furo Cônico
- B : Largura Nominal do Anel Interno
- α : Metade do Ângulo de Conicidade do Furo Cônico
- $\alpha = 2^{\circ}23'9.4''$
- $\alpha = 2.3894^{\circ}$
- $\alpha = 0.041643$ rad

Diâmetro Nominal do Furo d (mm)		Desvio do Diâm. Médio Teórico Relativo ao Extremo Menor Δ_{dmp}		$\Delta_{d1mp} - \Delta_{dmp}$		V_{dp} (*)
Acima de	Inclusive	Superior	Inferior	Superior	Inferior	max
18	30	+21	0	+21	0	13
30	50	+25	0	+25	0	15
50	80	+30	0	+30	0	19
80	120	+35	0	+35	0	25
120	180	+40	0	+40	0	31
180	250	+46	0	+46	0	38
250	315	+52	0	+52	0	44
315	400	+57	0	+57	0	50
400	500	+63	0	+63	0	56

Nota

(*) Válido para todos os planos radiais do furo cônico.

8.2 Seleção da Classe de Precisão

As tolerâncias da classe N atendem, suficientemente, quase a totalidade das funções relativas às aplicações normais, entretanto, para as aplicações e as condições a seguir, os rolamentos das classes de precisão 5, 4 ou acima são os adequados.

Na tabela 8.11, são apresentados como referência, o desempenho requerido para o rolamento, os exemplos de aplicação de acordo com as condições de uso e as classes de precisão.

Tabela 8.11 Exemplos de Aplicações dos Rolamentos de Alta Precisão (Referência)

Condições de Uso e o Desempenho Requerido	Exemplos de Aplicações	Classes de Precisão
Casos com solicitação de alta precisão de giro	Eixo Tambor do VTR	P5
	Eixo para Disco Magnético	P5, P4, P2, ABEC9
	Fusos de Máquinas-Ferramentas	P5, P4, P2, ABEC9
	Cilindro Rotativo de Impressoras	P5
	Mesas Giratórias como as de Tornos Verticais	P5, P4
	Cilindros de Encosto de Laminadores a Frio	P4 e acima
	Base Giratória de Antenas Parabólicas	P4 e acima
Casos de rolamentos com rotação extremamente alta	Canetas Odontológicas	ABEC7P, ABEC5P
	Giroscópios	ABEC7P, P4
	Fusos de Alta Frequência	ABEC7P, P4
	Superalimentadores	P5, P4
	Centrífugas	P5, P4
Casos com solicitação de reduzido atrito e variação do mesmo	Eixo Principal de Motores a Jato	P4 e acima
	Alça de Giroscópio	ABEC7P, P4
	Máquinas Elétricas Síncronas	ABEC7P, ABEC5P
Potenciômetro	ABEC7P	

9 AJUSTE E FOLGA DE ROLAMENTO

9.1 Ajuste

9.1.1 Importância do Ajuste

Os rolamentos ao serem assentados com reduzida interferência no eixo, quando girados com carga no anel interno, podem apresentar entre o anel interno e o eixo um prejudicial movimento relativo na direção circunferencial. Esta ocorrência denominada deslizamento, é o fenômeno que se apresenta em forma de deslocamento da posição do anel de rolamento em relação ao eixo ou ao alojamento na direção circunferencial, devido a mudança do ponto de aplicação da carga nesta direção, nos casos de interferência insuficiente na superfície de ajuste.

Uma vez ocorrido o deslizamento a superfície de ajuste desgasta-se consideravelmente, em muitos casos danificando o eixo ou o alojamento. Além disto, há casos em que as partículas desgastadas ao penetrarem no interior do rolamento, causam ocorrências como aquecimento anormal, vibração, entre outros.

Conseqüentemente, é importante evitar o deslizamento durante a operação, do anel de rolamento que irá girar apoiando a carga, fixando-o no eixo ou no alojamento através de uma interferência adequada. Cabe lembrar que são também grandes, os casos em que somente com o aperto do rolamento na direção axial, os deslizamentos não podem ser evitados. Por outro lado, o anel que apóia a carga estática, normalmente, não requer a interferência.

Ainda, de acordo com a dificuldade das condições de utilização, instalação e remoção, há casos em que o ajuste

é efetuado sem interferência no anel interno e no anel externo.

Nestes casos, em relação aos danos na superfície de ajuste que podem ser previstos com o deslizamento, cuidados além da lubrificação devem ser tomados.

9.1.2 Seleção do Ajuste

(1) Natureza da Carga e Ajuste

A seleção do ajuste é determinada pela direção da carga que incide sobre os rolamentos e as condições de giro dos anéis internos e externos, normalmente, podem ser baseada na tabela 9.1.

(2) Magnitude da Carga e Interferência

A interferência no anel interno diminui sob a ação da carga radial. A intensidade desta diminuição na interferência do anel interno, normalmente, pode ser calculada pelas equações a seguir:

$$\Delta d_F = 0.08 \sqrt{\frac{d}{B} F_r \times 10^{-3}} \dots\dots (N) \dots\dots (9.1)$$

$$\Delta d_F = 0.25 \sqrt{\frac{d}{B} F_r \times 10^{-3}} \dots\dots \{kgf\}$$

Onde Δd_F : Diminuição da interferência no anel interno (mm)

d : Diâmetro do furo (mm)

B : Largura do anel interno (mm)

F_r : Carga radial atuante no rolamento (N), {kgf}

Nas condições de trabalho com cargas leves e cargas normais, deve-se ter previamente considerada a diminuição da intensidade de interferência obtida pela equação 9.1.

Entretanto, nos casos de cargas radiais pesadas, superiores a 20% da capacidade de carga estática - C_{0p} , por serem conhecidos os casos de interferência insuficiente, a interferência mínima requerida deve ser determinada pela equação 9.2:

$$\Delta d_F \geq 0.02 \frac{F_r}{B} \times 10^{-3} \dots\dots (N) \dots\dots (9.2)$$

$$\Delta d_F \geq 0.2 \frac{F_r}{B} \times 10^{-3} \dots\dots \{kgf\}$$

Onde Δd_F : Interferência efetiva requerida (mm)

F_r : Carga radial atuante no rolamento (N), {kgf}

B : Largura do anel interno (mm)

(3) Variação da Interferência Devido a Diferença de Temperatura do Rolamento com o Eixo e o Alojamento

A interferência da superfície de ajuste do anel interno diminui em razão do aumento de temperatura do rolamento durante a operação. Deste modo, se ΔT (°C) for a diferença de temperatura entre o interior do rolamento e o alojamento, a diferença da temperatura na superfície de ajuste entre o eixo e o anel interno pode ser estimada como sendo de aproximadamente (0.1 ~ 0.15) ΔT .

Conseqüentemente, a diminuição da interferência no anel interno devido a esta diferença de temperatura - Δd_T , pode ser determinada pela equação 9.3:

$$\Delta d_T = (0.10 \sim 0.15) \Delta T \alpha d$$

$$= 0.0015 \Delta T d \times 10^{-3} \dots\dots (9.3)$$

Onde Δd_T : Diminuição da interferência devido a diferença de temperatura (mm)

ΔT : Diferença de temperatura entre o interior do rolamento e o alojamento (°C)

α : Coeficiente de expansão linear do aço para rolamento = 12.5×10^{-6} (1/°C)

d : Diâmetro do Furo (mm)

Inversamente, entre o anel externo e o alojamento, dependendo da diferença de temperatura e do coeficiente de expansão linear, há casos em que a interferência pode aumentar.

(4) Interferência Efetiva e Acabamento da Superfície de Ajuste

A rugosidade da superfície de ajuste é esmagada na execução do trabalho de assentamento, com isto, a interferência efetiva fica menor que a interferência aparente.

A diminuição desta interferência aparente, varia de acordo com o acabamento da superfície de ajuste; entretanto, a interferência efetiva pode ser encontrada, em geral, pelas equações a seguir:

$$\text{Eixo retificado} \quad \Delta d = \frac{d}{d+2} \Delta d_a \dots\dots (9.4)$$

$$\text{Eixo torneado} \quad \Delta d = \frac{d}{d+3} \Delta d_a \dots\dots (9.5)$$

Onde Δd : Interferência efetiva (mm)

Δd_a : Interferência aparente (mm)

d : Diâmetro do Furo (mm)

De acordo com as equações 9.4 e 9.5, a interferência efetiva dos rolamentos com o diâmetro do furo nos limites de 30 a 150 mm, é de aproximadamente 95% da interferência aparente

(5) Expansão e Contração dos Anéis e Tensão devido ao Ajuste

Os rolamentos ao serem instalados com interferência, no eixo ou no alojamento, são tencionados pela expansão ou contração dos anéis.

A interferência excessiva pode provocar a avaria dos anéis, por isto, como orientação, a interferência máxima deve ser mantida por segurança, abaixo de 7/10 000 do diâmetro do eixo.

A pressão na superfície de ajuste, a expansão e contração dos anéis e a tensão na direção circunferencial, podem ser calculadas pelas equações apresentadas no parágrafo 15.2, referente ao ajuste, item (1), páginas A130 e A131.

Tabela 9.1 Natureza da Carga e Ajuste

Direção da Carga	Rotação do Rolamento		Natureza da Carga	Ajuste	
	Anel Interno	Anel Externo		Anel Interno	Anel Externo
	Rotativo	Estático	Carga Rotativa no Anel Interno	Com Interferência	Com Folga
	Estático	Rotativo	Carga Estática no Anel Externo		
	Estático	Rotativo	Carga Rotativa no Anel Externo	Com Folga	Com Interferência
	Rotativo	Estático	Carga Estática no Anel Interno		
Cargas de Direção Inconstante	Rotativo ou Estático	Rotativo ou Estático	Cargas de Direção Inconstante	Com Interferência	Com Interferência

Tabela 9.2 Ajustes dos Rolamentos Radiais nos Eixos

Condição de Carga		Exemplos de Aplicações (referência)	Diâmetro do Eixo (mm)			Classe de Tolerância do Eixo	Observação
			Rolamentos de Esferas	Rolamentos de Rolos Cilíndricos e Cônicos	Rolamentos Auto-compensadores de rolos		
Rolamentos de Furos Cilíndricos e Eixos							
Carga Rotativa no Anel Externo	Necessário Mov. o Anel Interno no Eixo com Facilidade	Roda com Eixo Estático	Todos os Diâmetros de Eixo			g6	Usar g5 ou h5 na necessidade de precisão. Nos rols. grandes pode ser f6 para facilitar o movimento.
	Sem Necessid. de Mov. o Anel Interno no Eixo com Facilidade	Polia Tensora, Roldanas				h6	
Carga Rotativa no Anel Interno ou Carga de Direção Inconstante	Carga Leve (< 0.06 C _r (*) Carga Variável	Eletrodomésticos, Bombas, Ventiladores, Carrinhos, Máquinas de Precisão e Operatrizes	< 18	-	-	js5	Classe de tolerância 5 nos que requerem precisão, usar também o rol. de alta precisão. Usar h5 nos rols. de esferas de alta precisão com furo < 18mm. Nos rols. de rolos cônicos e de esferas de contato angular, de uma carreira, pode ser usado k6 ou m6 no lugar de k5 ou m5.
			18 ~ 100	< 40	-	js6 (j6)	
			100 ~ 200	40 ~ 140	-	k6	
	Carga Normal (0.06 a 0.13 C _r (*)	Motores Elétricos Médios e Grandes, Turbinas, Bombas, Rolamento Principal de Motores, Mecanismo de Transmissão do Movimento por Engrenagens, Máquinas de Marcenaria	-	140 ~ 200	-	m6	
			< 18	-	-	js5 ~ 6 (j5 ~ 6)	
			18 ~ 100	< 40	< 40	k5 ~ 6	
			100 ~ 140	40 ~ 100	40 ~ 65	m5 ~ 6	
			140 ~ 200	100 ~ 140	65 ~ 100	m6	
			200 ~ 280	140 ~ 200	100 ~ 140	n6	
	Carga Pesada (> 0.13 C _r (*) Carga de Choque	Rodeiro Ferroviário, Rodeiro Industrial, Motor de Tração, Máquinas de Construção Civil, Britadores	-	200 ~ 400	140 ~ 280	p6	
			-	-	280 ~ 500	r6	
			-	-	Acima de 500	r7	
Somente Carga Axial			Todos os Diâmetros de Eixo			js6 (j6)	-
Rolamentos de Furo Cônico (com Bucha) e Eixos							
Todos os Tipos de Carga		Uso Genérico, Rodeiro Ferroviário	Todos os Diâmetros de Eixo			h9/IT5	IT5 e IT7 indicam as tolerâncias dos desvios como o de circularidade e cilíndricidade do eixo.
		Eixos Acionadores, Máquina de Marcenaria				h10/IT7	

Nota
(*) C_r representa a capacidade de carga básica dinâmica do rolamento a ser usado.

Observação
Esta tabela é aplicável para os eixos sólidos de aço.

Tabela 9.3 Ajustes dos Rolamentos Axiais nos Eixos

Condição de Carga		Exemplos de Aplicações (referência)	Diâmetro do Eixo	Classe de Tolerância do Eixo	Observação
Somente Carga Axial		Eixo Principal do Torno	Todos os Diâmetros de Eixo	h6 ou js6 (j6)	-
Carga Combinada (Rols. Axiais Autocomp.)	Carga Estática no Anel Interno	Britador	Todos os Diâmetros de Eixo	js6 (j6)	
	Carga Rotativa no Anel Interno ou Carga de Direção Inconstante	Refinadora, Extrusora	< 200	k6	
			200 ~ 400	m6	
			Acima de 400	n6	

Tabela 9.4 Ajustes dos Rolamentos Radiais nos Alojamentos

Condição de Carga		Exemplos de Aplicações (referência)	Classe de Tol. do Alojamento	Movimento Axial do Anel Externo	Observação				
Alojamento Monobloco	Carga Rotativa no Anel Externo	Carga Pesada em Aloj. Fino	Roda de Veic. (Rol. de Rolos), Roda de Guindaste	P7	Impossível	-			
		Carga Normal	Roda de Veic. (Rol. de Esferas), Peneira Vibratória	N7					
		Carga Leve	Roleta Transportador, Vagão de Carga, Polia Tensora	M7					
Alojamento Monobloco ou Bipartido	Carga de Direção Inconstante	Carga Pesada de Choque	Motor de Tração	K7	Como Princípio não se Movimenta	Casos em que não há necessidade de movimento do anel externo na direção axial.			
		Carga Normal	Bombas, Rol. Principal do Virabrequim, Motores Elétricos Médios e Grandes				JS7 (J7)	Possível	Casos em que há necessidade de movimento do anel externo na direção axial.
		Carga Leve							
Alojamento Monobloco	Carga Rotativa no Anel Interno	Todos os Tipos de Carga	Uso Genérico, Caixa de Rol. Ferroviário.	H7	Movimenta com Facilidade	-			
		Carga Normal	Caixas	H8					
		Alta Temp. no Eixo e Anel Interno	Secador de Papel	G7					
Alojamento Monobloco	Carga de Direção Inconstante	Requer Especialmente o Giro Preciso, com Cargas Normais ou Leves	Rol. de Esferas Traseiro do Fuso de Retificadora, Rol. Lado Livre do Compressor Centrífugo de Alta Rotação	JS6 (J6)	Possível	-			
			Rol. de Esferas Dianteiro do Fuso de Retificadora, Rol. Lado Fixo do Compressor Centrífugo de Alta Rotação	K6			Como Princípio não se Movimenta	Ajuste com interf. > K para cargas pesadas. Quando requer altas precisões, usar de acordo com a aplicação, as tolerâncias mais estreitas.	
		Carga Rotativa no Anel Interno	Requer Precisão de Giro e Rigidez com Carga Variável	Rol. de Rolos Cilind. para Fusos de Máquinas-Ferramentas	M6 ou N6	Impossível	-		
		Requer Funcionamento Silencioso	Eletrodomésticos	H6	Movimenta com Facilidade	-			

Observação
Esta tabela é aplicável para os alojamentos de aço ou ferro fundido. Nos alojamentos de ligas leves, usar ajuste com interferência maior que os da tabela acima.

Tabela 9.5 Ajustes dos Rolamentos Axiais nos Alojamentos

Condição de Carga		Tipo de Rolamento	Classe de Tol. do Alojamento	Observação
Somente Carga Axial		Rolamento Axial de Esferas	Folga Acima de 0.25mm	Casos normais
			H8	Casos que requerem precisão
		Rol. Axial Autocomp. de Rolos, Rol. Rolos Cônicos de Ângulo Grande	Constituir Folga na Direção Radial no Anel Externo	Casos em que a carga radial é sustentada por um outro rolamento
Carga Combinada	Carga Estática no Anel Externo	Rol. Axial Autocomp. De Rolos	H7 ou JS7 (J7)	-
			K7	Casos normais
	Carga Rotativa no Anel Externo ou Carga de Direção Inconstante		M7	Casos de carga radial relativamente grande

9.2 Folga Interna do Rolamento

9.2.1 Folga Interna e os Valores Normalizados

A folga interna (ou simplesmente: folga) maior ou menor dos rolamentos em operação, influem significativamente na performance dos rolamentos como: na vida de fadiga, na vibração, no ruído, no aquecimento, etc.

Conseqüentemente, a seleção da folga interna em relação ao rolamento com o tipo e dimensão definidas, é um dos mais importantes itens a serem estudados.

A folga do rolamento é o jogo entre o anel interno, anel externo e os corpos rolantes. Isto é, fixando qualquer um dos anéis, interno ou externo, a folga é a intensidade de deslocamento do outro anel, quando movimentado para cima e para baixo, ou para a direita e para a esquerda. Esta intensidade de deslocamento na direção radial e na direção axial são definidas, respectivamente, como folga radial e folga axial. (Figura 9.1)

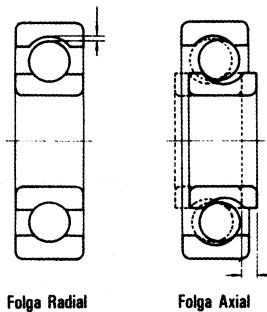


Fig. 9.1 Folga Interna do Rolamento

As medições da folga são efetuadas, normalmente, com a aplicação de uma carga específica de medição no rolamento para se obter valores estáveis; por isto, o valor da folga medida, apesar de ligeiramente, é maior que a folga real na intensidade da deformação elástica causada pela carga de medição (a folga encontrada por este meio é definida como folga de medição).

A folga real, conseqüentemente, deve ser obtida corrigindo-se a folga de medição, do aumento da folga devido a deformação elástica. Nos rolamentos de rolos cilíndricos, como a deformação elástica é pequena, pode ser desprezada. Usualmente, a folga antes da instalação é especificada com os valores da folga real.

Na tabela 9.8, são indicadas as tabelas das folgas internas radiais para os vários tipos de rolamentos.

Tabela 9.8 Tipos de Rolamentos e as Tabelas das Folgas Radiais

Tipo de Rolamento		Número da Tabela	Página
Rolamentos Fixos de Esferas		9.9	A89
Rolamentos de Esferas, Pequenos e Miniaturas		9.10	A89
Rolamentos Magneto		9.11	A89
Rolamentos Autocompensadores de Esferas		9.12	A90
Rolamentos Fixos de Esferas	Para Motores Elétricos	9.13.1	A90
Rolamentos de Rolos Cilíndricos		9.13.2	A90
Rolamentos de Rolos Cilíndricos	Com Furo Cilíndrico (Intercambiável)	9.14	A91
	Com Furo Cilíndrico (Não-Intercambiável)		
	Com Furo Cônico (Não-Intercambiável)		
Rolamentos Autocompensadores de Rolos	Com Furo Cilíndrico Com Furo Cônico	9.15	A92
Rolamentos de Rolos Cônicos Combinados e de Duas Carreiras		9.16	A93
Rolamentos de Esferas de Contato Angular Combinados (*)		9.17	A94
Rols. de Esferas de 4 Pontos de Contato (*)		9.18	A94

Nota

(*) Indicados com os valores da folga axial.

Tabela 9.9 Folga Interna Radial dos Rolamentos Fixos de Esferas

unidade: μm

Diâmetro Nominal do Furo d (mm)	Folga										
	C2		Normal		C3		C4		C5		
Acima de	Inclusive	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Somente	10	0	7	2	13	8	23	14	29	20	37
10	18	0	9	3	18	11	25	18	33	25	45
18	24	0	10	5	20	13	28	20	36	28	48
24	30	1	11	5	20	13	28	23	41	30	53
30	40	1	11	6	20	15	33	28	46	40	64
40	50	1	11	6	23	18	36	30	51	45	73
50	65	1	15	8	28	23	43	38	61	55	90
65	80	1	15	10	30	25	51	46	71	65	105
80	100	1	18	12	36	30	58	53	84	75	120
100	120	2	20	15	41	36	66	61	97	90	140
120	140	2	23	18	48	41	81	71	114	105	160
140	160	2	23	18	53	46	91	81	130	120	180
160	180	2	25	20	61	53	102	91	147	135	200
180	200	2	30	25	71	63	117	107	163	150	230
200	225	2	35	25	85	75	140	125	195	175	265
225	250	2	40	30	95	85	160	145	225	205	300
250	280	2	45	35	105	90	170	155	245	225	340
280	315	2	55	40	115	100	190	175	270	245	370
315	355	3	60	45	125	110	210	195	300	275	410
355	400	3	70	55	145	130	240	225	340	315	460

Observação

Nos casos em que se tem a folga de medição, deve ser efetuada a correção do aumento da folga radial devido a carga de medição, os valores desta correção são relacionados a seguir.

No caso da folga C2, o valor menor da correção deve ser usado para a folga mínima e o maior para a folga máxima.

unidade: μm

Diâmetro Nominal do Furo d (mm)		Carga de Medição (N) (Kgf)		Valor de Correção da Folga				
Acima de	Inclusive			C2	Normal	C3	C4	C5
10 (inclusive)	18	24.5	{2.5}	3 ~ 4	4	4	4	4
18	50	49	{5}	4 ~ 5	5	6	6	6
50	280	147	{15}	6 ~ 8	8	9	9	9

Tabela 9.10 Folga Interna Radial dos Rolamentos, de Esferas, Pequenos e Miniaturas

unidade: μm

Símbolo da Folga	MC1		MC2		MC3		MC4		MC5		MC6	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Folga	0	5	3	8	5	10	8	13	13	20	20	28

Observação

- MC3 é a folga normal.
- A folga de medição deve ser corrigida pelos valores da tabela a seguir.

unidade: μm

Símbolo da Folga	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5	MC6
Valor de Correção da folga	1	1	1	1	2	2

As cargas de medição são as seguintes:

Rolamentos de esferas miniaturas * 2.5N {0.25 kgf}

Rolamentos de esferas pequenos * 4.4N {0.45 kgf}

* Quanto a classificação, miniaturas e pequenos, consultar tabela 1 na página B31.

Tabela 9.11 Folga Interna Radial dos Rolamentos Magneto

unidade: μm

Diâmetro Nominal do Furo d (mm)		Série	Folga	
Acima de	Inclusive		min	max
2.5	30	EN	10	50
		E	30	60

10 PRÉ-CARGA NO ROLAMENTO

Os rolamentos são utilizados na maioria dos casos com apropriada folga nas condições de trabalho. Entretanto, conforme o objetivo, há casos em que são aplicados numa condição tal, que se faz apresentar previamente uma tensão interna instalando o rolamento de maneira que fique com a folga negativa. A este tipo de utilização dá-se o nome de rolamento com pré-carga, e a sua aplicação é maior nos tipos de rolamentos que permitem o ajuste da folga com duas peças contrapostas, como os rolamentos de esferas de contato angular e os rolamentos de rolos cônicos.

10.1 Objetivo da Pré-carga

Os principais objetivos e algumas aplicações representativas da pré-carga são relacionados a seguir:

- (1) Juntamente com a determinação da posição do eixo na direção radial e direção axial com exatidão, reprime o desvio de giro do eixo.
 - ... Fusos de máquinas-ferramentas, aparelhos de medição, etc.
- (2) Aumentar a rigidez do rolamento.
 - ... Fusos de máquinas-ferramentas, pinhão do diferencial de automóveis, etc.
- (3) Evitar ruído anormal devido a vibração na direção axial e a ressonância.
 - ... Motores elétricos de pequeno porte, etc.
- (4) Moderar os deslizamentos nos movimentos rotativos, circulatórios e direcionais dos corpos rolantes.
 - ... Rolamentos de esferas de contato angular em altas rotações, rolamento axial de esferas, etc.
- (5) Manter os corpos rolantes na posição correta em relação a pista.
 - ... Casos de aplicação dos rolamentos axiais de esferas e axiais autocompensadores de rolos, entre outros, em eixos horizontais.

10.2 Métodos de Pré-carregamento

10.2.1 Pré-carga de Posição Constante

A pré-carga de posição constante é um método de pré-carregamento em que a posição relativa na direção axial dos rolamentos contrapostos não se altera durante o funcionamento; a seguir, alguns métodos de pré-carregamento de posição constante:

- (1) Método de utilização do aperto de fixação dos rolamentos de uso combinado, previamente ajustados quanto a dimensão da diferença na largura (consultar figura 1.1 da página A7) ou quanto a folga axial, para resultar em pré-carga.
- (2) Método de utilização de espaçadores ou calços com dimensões ajustadas para resultar em pré-carga. (Figura 10.1)
- (3) Método de utilização do aperto de parafuso e porca que permita o ajuste da folga na direção axial. Neste caso, deve ser ajustado com a medição do momento de atrito de partida para obter a pré-carga adequada.

10.2.2 Pré-carga de Pressão Constante

A pré-carga de pressão constante é um método de atribuir uma adequada pré-carga ao rolamento, utilizando molas helicoidais, molas prato, etc. Mesmo com a alteração da posição relativa dos rolamentos durante o funcionamento, a magnitude da pré-carga pode ser mantida aproximadamente constante. (Figura 10.2)

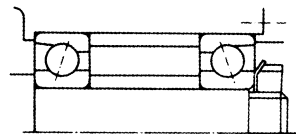


Fig. 10.1 Pré-carga de Posição Constante

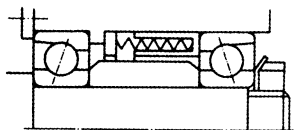


Fig. 10.2 Pré-carga de Pressão Constante

10.3 Pré-carga e Rigidez

10.3.1 Pré-carga de Posição Constante e Rigidez

Ao comprimir na direção axial os anéis internos do par de rolamentos combinados, figura 10.3 rolamentos A e B, cada qual altera-se posicionalmente de δ_{a0} , e a folga $2\delta_{a0}$ entre os anéis internos deixa de existir. Nesta condição, considera-se que a pré-carga F_{a0} está aplicada.

Na figura 10.4, o diagrama de pré-carga que apresenta a relação entre a carga e a alteração posicional, ou seja, a rigidez do rolamento no caso de adicionar uma dada carga axial F_a como indicado na figura do par de rolamento pré-carregado.

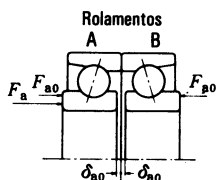


Fig. 10.3 Pré-carga nos Rolamentos Dispostos Costa a Costa

10.3.2 Pré-carga de Pressão Constante e Rigidez

O diagrama de pré-carga do rolamento sujeito a pré-carga de pressão constante é apresentado pela figura 10.5.

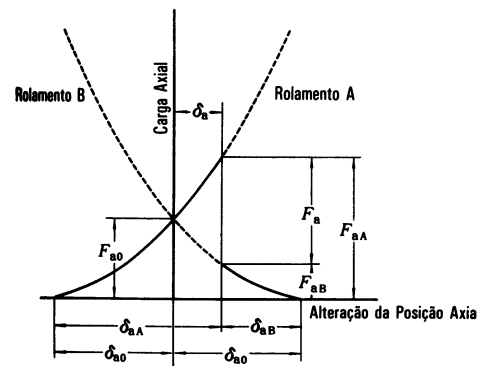
A rigidez da mola de pré-carga ao ser comparada à rigidez do rolamento, normalmente, por ser bastante pequena, faz com que a curva de deflexão da mola seja aproximadamente paralela ao eixo horizontal. Conseqüentemente, a rigidez da pré-carga de pressão constante é aproximadamente igual àquela de um rolamento simples sujeito previamente a um esforço axial de pré-carga F_{a0} . A figura 10.6, apresenta uma comparação da rigidez de um rolamento simples, rolamento com pré-carga de posição constante e rolamento com pré-carga de pressão constante.

10.4 Seleção do Método de Pré-carregamento e a Intensidade de Pré-carga

10.4.1 Comparação dos Métodos de Pré-carregamento

A comparação da rigidez conforme o método de pré-carregamento foi apresentada na figura 10.6; no entanto, a pré-carga de posição constante e a pré-carga de pressão constante podem ser comparadas conforme o abaixo:

- (1) No caso das pré-cargas iguais, o efeito para aumentar a rigidez no rolamento é maior no pré-carregamento de posição constante, ou seja, a alteração posicional relativa à carga no rolamento, é menor no pré-carregamento de posição constante.



- F_a : Carga axial externa
- F_{aA} : Carga axial imposta no rolamento A
- F_{aB} : Carga axial imposta no rolamento B
- δ_a : Magnitude da alteração posicional no rolamento combinado
- δ_{aA} : Magnitude da alteração posicional no rolamento A
- δ_{aB} : Magnitude da alteração posicional no rolamento B

Fig. 10.4 Diagrama de Pré-carga no Pré-carregamento de Posição Constante

- (2) No pré-carregamento de posição constante, a pré-carga altera-se em função de influências, como a diferença da dilatação na direção axial devido a diferença de temperatura entre o eixo e o alojamento no rolamento em operação, a diferença da expansão na direção radial pelo calor devido a diferença de temperatura entre o anel interno e o externo, a alteração posicional devido a carga, etc.

No caso do pré-carregamento de pressão constante, a alteração na pré-carga pode ser desprezada, uma vez que, as alterações da carga da mola em razão da dilatação ou da contração do eixo são extremamente reduzidas.

Destas comparações, conclui-se que o pré-carregamento de posição constante é o adequado para o objetivo genérico de aumentar a rigidez, e o pré-carregamento de pressão constante é o mais indicado em casos como: os de altas rotações, os que necessitam evitar a vibração na direção axial e os que usam os rolamentos axiais em eixos horizontais.

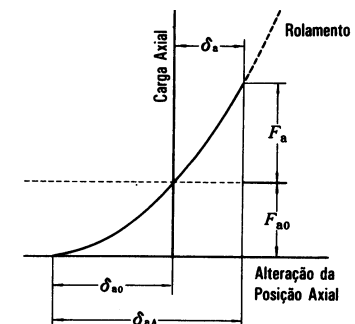


Fig. 10.5 Diagrama de Pré-carga no Pré-carregamento de Pressão Constante

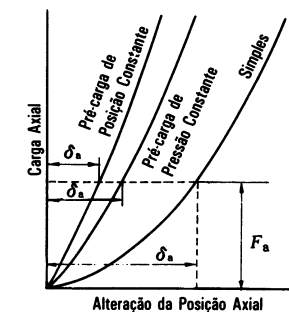


Fig. 10.6 Comparação da Rigidez conforme o Método de Pré-carregamento

11 PROJETO DE EIXO E ALOJAMENTO

11.1 Precisão e Rugosidade de Eixos e Alojamentos

O eixo ou o alojamento com precisão que não atenda o especificado, faz com que o rolamento sofra a influência desta, não permitindo obter a performance requerida. Por exemplo, caso haja deficiência na precisão do encosto das partes de assentamento, ocorre o desalinhamento entre os anéis interno e externo, acarretando além da carga normal, uma carga concentrada nas extremidades (carga de canto), diminuindo a vida de fadiga do rolamento. Além disto, há casos também de se tornar a razão de ocorrências como a avaria da gaiola e o superaquecimento.

Os alojamentos devem ser rígidos o suficiente para proporcionar firme suporte ao rolamento, com pouca deformação devido a cargas externas; quanto maior a rigidez, mais vantajosas são para os aspectos como a distribuição da carga e o ruído do rolamento.

O acabamento da superfície de ajuste para as condições normais de uso, pode ser de torneado ou ainda de mandrilado, mas em casos onde as condições de carga são excessivamente severas ou em aplicações de solicitação rigorosa quanto ao ruído e vibração, o acabamento de retífica torna-se necessário.

Nos casos em que dois ou mais rolamentos são alinhados em uma carcaça inteira, a superfície de ajuste da carcaça deve ser projetada de forma a permitir a usinagem passante dos assentos numa única operação; nas carcaças bipartidas, pela possibilidade de fazer deformar o anel externo, deve-se tomar cuidado quando da usinagem.

A precisão e a rugosidade dos eixos e alojamentos estão relacionadas na tabela 11.1, para as condições normais de utilização.

Tabela 11.1 Precisão e Rugosidade do Eixo e Alojamento

Item	Classe do Rolamento	Eixo	Furo do Alojamento
Tolerância da Circularidade	Classe N, Classe 6 Classe 5, Classe 4	IT3-IT4 IT2-IT3	IT4-IT5 IT2-IT3
Tolerância da Cilindricidade	Classe N, Classe 6 Classe 5, Classe 4	IT3-IT4 IT2-IT3	IT4-IT5 IT2-IT3
Tolerância do Desvio de Giro	Classe N, Classe 6 Classe 5, Classe 4	IT3 IT3	IT3-IT4 IT3
Rugosidade da Superfície de Ajuste R_{max}	Rolamentos Pequenos Rolamentos Grandes	3.2S 6.3S	6.3S 12.5S

Observação

Os indicados na tabela são para uso genérico, a classe de tolerância básica (IT) deve ser selecionada de acordo com a classe de precisão do rolamento.

11.2 Dimensões de encosto

O encosto do eixo ou o encosto do furo do alojamento que fica em contato com a face lateral do rolamento, em caso de definir a posição na direção axial, quando o rolamento for instalado no eixo ou no alojamento, deve ser perpendicularmente acabado em relação à linha de centro do eixo (Consulte a tabela 11.1)

Ainda, o arredondamento do canto do eixo e do alojamento, deve ser efetuado de maneira que não tenha contato com o chanfro do rolamento; conseqüentemente, o raio r_a de arredondamento do canto, deve ter valores que não ultrapassem o valor mínimo das dimensões do chanfro r ou r_1 do rolamento.

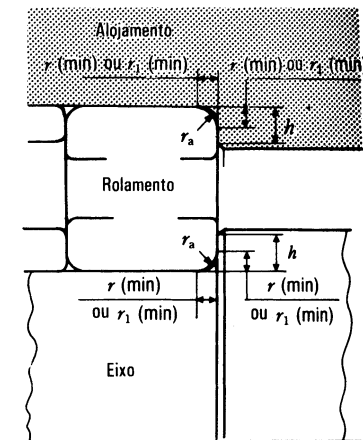


Fig. 11.1 Chanfro do Rolamento, Raio de Canto do Eixo e do Alojamento, e Altura do Encosto

As alturas do encosto no eixo e do encosto no alojamento para os rolamentos radiais devem ser suficientes, não somente para proporcionar adequado apoio à lateral dos anéis, mas ainda, para permitir o posicionamento dos dispositivos extratores. As alturas mínimas dos encostos estão relacionados na tabela 11.2.

As dimensões referentes ao encosto estão relacionadas nas tabelas de dimensões dos rolamentos, em diâmetros que tem considerado as alturas destes encostos.

Especialmente, nos rolamentos de rolos cônicos e nos de rolos cilíndricos em que haja solicitação de carga axial, há necessidade do encosto com dimensão e resistência suficientes para suportar o rebordo do rolamento.

Ainda, os valores de h e r_a são adotados para arredondamento de canto do eixo ou do alojamento, conforme o da figura 11.2 caso (a), enquanto para a dimensão de saída dos eixos retificados, conforme o da figura 11.2 caso (b), geralmente são usados os valores da tabela 11.3.

Tabela 11.2 Raios de Canto do Eixo e do Alojamento, e Altura do Encosto para Rolamentos Radiais da Série Métrica
unidade: mm

Dimensões Nominiais dos Chanfros	Eixo ou Alojamento		
	Raio de Canto	Altura do Encosto h (min)	
r (min) ou r_1 (min)	r_a (max)	Rolamento Fixo de Esferas (1), Rolamento Autocompensador de Esferas, Rolamento de Rolos Cilíndricos (1), Rolamento de Rolos Agulha	Rolamento de Contato Angular, Rolamento de Rolos Cônicos (2), Rolamento Autocompensador de Rolos
0.05	0.05	0.2	-
0.08	0.08	0.3	-
0.1	0.1	0.4	-
0.15	0.15	0.6	-
0.2	0.2	0.8	-
0.3	0.3	1	1.25
0.6	0.6	2	2.5
1	1	2.5	3
1.1	1	3.25	3.5
1.5	1.5*	4	4.5
2	2*	4.5	5
2.1	2	5.5	6
2.5	2	-	6
3	2.5*	6.5	7
4	3*	8	9
5	4*	10	11
6	5*	13	14
7.5	6	16	18
9.5	8	20	22
12	10	24	27
15	12	29	32
19	15	38	42

Notas

(1) Os rolamentos com solicitação de carga axial necessitam de altura do encosto maior.

(2) Os casos com carga axial pesada necessitam de altura do encosto maior.

* Excluem-se os rolamentos de rolos cônicos, os r_a (max) para estes rolamentos constam na tabela de dimensões dos rolamentos.

Observação

1. Para os rolamentos axiais são também usados os mesmos raios de canto.
2. Nas tabelas de dimensões dos rolamentos, como dimensões de encosto estão relacionados os diâmetros e não as alturas do encosto.

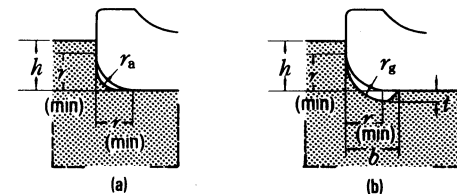


Fig. 11.2 Configuração e Dimensões do Chanfro do Rolamento e Raio de Canto do Eixo

Tabela 11.3 Dimensões de Saída para Eixos Retificados
unidade: mm

Dimensões Nominiais dos Chanfros r (min) ou r_1 (min)	Dimensões de Saída		
	t	r_g	b
1	0.2	1.3	2
1.1	0.3	1.5	2.4
1.5	0.4	2	3.2
2	0.5	2.5	4
2.1	0.5	2.5	4
2.5	0.5	2.5	4
3	0.5	3	4.7
4	0.5	4	5.9
5	0.6	5	7.4
6	0.6	6	8.6
7.5	0.6	7	10

Os rolamentos axiais têm necessidade de uma superfície de suporte dos anéis suficientemente largas e adequadamente perpendiculares.

O diâmetro d_a do encosto no alojamento deve ser menor que o diâmetro primitivo e o diâmetro d_e do encosto no eixo deve ser maior que o diâmetro primitivo (Figura 11.3).

Nos rolamentos axiais de rolos, é aconselhável se fazer em dimensões que suportem o comprimento total de contato dos rolos (Figura 11.4).

Os diâmetros do encosto d_a e D_a estão relacionados nas tabelas de dimensões dos rolamentos.

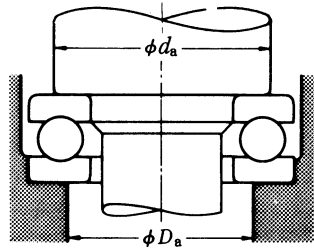


Fig. 11.3 Diâmetro da Superfície de Suporte do Rolamento Axial de Esferas

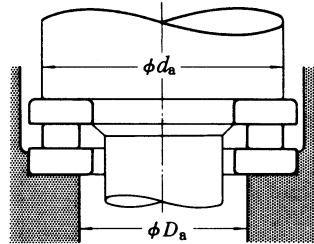


Fig. 11.4 Diâmetro da Superfície de Suporte do Rolamento Axial de Rolos

11.3 Sistemas de Vedações

Sistemas de vedações são mecanismos pelos quais se evitam a penetração de elementos nocivos aos rolamentos, como a sujeira, a umidade e partículas metálicas, e por outro lado impedem o vazamento do lubrificante.

Conseqüentemente, o sistema de vedação, deve nas variadas condições de utilização desempenhar continuamente o objetivo de proteger e vedar, não devendo ser a causa de atrito anormal ao superaquecimento; devem ao mesmo tempo apresentar facilidade na remoção, instalação e manutenção.

Analisando em conjunto com o método de lubrificação, deve ser determinado o sistema de vedação mais adequado para cada tipo de aplicação.

11.3.1 Vedações do Tipo sem Contato

Sistemas de vedações que não têm componentes em atrito, sem contato com o eixo, disponíveis em vários tipos, como as ranhuras de óleo, defletores, labirintos, etc.

A função vedante destes mecanismos é exercida pela força centrífuga e a folga bastante pequena.

(1) Ranhuras de Óleo

O sistema de vedação por ranhuras de óleo consiste em obter o efeito de vedação através de uma pequena folga entre o eixo e o furo da tampa ou do alojamento, associado a várias ranhuras no furo, no eixo ou em ambos, conforme figuras 11.5 (a) e (b).

A utilização combinada com o labirinto ou o defletor são freqüentes, figura 11.5 (c), pois somente com a ranhura de óleo a eficiência em evitar o vazamento do lubrificante é reduzida, exceto em baixas velocidades.

A aplicação nas ranhuras de óleo de uma graxa com consistência em torno de 200, apresenta relativa eficiência contra a entrada de sujeira.

Quanto menor a folga entre o eixo e o furo, maior será a eficiência em vedar, mas como não deve ocorrer o contato de ambos durante o trabalho, os valores da tabela 11.4 são os recomendados.

A largura das ranhuras em torno de 3 a 5 mm e a profundidade em torno de 4 a 5 mm são as apropriadas; caso a função de vedar seja exercida somente por estas, o número de ranhuras deve ser de três ou mais.

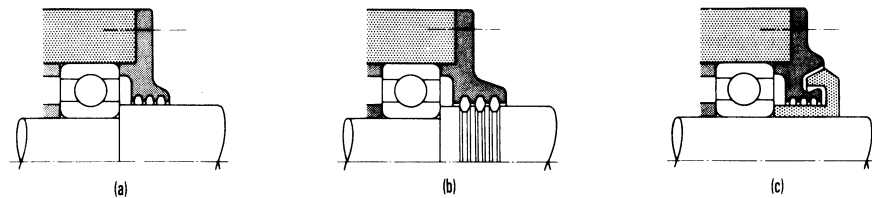


Fig. 11.5 Exemplos de Ranhuras de Óleo

(2) Defletores

Sistema de vedação baseada na força centrífuga de anéis girantes (defletores) fixados no eixo, para prevenir o vazamento de óleo e a entrada de sujeira.

As configurações ilustradas nas figuras 11.6 (a) e (b), são de defletores internos ao alojamento com função principal de evitar vazamentos de óleos e são usadas em ambientes de pouca sujeira; os ilustrados nas figuras 11.6 (c) e (d), são para evitar a entrada da sujeira e da umidade, através da força centrífuga dos defletores.

Tabela 11.4 Folga entre o Eixo e o Furo para o Vedador Tipo Ranhura de Óleo unidade: mm

Diâmetro Nominal do Eixo	Folga na Direção Radial
Abaixo de 50	0.25 ~ 0.4
50 - 200	0.5 ~ 1.5

(3) Labirintos

Vedadores tipo labirinto são formados por segmentos interespaçados, ligados ao eixo e ao alojamento separados por uma pequena folga, especialmente adequados para prevenir vazamentos de óleo em eixos de alta rotação.

O tipo ilustrado na figura 11.7 (a) tem o uso difundido por facilitar a montagem, entretanto, os das figuras 11.7 (b) e (c) possuem melhores características vedantes. Apesar disto, há nestes dois casos a necessidade do alojamento ou da tampa serem bipartidos ou que o labirinto seja formado pela combinação de várias peças.

As folgas nas direções radial e axial do labirinto, normalmente estão em torno do indicado na tabela 11.5.

Tabela 11.5 Folga no Vedador Tipo Labirinto unidade: mm

Diâmetro Nominal do Eixo	Folga do Labirinto	
	Direção Radial	Direção Axial
Abaixo de 50	0.25 ~ 0.4	1 ~ 2
50 - 200	0.5 ~ 1.5	2 ~ 5

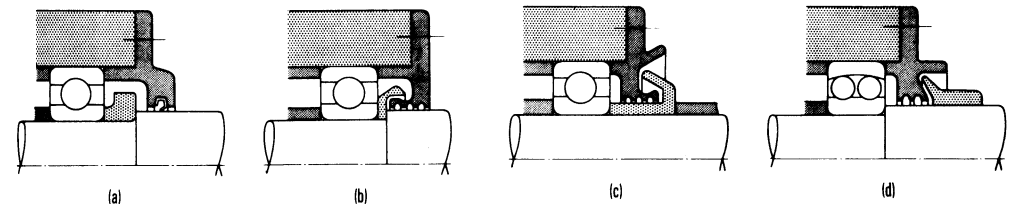


Fig. 11.6 Exemplos de Defletores

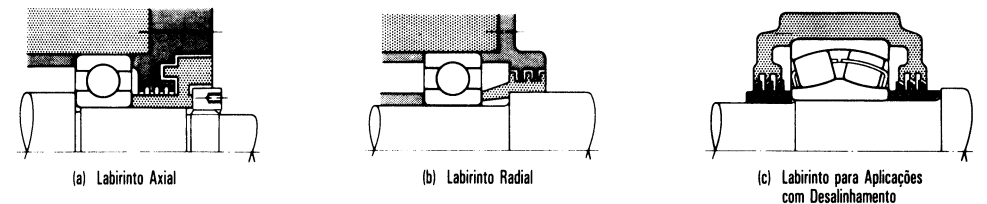


Fig. 11.7 Exemplos de Labirintos

11.3.2 Vedações do Tipo com Contato

Sistemas que efetuam a vedação através do atrito do eixo com as bordas de contato de vários materiais, como os de feltros, resinas sintéticas, dentre estes, os retentores com lábios de borracha sintética são os mais difundidos para as aplicações em geral.

(1) Retentores

O uso dos retentores são freqüentes em locais com facilidade para penetrarem partículas estranhas, umidade e sujeira externa ou em locais em que se deve evitar o vazamento do lubrificante do interior do alojamento, figuras 11.8 e 11.9.

Os diversos tipos e dimensões de retentores são normalizados (JIS B2402), dentre estes, têm destaque os que se apresentam com molas para manter adequada força de contato; conseqüentemente, excentricidades do eixo ou desalinhamentos angulares entre o eixo e o alojamento podem ser absorvidos e acompanhados até um certo grau.

Borrachas sintéticas como as nitrílicas, as acrílicas, as silicônicas e as fluoradas, e a resina politetrafluoretileno, são usadas normalmente como material do lábio dos retentores. O limite superior da temperatura admissível para os materiais acima aumenta na mesma ordem.

Pela facilidade de os retentores apresentarem aquecimento e desgaste, caso não haja uma película de óleo entre o lábio e o eixo, quando da instalação deve ser lembrada a necessidade de se aplicar óleo nesta região. Ainda, durante o trabalho, é desejável que o lubrificante do interior do alojamento se apresente na condição de um leve vazamento, espalhando-se na superfície de deslizamento.

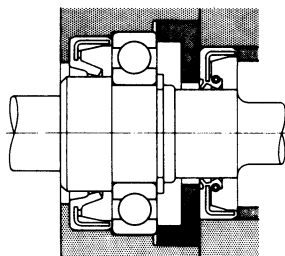


Fig. 11.8 Exemplo de Retentores (1)

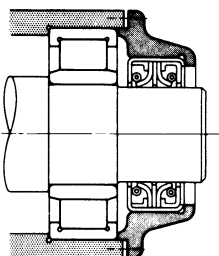


Fig. 11.9 Exemplo de Retentores (2)

A velocidade periférica permissível dos retentores difere conforme o tipo, o grau de acabamento da superfície de deslizamento, o fluido a ser vedado, a condição de temperatura, o grau de excentricidade do eixo, etc. A faixa da temperatura de utilização é limitada pelo material do lábio. A velocidade periférica permissível e a faixa de temperatura de utilização para os casos favoráveis de uso, estão relacionadas na tabela 11.6.

A superfície de deslizamento no eixo deve ter o acabamento melhorado quando a velocidade periférica for alta ou a pressão interna for elevada, é conveniente também que a excentricidade do eixo esteja em níveis de 0,02 a 0,05 mm.

A dureza da superfície de deslizamento no eixo tem necessidade de se fazer acima de 40 R_c, através de tratamento térmico ou pela cromagem dura para aumentar a resistência ao desgaste, e caso seja possível uma dureza superior a 55 R_c e desejável.

(2) Feltros

Os vedadores de feltro eram utilizados há tempos em eixos acionadores, mas pelo certo grau de dificuldade em evitar o vazamento do óleo e a absorção, são usados basicamente com o objetivo de evitar a entrada de sujeira nos casos de lubrificação a graxa.

Os vedadores de feltro não são adequados para velocidades periféricas superiores a 4 m/s, por esta razão, é desejável se fazerem alterações para o uso de borrachas sintéticas que correspondam às solicitações.

Tabela 11.6 Velocidade Periférica Permissível e Temperatura de Utilização dos Retentores

Material do Retentor	Velocidade Periférica Permissível (m/s)	Temperatura de Utilização (°C) (1)
Borracha Sintética	Nitrílica	Abaixo de 16
	Acrílica	Abaixo de 25
	Silicônica	Abaixo de 32
	Fluorada	Abaixo de 32
PTFE	Abaixo de 15	-50 a + 220

Nota

(1) O limite superior da faixa de temperatura pode ser aumentada em cerca de 20°C quando o período de trabalho for de curta duração.

Tabela 11.7 Velocidade Periférica do Eixo e Rugosidade da Superfície de Deslizamento

Velocidade Periférica (m/s)	Rugosidade R _{max}
Abaixo de 5	3.2S
5 a 10	1.6S
Acima de 10	0.8S

12 LUBRIFICAÇÃO

12.1 Objetivos da Lubrificação

Os objetivos da lubrificação dos rolamentos são a redução do atrito e do desgaste interno para evitar o superaquecimento.

Os efeitos da lubrificação são os seguintes:

(1) Redução do Atrito e Desgaste

O contato metálico entre os anéis, corpos rolantes e a gaiola, que são os componentes básicos, é evitado por uma película de óleo que reduz o atrito e o desgaste.

(2) Prolongamento da Vida de Fadiga

A vida de fadiga dos rolamentos é prolongada, quando estiverem lubrificados suficientemente nas superfícies de contato rotativo durante o giro. Inversamente, a baixa viscosidade do óleo implicará na insuficiência da película lubrificante diminuindo a vida.

(3) Dissipação do Calor de Atrito, Resfriamento

O método de lubrificação como o de circulação de óleo evita a deterioração do óleo lubrificante e previne o aquecimento do rolamento, resfriando e dissipando através do óleo, o calor originado no atrito ou o calor de origem externa.

(4) Outros

A lubrificação adequada apresenta também, resultados em evitar que partículas estranhas penetrem no interior do rolamento, além de prevenir a oxidação e a corrosão.

12.2 Métodos de Lubrificação

Os métodos de lubrificação dos rolamentos são primeiramente divididos em lubrificação a graxa ou a óleo. O primeiro passo para obter o suficiente desempenho da capacidade do rolamento, é a adoção de um método de lubrificação que seja o mais adequado para a aplicação proposta e as condições de operação.

Ao considerarmos somente a lubrificação, é superior a lubrificação com o óleo, no entanto, a lubrificação a graxa tem a particularidade de permitir a simplificação da configuração dos conjugados ao rolamento. A comparação entre lubrificação a graxa e a óleo é apresentada na tabela 12.1.

Tabela 12.1 Comparação de Lubrificação a Graxa e a Óleo

Item	Lubrificação a Graxa	Lubrificação a Óleo
Configuração do alojamento e sistema de vedação	Simplificada	Torna-se um pouco complexa e necessita de cuidados na manutenção
Velocidade de rotação	O limite permissível é de 65 ~ 80% da lubrif. a óleo	Aplicável também em altas rotações
Trabalho de resfriamento Efeito de resfriamento	Não tem	Permite retirar o calor com eficiência (como no caso do método de circulação do óleo)
Fluidez	Inferior	Muito bom
Substituição do Lubrificante	Um pouco complexa	Relativamente fácil
Filtragem de impurezas	Difícil	Fácil
Sujeira por vazamento	Reduzido	Inadequada para locais em que a sujeira é desagradável

12.2.1 Lubrificação a Graxa

(1) Quantidade de Graxa Inserida no Alojamento

A quantidade de graxa a ser inserida no alojamento difere de acordo com as condições como: a rotação do rolamento, a configuração do alojamento, o espaço vazio, tipo de graxa e o ambiente. Nas aplicações de rolamentos como nos fusos de máquinas-ferramentas, onde o aumento de temperatura desagrada ao extremo, a graxa é inserida em quantidade menor. A quantidade referencial para os casos normais será conforme o abaixo.

Inicialmente, o rolamento deverá ser preenchido suficientemente com a graxa, oportunidade em que deve ser forçada a entrada da graxa em pontos como a superfície de guia da gaiola; posteriormente, em relação ao espaço vazio que fica no interior do alojamento, já com o rolamento e o eixo posicionados, deve ser preenchido aproximadamente, de 1/2 ~ 2/3 do espaço, para rotações abaixo de 50% do limite, e de 1/3 ~ 1/2 do espaço, para rotações acima de 50% do limite de rotação das tabelas dimensionais.

(2) Relubrificação

A graxa, uma vez aplicada, geralmente não requer relubrificação por um longo período de tempo, mas dependendo das condições de operação, há casos em que se faz necessário relubrificar freqüentemente ou substituir a graxa.

Conseqüentemente, em tais casos, o alojamento deve ser projetado de forma a facilitar a complementação ou a troca da graxa.

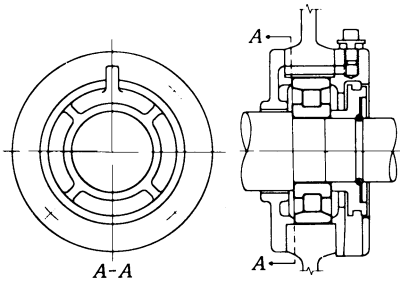


Fig. 12.1 Exemplo de Utilização Combinada dos Divisores de Graxa com Válvula de Graxa

Quando os intervalos de relubrificação forem breves, providenciar furos de relubrificação e drenagem em posições adequadas no alojamento, para possibilitar que a graxa deteriorada possa ser substituída por graxa nova. Por exemplo, o espaço vazio do alojamento no lado da relubrificação do rolamento, pode ser separado em vários setores através dos divisores de graxa, fazendo com que a graxa preenchida somente em um dos setores, escorra para o interior do rolamento. A graxa forçada para fora do rolamento, por sua vez é eliminada do alojamento pela válvula de graxa e o dreno (Figura 12.1). Se não houver uma válvula de graxa, o espaço do lado da descarga deve ser ampliado, para reter neste, a graxa velha que será retirada periodicamente removendo-se a tampa.

(3) Intervalo de Relubrificação com a Graxa

A graxa por melhor que seja, junto com o passar do tempo terá as condições naturais deterioradas, diminuindo as propriedades lubrificantes, conseqüentemente torna-se necessário efetuar a relubrificação. Os intervalos de relubrificação com a graxa em termos de tempo de trabalho são indicados nas figuras 12.2 (1) e (2), que são valores referenciais aproximados. Os valores são válidos para temperatura do rolamento inferior a 70°C, acima desta temperatura, a cada aumento de 15°C é necessário que o intervalo de relubrificação seja reduzido pela metade.

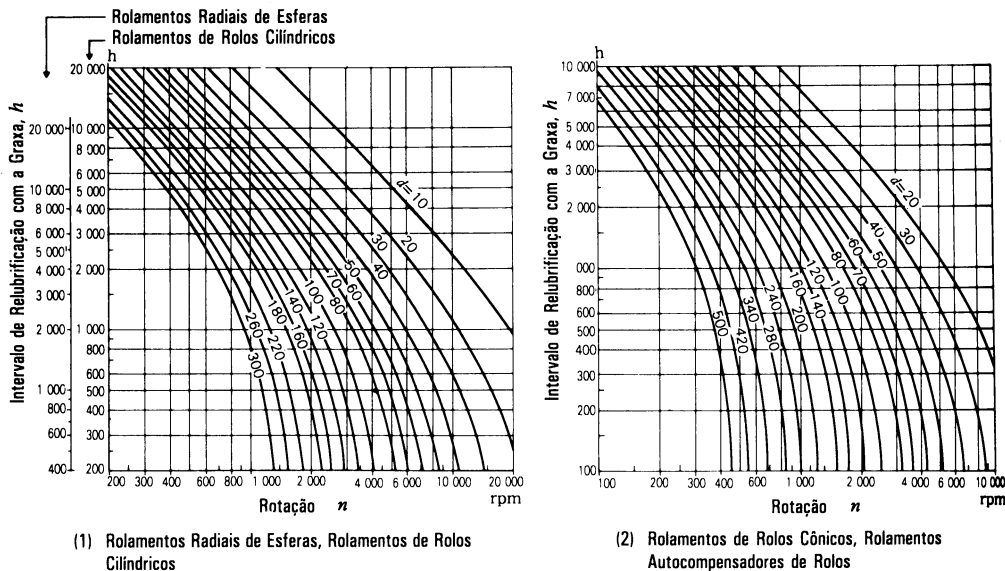


Fig. 12.2 Intervalo de Relubrificação com a Graxa

(4) Vida da Graxa dos Rolamentos de Esferas com Placas de Proteção

A vida da graxa dos rolamentos fixos de uma carreira de esferas, com placas de blindagem ou vedação, pode ser estimada por meio da equação 12.1, 12.2 ou pela figura 12.3.

Graxa para uso genérico (1)

$$\log t = 6.54 - 2.6 \frac{n}{N_{max}} - \left(0.025 - 0.012 \frac{n}{N_{max}} \right) T \dots \dots \dots (12.1)$$

Graxa de faixa ampla (2)

$$\log t = 6.12 - 1.4 \frac{n}{N_{max}} - \left(0.018 - 0.006 \frac{n}{N_{max}} \right) T \dots \dots \dots (12.2)$$

Onde

- t: Vida média da graxa (h)
- n: Velocidade de rotação (rpm)
- N_{max}: Limite de rotação com lubrificação a graxa (rpm) (valores para os tipo ZZ e VV das tabelas dimensionais dos rolamentos)
- T: Temperatura de trabalho do rolamento (°C)

As equações 12.1 e 12.2 ou a figura 12.3 se aplicam nas seguintes condições:

(a) Velocidade de rotação, n

$$0.25 \leq \frac{n}{N_{max}} \leq 1$$

Quando $\frac{n}{N_{max}} < 0.25$, considerar $\frac{n}{N_{max}} = 0.25$

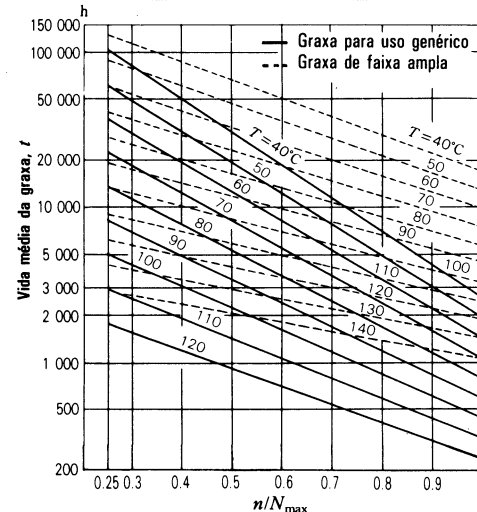


Fig. 12.3 Vida da Graxa dos Rolamentos de Esferas com Placas de Proteção

(b) Temperatura de trabalho T

No caso da graxa de uso genérico (1)
 $40^\circ\text{C} \leq T \leq 120^\circ\text{C}$
 No caso da graxa de faixa ampla (2)
 $40^\circ\text{C} \leq T \leq 140^\circ\text{C}$

Quando T < 40°C, considerar T = 40°C

(c) Carga no rolamento

A carga no rolamento deve ser em níveis de 1/10 ou menos da capacidade de carga básica dinâmica C_r.

Notas

- (1) Graxas a base de óleo mineral que são usadas com freqüência em níveis de -10 ~ 110°C (por exemplo as graxas de lítio).
- (2) Graxas a base de óleo sintético que podem ser usadas numa ampla faixa de temperatura, níveis de -40 ~ 130°C.

12.2.2 Lubrificação a Óleo

(1) Lubrificação por Banho de Óleo

A lubrificação por banho de óleo é o método mais comum de lubrificação, sendo amplamente utilizada em rotações baixas ou médias. O nível de óleo, por norma, deve ficar no centro do corpo rolante na posição mais baixa; desejável dispor de um visor para poder confirmar com facilidade o nível de óleo (Figura 12.4).

(2) Lubrificação por Gotejamento

A lubrificação por gotejamento é um método amplamente utilizado em pequenos rolamentos de esferas que operem em rotações relativamente altas; conforme a figura 12.5, o óleo fica no copo conta-gotas, o gotejamento do óleo é ajustado por um parafuso no topo do lubrificador.

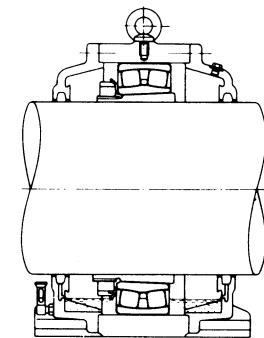


Fig. 12.4 Lubrificação por Banho de Óleo

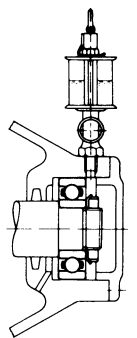


Fig. 12.5 Lubrificação por Gotejamento

(3) Lubrificação por Salpico

A lubrificação por salpico é um método de lubrificação do rolamento com os respingos arremessados por engrenagens ou por anéis giratórios, próximos do rolamento, sem que este mergulhe diretamente no óleo; amplamente utilizado em transmissões e diferenciais de veículos automotivos. Na figura 12.6, um exemplo de lubrificação por salpico pela engrenagem.

(4) Lubrificação por Circulação

A lubrificação por circulação de óleo é largamente adotada em solicitações onde há necessidade de efetuar o resfriamento das partes do rolamento, como em aplicações de alta rotação que geram o aumento de temperatura pelo atrito, ou também em casos do calor de origem externa.

Conforme a figura 12.7 (a), o óleo que entra pela tubulação do lado direito, ao atingir certo nível irá fluir para o lado da tubulação à esquerda, retornando para o tanque; o óleo resfriado volta ao circuito passando pelo filtro e a bomba. O tubo de dreno deve ser suficientemente maior que o tubo de alimentação, de forma que um volume excessivo de óleo não se acumule no alojamento.

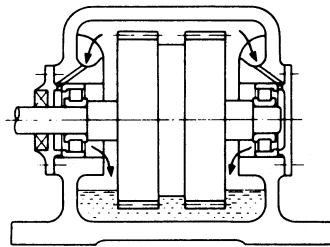


Fig. 12.6 Lubrificação por Salpico

(5) Lubrificação por Jato

A lubrificação por jato de óleo é freqüentemente utilizada em rolamentos para altas rotações, por exemplo os motores a jato, onde o valor do $d_m n$ (diâmetro médio - mm x rotação - rpm) ultrapassa 1.000.000.

O sistema consiste em injetar o óleo lubrificante sob determinada pressão, através de um ou mais bicos injetores, fazendo o óleo passar pelo interior do rolamento. A figura 12.8, é um exemplo comum de lubrificação por jato, onde o óleo é injetado em direção à superfície de guia, entre o anel interno e a gaiola. No caso de altas rotações, o ar nas proximidades do rolamento gira junto com este, criando uma barreira de ar, em razão disto, a velocidade de saída do óleo lubrificante do bico injetor deve ser 20% acima da velocidade periférica da superfície externa do anel interno (que é também a superfície de guia da gaiola). O número maior de bicos injetores em relação ao mesmo volume de óleo, reduz a desigualdade no resfriamento com grande influência. Na lubrificação por jato, devido ao volume maior de óleo é desejável tomar medidas como, efetuar a retirada forçada do óleo ou aumentar a boca de saída do óleo, para diminuir a resistência da agitação do óleo e para que o calor seja dissipado eficientemente.

(6) Lubrificação por Névoa de Óleo

A lubrificação por névoa de óleo é um método que consiste em transportar o óleo lubrificante com o ar, em forma de névoa para borrifar o rolamento. As principais vantagens do método de lubrificação por névoa de óleo são:

- (a) Devido a pequena quantidade de óleo, a resistência de agitação é reduzida, sendo adequada para altas rotações.
- (b) Devido ao reduzido vazamento de óleo, a contaminação das instalações e do produto são menores.
- (c) Devido a contínua lubrificação com um óleo novo, a vida do rolamento pode ser prolongada.

O método de lubrificação por névoa de óleo, conseqüentemente, é usado para lubrificar fusos de alta rotação das máquinas-ferramentas, bombas de alta rotação, rolamentos para cilindros de laminação, entre outros. (Figura 12.9)

(7) Lubrificação Óleo-Ar

O sistema de lubrificação óleo-ar consiste num pistão dosador que lança intermitentemente uma pequena quantidade de óleo lubrificante, que através de uma válvula misturadora é paulatinamente arrastado pelo ar comprimido, alimentando o rolamento em forma de um fluxo contínuo de gotículas (ilustração na página C4). As principais vantagens do método de lubrificação óleo-ar são:

- (a) Devido a possibilidade de regular em quantidades muito pequenas, o volume ideal para a lubrificação pode ser controlado, e pelo reduzido aquecimento é adequado para altas rotações.
- (b) Devido ao fornecimento contínuo de óleo em pequena quantidade, a temperatura do rolamento se estabiliza. Ainda, devido ao óleo fluir pelas paredes internas do tubo de alimentação, a contaminação do ambiente é muito pequena.
- (c) Devido ao contínuo envio de óleo novo ao rolamento, não há necessidade de se preocupar com a deterioração do óleo.
- (d) Devido ao ar comprimido entrar continuamente a pressão interna é maior, conseqüentemente é mais difícil a penetração da sujeira e do fluido de corte da parte externa.

Por estas razões, este método é amplamente usado para lubrificar fusos de máquinas-ferramentas e outras solicitações de alta rotação. (Figura 12.10)

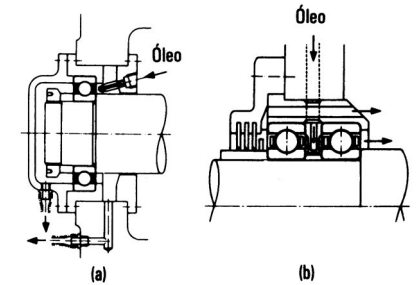


Fig. 12.8 Lubrificação a Jato

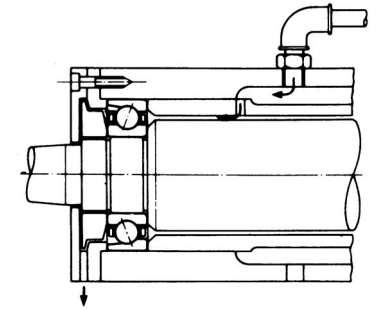


Fig. 12.9 Lubrificação por Névoa de Óleo

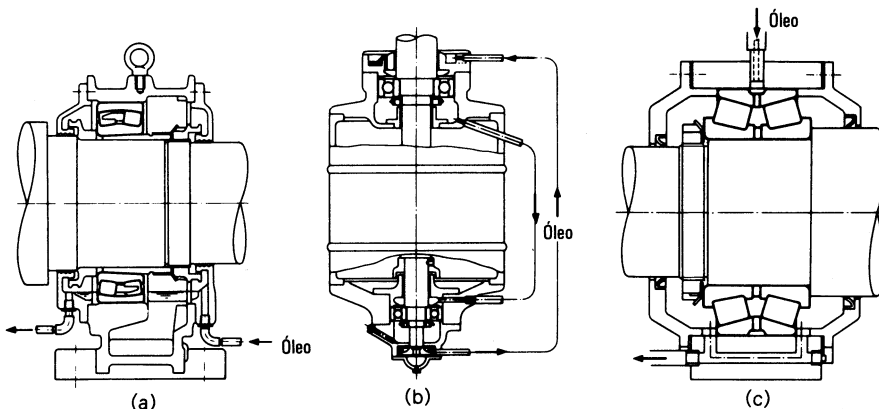


Fig. 12.7 Lubrificação por Circulação

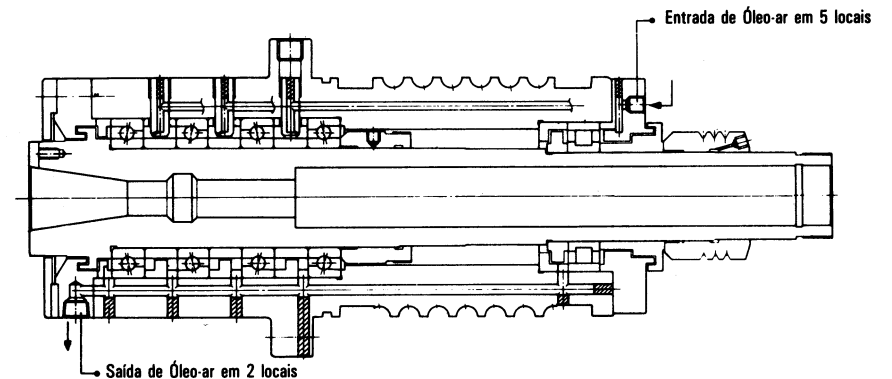


Fig. 12.10 Lubrificação Óleo-ar

12.3 Lubrificantes

12.3.1 Graxas Lubrificantes

As graxas são lubrificantes em estado semi-sólido, compostas por um espessante, óleo básico e outros agentes que podem ser incluídos com o propósito de conferir certas características e propriedades especiais. Os tipos de graxa e as características normais são apresentados na tabela 12.2.

Ao selecionar a graxa deve ser lembrado que diferentes marcas do mesmo tipo de graxa, apresentam grandes diferenças de propriedades.

(1) Óleo Base

Óleos minerais ou óleos sintéticos, tais como os silicões ou diésteres são usados como óleo base das graxas.

As propriedades lubrificantes da graxa são definidas principalmente pelas propriedades lubrificantes do óleo base, portanto, deve ser dado à viscosidade, o mesmo grau de importância ao caso da seleção do óleo lubrificante.

Normalmente, para baixas temperaturas e nas altas rotações, as graxas com óleo base de baixa viscosidade são as mais adequadas, e para altas temperaturas e nas cargas pesadas, as graxas com óleo base de alta viscosidade são mais adequadas.

Entretanto, na graxa, o espessante também influencia nas propriedades lubrificantes, por isto, não pode ser tratado em igualdade ao caso do óleo lubrificante.

(2) Espessante

Como espessantes de graxas lubrificantes são usados além dos vários tipos de sabões metálicos, espessantes inorgânicos como o gel de sílica e a bentonita, e espessantes orgânicos resistentes ao calor como a poliuréia e os compostos fluorados.

O tipo de espessante está relacionado diretamente ao ponto de gota (°) da graxa; normalmente, na graxa com alto ponto de gota o limite superior da faixa de temperatura de operação é mais elevado. Entretanto, graxas com alto ponto de gota, caso tiverem óleo base de baixa resistência ao calor, o limite superior da faixa de temperatura de operação tende a diminuir.

A resistência da graxa à água depende da resistência à água do espessante. A graxa com sabão de sódio ou a graxa de base mista que inclui o sabão de sódio, por emulsificarem não são adequadas em aplicações onde há incidência de água ou muita umidade.

(3) Aditivo

Conforme a necessidade, vários aditivos como os inibidores de oxidação, inibidores de corrosão e agentes de extrema pressão são adicionados na graxa. Nas aplicações com carga pesada ou carga de impacto, as graxas com o agente

Nota

(°) Ponto de Gota: Temperatura na qual a graxa torna-se suficientemente fluida para gotejar de um dispositivo de ensaio

Tabela 12.2 Propriedades dos Vários Tipos de Graxa

Denominação (Popular)	Graxa de Lítio			Graxa de Sódio (Graxa de Fibra)	Graxa de Cálcio (Graxa de Copo)	Graxa de Base Mista	Graxa de Base Complexa (Graxa Complexa)	Graxa de Base Não-Sabão (Graxa Não-Sabão)	
Espessante	Sabão de Lítio			Sabão de Sódio	Sabão de Cálcio	Sabão de Na + Ca, Sabão de Li + Ca, etc.	Sabão de Complexo de Ca, Sabão de Complexo de Al, Sabão de Complexo de Li, etc.	Uréia, Bentonita, Carbon Black, Compostos Fluorados, Compostos Orgânicos Resistentes ao Calor, etc.	
Óleo Base	Óleo Mineral	Óleo Diéster, Óleo Éster Polivalente	Óleo de Silicône	Óleo Mineral	Óleo Mineral	Óleo Mineral	Óleo Mineral	Óleo Mineral	Óleos Sintéticos (Éster, Ésteres Polivalentes, Hidrocarbonetos Sintéticos, Silicões, Fluorados)
Propriedades									
Ponto de Gota, °C	170 ~ 195	170 ~ 195	200 ~ 210	170 ~ 210	70 ~ 90	160 ~ 190	180 ~ 300	230 ~	230 ~
Temperatura de Operação, °C	-20 ~ +110	-50 ~ +130	-50 ~ +160	-20 ~ +130	-20 ~ +160	-20 ~ +80	-20 ~ +130	-10 ~ +130	~ +220
Rotação, %(!)	70	100	60	70	40	70	70	70	40 ~ 100
Estabilidade Mecânica	Bom	Bom	Bom	Bom	Fraco	Bom	Bom	Bom	Bom
Resistência à Pressão	Médio	Médio	Fraco	Médio	Fraco	Médio ~ Bom	Médio ~ Bom	Médio	Médio
Resistência à Água	Bom	Bom	Bom	Fraco	Bom	Fraco para Sabão de Na	Bom	Bom	Bom
Resistência à Corrosão	Bom	Bom	Fraco	Fraco ~ Bom	Bom	Médio ~ Bom	Médio ~ Bom	Fraco ~ Bom	Fraco ~ Bom
Observações	Múltiplas aplicações para os vários tipos de rolamentos.	Características destacadas de baixa temperatura e atrito. Adequadas para rolamentos de pequenos motores elétricos e pequenos rolamentos para instrumentos de medição.	Usadas principalmente para altas temperaturas. Inadequadas para altas rotações, cargas pesadas e rolamentos que tenham muitas partes em deslizamento (como o rolamento de rolos).	Existem os tipos de fibra longa e fibra curta. As graxas de fibras longas são inadequadas para altas rotações. Necessitam de cuidados em relação à água e muita umidade.	Graxas de alta resistência à pressão, quando aditivadas com agentes de extrema pressão como o sabão de chumbo, em óleo mineral de alta viscosidade.	Utilizadas em rolamentos de esferas de grande porte e em rolamentos de rolos.	Alta resistência à pressão e estabilidade mecânica	As graxas com óleo mineral como base são para uso genérico; as graxas com óleo sintético como base, podem ser usadas para solicitações especiais como, calor, ácidos, álcalis, radioatividade e queima, além do uso genérico.	

Nota

(!) Aplicabilidade em percentagem do limite de rotação das tabelas de dimensões dos rolamentos.

Observação

A variação das propriedades das graxas entre as diferentes marcas é grande.

de extrema pressão são as indicadas, e em casos onde as graxas ficam um período prolongado sem relubrificação, deve ser escolhida uma graxa que contenha inibidores de oxidação.

(4) Consistência

A consistência é um valor que indica a "maciez" da graxa, servindo como parâmetro da fluidez durante a operação.

A tabela 12.3 apresenta a relação normal do grau de consistência, a consistência e as condições de trabalho da graxa.

(5) Mistura de Diferentes Tipos de Graxa

Graxas de diferentes marcas, por princípio, não devem ser misturadas. Ao misturar graxas de diferentes tipos de espessantes, há casos em que ocorre a quebra da estrutura da graxa; mesmo que os espessantes sejam do mesmo tipo, possíveis diferenças nos aditivos podem causar efeitos prejudiciais.

Tabela 12.3 Consistência e Condições de Trabalho

Grau de Consistência	0	1	2	3	4
Consistência (°) 1/10 mm	385 ~ 355	340 ~ 310	295 ~ 265	250 ~ 220	205 ~ 175
Condição de Trabalho (Aplicação)	* Para lubrificação centralizada * Para aplicações com facilidade de ocorrerem arranhaduras	* Para lubrificação centralizada * Para aplicações com facilidade de ocorrerem arranhaduras * Para baixa temperatura	* Uso genérico * Para rolamentos blindados ou vedados	* Uso genérico * Para rolamentos blindados ou vedados * Para alta temperatura	* Para alta temperatura * Para vedação com graxa

Nota

(°) Consistência: indica a profundidade de penetração na graxa, unidade em décimos de milímetros, de um cone com dimensões e peso padronizados, quanto maior o valor obtido, mais mole é a graxa.

12.3.2 Óleos Lubrificantes

Os óleos usados para a lubrificação dos rolamentos são, normalmente, óleos minerais altamente refinados ou óleos sintéticos, que possuem boa estabilidade à oxidação com elevada resistência à carga e com propriedade inibidora de corrosão. Ao selecionar um óleo lubrificante, de princípio, o mais importante é a escolha de um óleo que tenha a viscosidade adequada na temperatura de trabalho. Se a viscosidade for baixa demais, a formação da película de óleo será insuficiente, tornando-se a causa de desgaste anormal e superaquecimento. Inversamente, se a viscosidade for alta demais, a resistência ao cisalhamento do óleo pode causar o aquecimento ou aumentar a perda de potência. A rotação e a carga no rolamento influenciam também na formação da película de óleo. Em geral, óleos de baixa viscosidade são usados quanto maior for a velocidade de rotação, e quanto maior a carga e o rolamento, devem ser usados os óleos de alta viscosidade.

A tabela 12.4 indica as viscosidades recomendadas para a temperatura do óleo adjacentes ao rolamento em trabalho, nas condições normais de uso.

A figura 12.11 indica a relação entre a temperatura e a viscosidade de óleos lubrificantes, como referência para a seleção; na tabela 12.5 são apresentados, exemplos de seleção de óleos lubrificantes quanto às condições de uso dos rolamentos

Tabela 12.4 Viscosidade Necessária conforme os Tipos de Rolamentos

Tipo de Rolamento	Viscosidade na Temperatura de Trabalho
Rolamentos de Esferas e de Rolos Cilíndricos	Acima de 13 mm ² /s
Rolamentos de Rolos Cônicos e Autocompensadores de Rolos	Acima de 20 mm ² /s
Rolamentos Axiais Autocompensadores de Rolos	Acima de 32 mm ² /s

Observação
1 mm²/s = 1cSt (centistoke)

Intervalo para a Troca de Óleo

O intervalo para a troca de óleo difere de acordo com o volume de óleo e as condições de utilização. Normalmente, nos casos em que a temperatura de trabalho seja inferior a 50°C com boas condições ambientais e pouca sujeira, trocas anuais são suficientes.

Entretanto, nos casos em que a temperatura do óleo atinge níveis de 100°C, deve ser trocado a cada três meses ou menos.

Ainda, em casos que haja penetração de umidade ou em lubrificação por banho de óleo onde tenha penetração de partículas estranhas, o intervalo para a troca deve ser reduzido mais ainda.

A mistura de óleos lubrificantes de diferentes marcas igualmente ao caso das graxas, deve ser evitada.

Tabela 12.5 Exemplos de Seleção de Óleos Lubrificantes

Temperatura de Trabalho	Rotação	Carga Normal ou Leve	Carga de Impacto ou Pesada
-30 ~ 0°C	Abaixo do limite de rotação	ISO VG 15, 22, 32 (óleo para máquinas de refrigeração)	-
	Acima do limite de rotação	-	-
0 ~ 50°C	Abaixo de 50% do limite de rotação	ISO VG 32, 46, 68 (óleo para rolamento, óleo para turbina)	ISO VG 46, 68, 100 (óleo para rolamento, óleo para turbina)
	Entre 50 ~ 100% do limite de rotação	ISO VG 15, 22, 32 (óleo para rolamento, óleo para turbina)	ISO VG 22, 32, 46 (óleo para rolamento, óleo para turbina)
	Acima do limite de rotação	ISO VG 10, 15, 22 (óleo para rolamento)	-
50 ~ 80°C	Abaixo de 50% do limite de rotação	ISO VG 100, 150, 220 (óleo para rolamento)	ISO VG 150, 220, 320 (óleo para rolamento)
	Entre 50 ~ 100% do limite de rotação	ISO VG 46, 68, 100 (óleo para rolamento, óleo para turbina)	ISO VG 68, 100, 150 (óleo para rolamento, óleo para turbina)
	Acima do limite de rotação	ISO VG 32, 46, 68 (óleo para rolamento, óleo para turbina)	-
80 ~ 110°C	Abaixo de 50% do limite de rotação	ISO VG 320, 460 (óleo para rolamento)	ISO VG 460, 680 (óleo para rolamento, óleo para engrenagem)
	Entre 50 ~ 100% do limite de rotação	ISO VG 150, 220 (óleo para rolamento)	ISO VG 220, 320 (óleo para rolamento)
	Acima do limite de rotação	ISO VG 68, 100 (óleo para rolamento, óleo para turbina)	-

Observação

1. Considerar como limite de rotação, os valores das tabelas dimensionais dos rolamentos, referentes à lubrificação com óleo.
2. Referência do óleo para máquina de refrigeração JIS K 2211; do óleo para rolamento: JIS K 2239; do óleo para turbina: JIS K 2213 e do óleo para engrenagem: JIS K 2219.
3. Quando a temperatura de trabalho estiver no lado maior da faixa de temperatura indicada na coluna à esquerda desta tabela, usar o óleo de viscosidade maior.
4. Quando a temperatura de trabalho for abaixo de -30°C ou acima de 110°C, consulte a NSK.

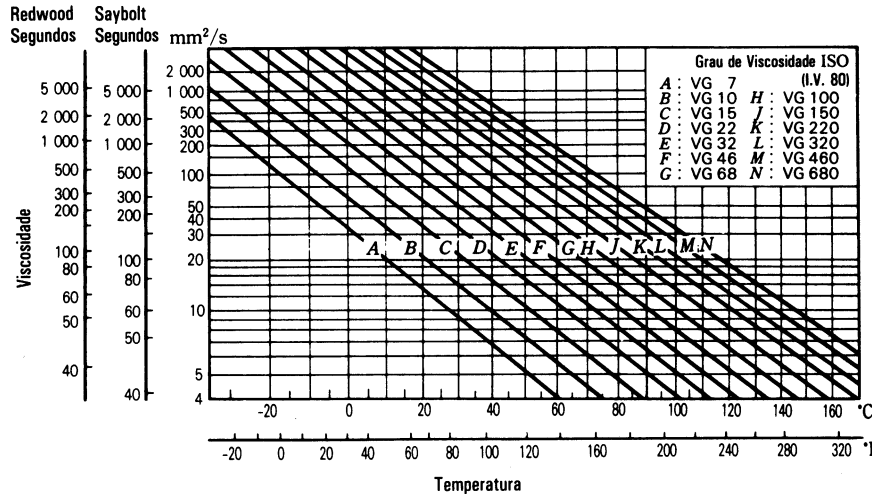
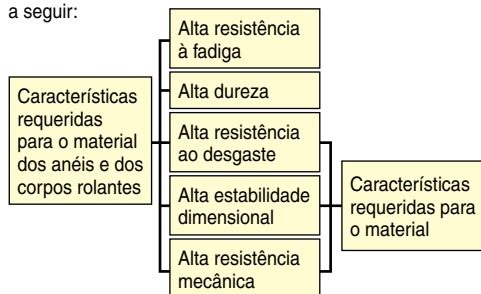


Fig. 12.11 Relação entre a Temperatura e a Viscosidade

13 MATERIAL DE ROLAMENTO

Os contatos entre os anéis e os corpos rolantes dos rolamentos são rotativos acompanhados de deslizamento, sob solicitação repetitiva de alta pressão de contato.

As gaiolas estão sujeitas a tensão e compressão em contato deslizante com o anel ou com os corpos rolantes, ou ainda, o anel e os corpos rolantes. Conseqüentemente, para o material dos anéis, corpos rolantes e gaiola dos rolamentos são requeridas principalmente, as características indicadas a seguir:



Além destas, a boa usinabilidade também é necessária, e dependendo da aplicação, resistência ao impacto, ao calor e à corrosão é também requerida.

13.1 Materiais dos Anéis e dos Corpos Rolantes

Normalmente, nos anéis e nos corpos rolantes é utilizado o aço de alto carbono ao cromo (Tabela 13.1). Dentre os tipos de aço da JIS indicados na tabela 13.1, para a maior parte dos rolamentos é usado o SUJ2, enquanto que os maiores são geralmente de SUJ3.

A composição química do SUJ2 é equivalente aos aços normalizados em vários países como material de rolamento, tais como: AISI 52100 nos E.U.A.; DIN 100 Cr6 na Alemanha Ocidental; e BS 535A99 na Inglaterra.

Nos casos em que há necessidade destacada de resistência ao impacto, podem ser usados como material de rolamento, o aço cromo, o aço cromo molibidênio e o aço níquel cromo molibidênio, endurecidos da superfície a uma profundidade conveniente, através da cementação e têmpera. Os rolamentos cementados que possuem uma profundidade de endurecimento apropriada, uma estrutura fina e uma adequada dureza na superfície e no núcleo, são mais resistentes ao impacto que os rolamentos com o material normal. A composição química dos aços normais para rolamentos cementados está relacionada na tabela 13.2.

Tabela 13.1 Composição Química do Aço Alto Carbono ao Cromo para Rolamentos (Principais Elementos)

Norma	Código	Composição Química (%)						
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
JIS G 4805	SUJ 2	0.95 ~ 1.10	0.15 ~ 0.35	Abaixo de 0.50	Abaixo de 0.025	Abaixo de 0.025	1.30 ~ 1.60	Abaixo de 0.08
	SUJ 3	0.95 ~ 1.10	0.40 ~ 0.70	0.90 ~ 1.15	Abaixo de 0.025	Abaixo de 0.025	0.90 ~ 1.20	Abaixo de 0.08
	SUJ 4	0.95 ~ 1.10	0.15 ~ 0.35	Abaixo de 0.50	Abaixo de 0.025	Abaixo de 0.025	1.30 ~ 1.60	0.10 ~ 0.25
ASTM A 295	52100	0.98 ~ 1.10	0.15 ~ 0.35	0.25 ~ 0.45	Abaixo de 0.025	Abaixo de 0.025	1.30 ~ 1.60	Abaixo de 0.10

Tabela 13.2 Composição Química dos Aços para Rolamentos Cementados (Principais Elementos)

Norma	Código	Composição Química (%)							
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
JIS G 4052	SCr 420 H	0.17 ~ 0.23	0.15 ~ 0.35	0.55 ~ 0.90	Abaixo de 0.030	Abaixo de 0.030	-	0.85 ~ 1.25	-
	SCM 420 H	0.17 ~ 0.23	0.15 ~ 0.35	0.55 ~ 0.90	Abaixo de 0.030	Abaixo de 0.030	-	0.85 ~ 1.25	0.15 ~ 0.35
	SNCM 220 H	0.17 ~ 0.23	0.15 ~ 0.35	0.60 ~ 0.95	Abaixo de 0.030	Abaixo de 0.030	0.35 ~ 0.75	0.35 ~ 0.65	0.15 ~ 0.30
	SNCM 420 H	0.17 ~ 0.23	0.15 ~ 0.35	0.40 ~ 0.70	Abaixo de 0.030	Abaixo de 0.030	1.55 ~ 2.00	0.35 ~ 0.65	0.15 ~ 0.30
JIS G 4103	SNCM 815	0.12 ~ 0.18	0.15 ~ 0.35	0.30 ~ 0.60	Abaixo de 0.030	Abaixo de 0.030	4.00 ~ 4.50	0.70 ~ 1.00	0.15 ~ 0.30
ASTM A 534	8620	0.18 ~ 0.23	0.15 ~ 0.35	0.70 ~ 0.90	Abaixo de 0.035	Abaixo de 0.040	0.40 ~ 0.70	0.40 ~ 0.60	0.15 ~ 0.25
	4320	0.17 ~ 0.22	0.15 ~ 0.35	0.45 ~ 0.65	Abaixo de 0.035	Abaixo de 0.040	1.65 ~ 2.00	0.40 ~ 0.60	0.20 ~ 0.30
	9310	0.08 ~ 0.13	0.15 ~ 0.35	0.45 ~ 0.65	Abaixo de 0.035	Abaixo de 0.040	3.00 ~ 3.50	1.00 ~ 1.40	0.08 ~ 0.15

Tabela 13.3 Composição Química do Aço Rápido para Rolamentos de Alta Temperatura (Principais Elementos)

Norma	Código	Composição Química (%)											
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ni	Cu	Co	W
AISI	M50	0.77 ~ 0.85	Abaixo de 0.25	Abaixo de 0.35	Abaixo de 0.015	Abaixo de 0.015	3.75 ~ 4.25	4.00 ~ 4.50	0.90 ~ 1.10	Abaixo de 0.10	Abaixo de 0.10	Abaixo de 0.25	Abaixo de 0.25

A utilização dos aços desgaseificados a vácuo, com alta pureza e reduzida percentagem de oxigênio, combinados a um adequado tratamento térmico, têm possibilitado notável prolongamento na vida de fadiga dos rolamentos da NSK.

Além dos tipos de aço referidos anteriormente, nas aplicações especiais, há casos de se usar o aço rápido de superior resistência ao calor, e o aço inoxidável resistente à corrosão.

A composição química destes aços, mais representativos, está relacionada nas tabelas 13.3 e 13.4.

13.2 Materiais da Gaiola

Os aços de baixo carbono, conforme relacionados na tabela 13.5, são usados como material de gaiolas prensadas, e dependendo da aplicação, chapas de latão e chapas de aço inoxidável são também usadas. As gaiolas usinadas têm como materiais, o latão de alta resistência, tabela 13.6, e o aço-carbono, tabela 13.5. Além destes, são usadas também, as resinas fenólicas e as poliamidas.

Tabela 13.4 Composição Química do Aço Inoxidável para Rolamentos (Principais Elementos)

Norma	Código	Composição Química (%)						
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
JIS G 4303	SUS 440 C	0.95 ~ 1.20	Abaixo de 1.00	Abaixo de 1.00	Abaixo de 0.040	Abaixo de 0.030	16.00 ~ 18.00	Abaixo de 0.75
SAE J 405	51440 C	0.95 ~ 1.20	Abaixo de 1.00	Abaixo de 1.00	Abaixo de 0.040	Abaixo de 0.030	16.00 ~ 18.00	Abaixo de 0.75

Tabela 13.5 Composição Química das Chapas de Aço e Aço-Carbono para Gaiolas (Principais Elementos)

Classificação	Norma	Código	Composição Química (%)				
			C	Si	Mn	P	S
Chapa de aço para gaiola prensada	JIS G 3141	SPCC	Abaixo de 0.12	-	Abaixo de 0.50	Abaixo de 0.04	Abaixo de 0.045
	BAS 361	SPB2	0.13 ~ 0.20	Abaixo de 0.04	0.25 ~ 0.60	Abaixo de 0.03	Abaixo de 0.030
	JIS G 3311	S 50 CM	0.47 ~ 0.53	0.15 ~ 0.35	0.60 ~ 0.90	Abaixo de 0.03	Abaixo de 0.035
Aço-carbono para gaiola usinada	JIS G 4051	S 25 C	0.22 ~ 0.28	0.15 ~ 0.35	0.30 ~ 0.60	Abaixo de 0.03	Abaixo de 0.035

Observação

BAS é a norma da Associação dos Fabricantes de Rolamentos no Japão (Bearing Association Standard).

Tabela 13.6 Composição Química do Latão de Alta Resistência para Gaiolas Usinadas

Norma	Código	Composição Química (%)								
		Cu	Zn	Mn	Fe	Al	Sn	Ni	Impurezas	
									Pb	Si
JIS H 5102	HBSc 1	Acima de 55.0	Restante	Abaixo de 1.5	0.5 ~ 1.5	0.5 ~ 1.5	Abaixo de 1.0	Abaixo de 1.0	Abaixo de 0.4	Abaixo de 0.1
JIS H 3250	C 6782	56.0 ~ 60.5	Restante	0.5 ~ 2.5	0.1 ~ 1.0	0.2 ~ 2.0	-	-	Abaixo de 0.5	-

Observação

Usado também o HBSc 1 melhorado.

14 MANUSEIO DE ROLAMENTOS

14.1 Precauções para o Adequado Manuseio dos Rolamentos

Os rolamentos por serem componentes mecânicos de alta precisão, requerem cuidados proporcionais para serem manipulados, pois por mais que se utilizem rolamentos de alta qualidade, o desempenho esperado não poderá ser obtido se não forem manipulados adequadamente. As principais precauções a serem observadas são as seguintes:

(1) Limpeza do Rolamento e da Área Adjacente

A sujeira, mesmo invisível a olho nu, apresenta efeito nocivo sobre os rolamentos, portanto, é fundamental evitar a entrada de sujeira mantendo o mais possível limpos os rolamentos e a área circundante.

(2) Manuseio Cuidadoso

Choques pesados durante o manuseio dos rolamentos provocam escoriações e esmagamentos, que resultam em causa das falhas; em casos extremos podem ocorrer lascamentos e trincas; conseqüentemente, faz-se necessário tomar o máximo de cuidado quando do manuseio.

(3) Ferramentas Apropriadas

Usar sempre as ferramentas apropriadas para a manipulação de rolamentos, evitar a improvisação de ferramentas ou dispositivos.

(4) Prevenção da Oxidação

Ao manusear os rolamentos é necessário o cuidado em manter as mãos limpas, pois, a própria transpiração nas mãos se torna a causa da oxidação; se possível usar luvas.

14.2 Instalação

A instalação correta ou não dos rolamentos, afeta a precisão, a vida e o desempenho. Assim, é desejável que a instalação seja executada segundo normas de serviço, após os departamentos de projeto e montagem estudarem suficientemente quanto à instalação do rolamento.

Normalmente, os itens das normas de serviços incluem:

- (1) Limpeza dos rolamentos e das peças conjugadas.
- (2) Verificação das dimensões e acabamento das peças conjugadas.
- (3) Procedimento de instalação.
- (4) Checagem após a instalação.
- (5) Lubrificação.

Os rolamentos devem ser desembalados imediatamente antes da instalação, em caso de lubrificação a graxa os rolamentos podem ser lubrificados sem que sejam lavados.

Normalmente, mesmo no caso de lubrificação a óleo, não há necessidade de serem lavados, entretanto, nos rolamentos para instrumentos de medição ou para aplicação em altas rotações, retira-se o protetivo antioxidante aplicado no rolamento, lavando-os em óleo de limpeza filtrado. Os rolamentos que assim tiverem o protetivo antioxidante removidos, não podem ficar expostos sem a proteção adequada devido a facilidade em se oxidar.

Os rolamentos pré-lubrificadas, blindados ou vedados em ambos os lados, não devem ser lavados para a utilização.

Os métodos de instalação diferem de acordo com os tipos de rolamentos e das condições de ajuste. Normalmente, como é em maior número os casos de eixo rotativo, o anel interno necessita de ajuste com interferência.

Rolamentos com furo cilíndrico são usualmente instalados por meio de uma prensa ou do aquecimento; rolamentos com furo cônico podem ser instalados diretamente sobre eixos cônicos ou através de buchas de fixação.

Os rolamentos instalados nas caixas ou nos alojamentos, são ajustados com folga, contudo nos casos em que há interferência no anel externo, é comum fazer uso de uma prensa. Além deste, há o método de ajuste por contração através da instalação do rolamento esfriado, como meio de esfriamento pode ser usado o gelo-seco. Neste caso, devido a condensação da umidade do ar na superfície do rolamento, inerente ao processo, é necessário um adequado tratamento preventivo contra a oxidação.

14.2.1 Instalação de Rolamentos com Furo Cilíndrico

(1) Instalação com o Uso da Prensa

Na instalação de pequenos rolamentos, o método mais largamente usado é o da prensagem. Conforme a figura 14.1, o dispositivo de instalação é apoiado no anel interno e é lentamente prensado até que a lateral do anel interno toque integralmente no assento de encosto do eixo. O apoio do dispositivo de instalação no anel externo quando da instalação do anel interno, deve ser evitado de todas as formas, pois será a causa de escoriações e esmagamentos na pista.

Ainda, na execução do trabalho, recomenda-se aplicar óleo na superfície de ajuste; mesmo nos casos de se instalar batendo com o martelo, inevitável por falta de alternativa, o dispositivo de apoio deve ser usado; este método por se tornar com freqüência em causa de danificações no rolamento, restringe-se para os casos de pequena interferência, não devendo ser usado para grandes interferências e rolamentos médios e grandes.

Os rolamentos não-separáveis, como os rolamentos fixos de esferas, onde houver necessidade de se instalar com interferência tanto o anel interno como o anel externo, ambos os anéis devem ser forçados simultaneamente, usando o tipo de dispositivo de instalação conforme a figura 14.2, com o auxílio de uma prensa hidráulica ou por meio da rosca. Nos rolamentos autocompensadores de esferas, pela facilidade do anel externo desalinhar-se, é preferível o uso deste tipo de dispositivo mesmo que não seja o ajuste com interferência.

Nos rolamentos separáveis como os de rolos cilíndricos e os de rolos cônicos, o anel interno e o anel externo podem ser instalados separadamente no eixo e na caixa.

A montagem do anel interno e do anel externo instalados em separado é importante que seja efetuada com cuidado para que não haja erros de alinhamento entre o anel interno e o anel externo. A união forçada pode causar esmagamentos e arranhaduras na superfície de rolagem.

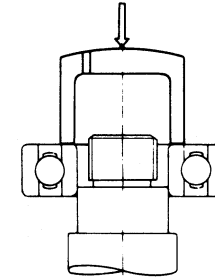


Fig. 14.1 Prensagem do Anel Interno

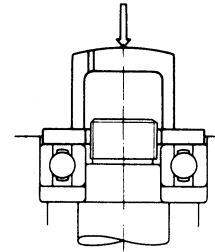


Fig. 14.2 Prensagem Simultânea dos Anéis Interno e Externo

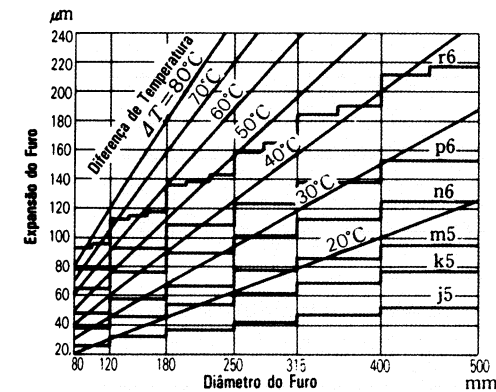


Fig 14.3 Diferença de Temperatura e a Expansão do Furo

(2) Instalação por Aquecimento

Os grandes rolamentos exigem uma grande força de prensagem, dificultando a execução do trabalho de instalação; em virtude disto, o emprego da dilatação do rolamento por aquecimento em banho de óleo é bastante difundido. Este método evita a aplicação de qualquer esforço desnecessário ao rolamento e, ao mesmo tempo, permite uma instalação bastante rápida.

A temperatura de aquecimento pode ser definida em função da dimensão do rolamento e a interferência prevista, baseando-se referencialmente na figura 14.3.

As precauções que se devem tomar quando do emprego de aquecimento são as seguintes:

- (a) Não aquecer o rolamento acima de 120°C.
- (b) Para evitar o contato do rolamento no fundo do tanque, deve ser estudado o uso de uma tela de suporte ou mantê-lo suspenso.
- (c) Aquecer o rolamento cerca de 20 ~ 30°C acima da requerida, para que a instalação não seja dificultada pelo esfriamento do anel interno.
- (d) Após a instalação, o rolamento esfria e contrai também na largura, por isto, o rolamento deve ser pressionado firmemente contra o encosto no eixo com a porca ou ferramenta apropriada, de modo a evitar folga entre o rolamento e o encosto.

Aparelho da NSK para Aquecimento de Rolamentos por Indução Eletromagnética

Além do aquecimento em óleo, os aparelhos de aquecimento de rolamentos (ilustração na página C5) através da indução eletromagnética são bastante utilizados.

No aparelho de aquecimento de rolamentos, a bobina incorporada ao ser alimentada, cria um campo eletromagnético que induz a circulação de corrente no rolamento, aquecendo-o em decorrência da resistência do próprio corpo.

Conseqüentemente, sem usar o fogo ou o óleo, é possível aquecer uniformemente e em curto tempo, além de permitir a execução limpa e tornar eficiente o trabalho de aquecimento dos rolamentos.

No caso de instalação e remoção relativamente freqüentes, tal como ocorre com os rolamentos de rolos cilíndricos em cilindros de laminação ou em eixos de rodeios ferroviários, o trabalho poderá ser facilitado com o uso do dispositivo de indução, específico para a instalação e remoção do anel interno deste tipo de rolamento (ilustração na página A122).

14.2.2 Instalação de Rolamentos com Furo Cônico

Os rolamentos com furo cônico são diretamente instalados em eixos com assento cônico ou em eixos com assento cilíndrico por meio de buchas de fixação ou de buchas de desmontagem, figuras 14.4 e 14.5. Os rolamentos autocompensadores de rolos de maior porte são freqüentemente instalados com o uso da pressão hidráulica.

Na figura 14.6, o exemplo da instalação em que a porca hidráulica pressiona a bucha, e na figura 14.7, o método em que pelas perfurações na bucha é injetado o óleo sob pressão e a bucha por sua vez é deslocada por parafusos.

Os rolamentos autocompensadores de rolos são instalados verificando-se a redução da folga radial, com base no deslocamento axial da tabela 14.1.

A folga radial pode ser medida com o auxílio do calibrador de lâminas; nesta medição, conforme a figura 14.8, as folgas de ambas as carreiras devem ser verificadas ao mesmo tempo, tomando-se o cuidado em manter os dois valores mais ou menos iguais pelo ajuste da posição relativa dos anéis interno e externo.

Quando as dimensões dos rolamentos se tornam maiores, os anéis externos se deformam ovalizando-se pelo próprio peso ao serem instalados nos eixos. Neste caso, se a folga por medida no ponto mais baixo do rolamento deformado,

o valor obtido será maior que a folga real; necessário se faz lembrar que se esta folga incorreta for usada para determinar o deslocamento axial na tabela 14.1, a interferência se tornará maior e a folga residual poderá ser demasiadamente pequena.

Nesta condição, conforme a figura 14.9, pode ser usada como folga residual a metade da somatória da folga do ponto mais baixo *c* e dos locais *a* e *b* da posição lateral na direção horizontal.

O rolamento autocompensador de esferas ao ser instalado com bucha de fixação, para que a folga residual não fique demasiadamente pequena, deve ter assegurada uma folga que permita o fácil alinhamento do anel externo.

14.3 Teste de Giro

Após a instalação ter sido finalizada, o teste de giro deve ser realizado para confirmar a instalação correta do rolamento.

As máquinas de pequeno porte são movimentadas manualmente para verificar a suavidade do giro. Os itens a serem verificados são: pequenos trancos devidos a partículas estranhas, escoriações ou esmagamentos; inconstância do torque devida a falhas nas instalações ou falhas no assento; e torque excessivo de origem em folga demasiadamente reduzida, desalinhamento ou atrito de vedação. Não havendo anormalidades, pode-se efetuar o giro acionado.

Tabela 14.1 Instalação do Rolamento Autocompensador de Rolos com Furo Cônico

unidade: mm

Diâmetro do Furo <i>d</i>		Redução da Folga Radial		Deslocamento Axial				Folga Residual Mínima	
Acima de	Inclusive	min	max	Conicidade 1:12		Conicidade 1:30		Normal	C3
				min	max	min	max		
30	40	0.025	0.030	0.40	0.45	-	-	0.010	0.025
40	50	0.030	0.035	0.45	0.55	-	-	0.015	0.030
50	65	0.030	0.035	0.45	0.55	-	-	0.025	0.035
65	80	0.040	0.045	0.60	0.70	-	-	0.030	0.040
80	100	0.045	0.055	0.70	0.85	1.75	2.15	0.035	0.050
100	120	0.050	0.060	0.75	0.90	1.9	2.25	0.045	0.065
120	140	0.060	0.070	0.90	1.1	2.25	2.75	0.055	0.080
140	160	0.065	0.080	1.0	1.3	2.5	3.25	0.060	0.100
160	180	0.070	0.090	1.1	1.4	2.75	3.5	0.070	0.110
180	200	0.080	0.100	1.3	1.6	3.25	4.0	0.070	0.110
200	225	0.090	0.110	1.4	1.7	3.5	4.25	0.080	0.130
225	250	0.100	0.120	1.6	1.9	4.0	4.75	0.090	0.140
250	280	0.110	0.140	1.7	2.2	4.25	5.5	0.100	0.150
280	315	0.120	0.150	1.9	2.4	4.75	6.0	0.110	0.160
315	355	0.140	0.170	2.2	2.7	5.5	6.75	0.120	0.180
355	400	0.150	0.190	2.4	3.0	6.0	7.5	0.130	0.200
400	450	0.170	0.210	2.7	3.3	6.75	8.25	0.140	0.220
450	500	0.190	0.240	3.0	3.7	7.5	9.25	0.160	0.240
500	560	0.210	0.270	3.4	4.3	8.5	11.0	0.170	0.270
560	630	0.230	0.300	3.7	4.8	9.25	12.0	0.200	0.310
630	710	0.260	0.330	4.2	5.3	10.5	13.0	0.220	0.330
710	800	0.280	0.370	4.5	5.9	11.5	15.0	0.240	0.390
800	900	0.310	0.410	5.0	6.6	12.5	16.5	0.280	0.430
900	1 000	0.340	0.460	5.5	7.4	14.0	18.5	0.310	0.470
1 000	1 120	0.370	0.500	5.9	8.0	15.0	20.0	0.360	0.530

Observação

Os valores de redução da folga radial, na tabela acima, são para os rolamentos de folga normal. Para os rolamentos de folga C3, usar como referencial para redução da folga radial os valores máximos da tabela.

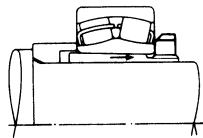


Fig. 14.4 Instalação com Bucha de Fixação

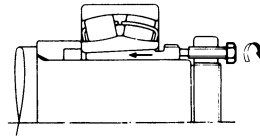


Fig. 14.5 Instalação com Bucha de Desmontagem

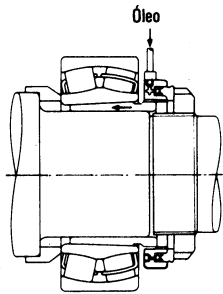


Fig. 14.6 Instalação com Porca Hidráulica

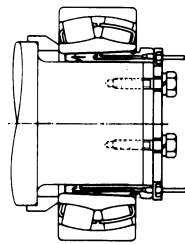


Fig. 14.7 Instalação com Bucha Especial e Pressão Hidráulica

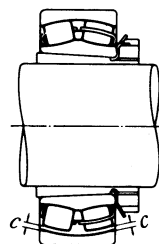


Fig. 14.8 Medição de Folga no Rolamento Autocompensador

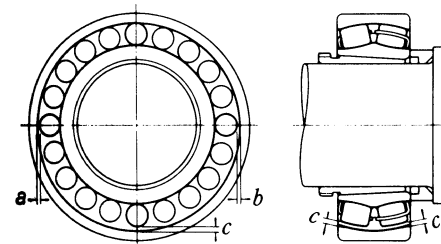


Fig. 14.9 Medição de Folga no Rolamento Autocompensador de Porte Maior

As máquinas de grande porte, por não permitirem o movimento manual, devem ser acionadas sem carga e imediatamente desligadas, e durante o movimento inercial, verificadas a existência ou não de anormalidades como, vibração, ruído e partes girantes em contato indevido; após isto, pode ser efetuado o giro acionado.

O giro acionado, deve ser iniciado sem carga e em baixa rotação, elevando gradativamente até as condições estabelecidas de funcionamento. As verificações a serem efetuadas durante esta etapa inicial de giro são: a existência ou não de ruído anormal; a mudança de temperatura no rolamento; vazamento e alteração na cor do lubrificante; etc. Constatada alguma anormalidade no teste inicial de giro, a operação deve ser imediatamente interrompida, a máquina inspecionada, e se necessário o rolamento removido para inspeção.

A temperatura do rolamento pode ser estimada, geralmente, pela temperatura da superfície externa do alojamento, no entanto, se for possível medir a temperatura diretamente no anel externo do rolamento, através do furo de lubrificação por exemplo, será o mais conveniente.

A temperatura do rolamento deve aumentar gradualmente até se estabilizar; normalmente, de uma a duas horas após o início da operação. Caso haja alguma anormalidade no rolamento ou na instalação, a temperatura do rolamento pode aumentar rapidamente tornando-se demasiadamente alta; nestes casos pode-se ter como causa, o excesso de lubrificante, a folga reduzida do rolamento, a instalação deficiente, o atrito excessivo do sistema de vedação, entre outras.

A seleção incorreta do tipo de rolamento ou do sistema de lubrificação, podem ser também, causas de aquecimento nos casos de alta rotação.

O ruído de giro, pode ser percebido com o auxílio do estetoscópio ou de similares. As falhas podem ser identificadas por um alto som metálico, alto som constante ou som inconstante, e como causa destes, a lubrificação deficiente, a precisão deficiente no assento do eixo e alojamento, danos no rolamento e a penetração de partículas estranhas, são as mais comuns.

As possíveis causas e as contramedidas para as ocorrências anormais, referenciadas acima, são apresentadas na tabela 14.2

Tabela 14.2 Causas e Contramedidas para as Ocorrências Anormais de Operação do Rolamento

Ocorrências	Possíveis Causas	Contramedidas	
Ruído	Alto Som Metálico (1)	Carga Anormal	Corrigir o ajuste, estudar a folga do rolamento, ajustar a pré-carga, corrigir a posição do encosto no alojamento, etc.
		Instalação incorreta	Melhorar o método de instalação, melhorar a posição na instalação e a precisão de usinagem do eixo e alojamento.
		Lubrificante em falta ou inadequado	Relubrificar, selecionar um lubrificante adequado.
		Contato indevido das partes girantes	Corrigir a parte em contato, como p. ex. nos anéis de labirinto.
	Alto Som Constante	Impressões, oxidação ou escoriações na pista	Substituir o rolamento, limpar as peças conjugadas, melhorar o sistema de vedação, usar lubrificante limpo.
		Cavidade	Substituir o rolamento, tomar cuidado no manuseio.
		Escamamento na pista	Substituir o rolamento.
	Som Inconstante	Jogo excessivo	Estudar a folga do rolamento e o ajuste, corrigir a pré-carga.
		Penetração de partículas estranhas	Estudar a substituição do rolamento, limpar as peças conjugadas, melhorar o sistema de vedação, usar lubrificante limpo.
		Escoriação ou escamamento na esfera	Substituir o rolamento.
Aumento Anormal da Temperatura	Lubrificante em excesso	Reduzir o lubrificante para o volume adequado, selecionar graxa mais consistente.	
	Lubrificante em falta ou inadequado	Relubrificar, selecionar um lubrificante adequado.	
	Carga anormal	Corrigir o ajuste, estudar a folga do rolamento, ajustar a pré-carga, corrigir a posição do encosto no alojamento, etc.	
	Instalação incorreta	Melhorar o método de instalação, melhorar a posição na instalação e a precisão de usinagem do eixo e alojamento.	
	Deslizamento da superfície de ajuste, atrito excessivo do sistema de vedação	Substituir o rolamento, rever o ajuste, corrigir o eixo e o alojamento, alterar o tipo de vedação.	
Vibração Excessiva (Giro oscilante do eixo)	Cavidade	Substituir o rolamento, tomar cuidado no manuseio.	
	Escamamento	Substituir o rolamento.	
	Instalação incorreta	Corrigir o perpendicularismo das laterais do espaçador e do encosto no eixo e alojamento.	
Vazamento Excessivo ou Alteração na Cor do Lubrificante	Penetração de partículas estranhas	Substituir o rolamento, limpar as peças conjugadas, melhorar o sistema de vedação.	
	Lubrif. em excesso, entrada de partículas estranhas, ocorrência ou entrada de partículas do desgaste	Adequar o volume de lubrificante, estudar a seleção e a alteração do lubrificante, estudar a substituição do rolamento, limpeza do alojamento, etc.	

Nota

(1) Os rolamentos de rolos cilíndricos e de esferas de tamanho médio a grande quando lubrificadas a graxa, dependendo especialmente das condições ambientais como o do clima de inverno e de locais com baixa temperatura, podem apresentar o som de rangido. Em geral, apesar da ocorrência do rangido, não há aumento na temperatura e nem influência na vida do rolamento ou na vida da graxa, não havendo problemas em continuar usando o rolamento. No entanto, consulte previamente a NSK, quando o rangido puder originar incertezas.

14.4 Remoção

Os rolamentos podem ser removidos para inspeções periódicas, para substituição ou para outras finalidades. Nos casos da reutilização destes rolamentos, ou em casos da necessidade de inspecionar as condições dos rolamentos, a remoção deve ser feita com os mesmos cuidados dos da instalação, para não danificar os componentes ou o rolamento.

Especialmente, a remoção dos rolamentos ajustados com interferência, o trabalho se torna difícil, por isto, na fase de projeto deve ser estudada suficientemente a configuração dos conjugados para facilitar a remoção. Conforme a necessidade, é importante desenhar e deixar fabricado o dispositivo de remoção.

A remoção deve ser planejada estudando no desenho, as condições de ajuste, a seqüência e o método de remoção, visando uma perfeita e segura execução do trabalho.

14.4.1 Remoção do Anel Externo

A remoção de um anel externo ajustado com interferência pode ser efetuada conforme figura 14.10, pelo auxílio de parafusos em vários furos roscados previamente efetivados, em disposição circunferencial; a remoção deve ser efetuada apertando uniformemente os parafusos. Os furos roscados enquanto não estiverem em uso deverão ficar lacrados com buijões. No caso de rolamentos separáveis, como os de rolos cônicos, alguns rasgos podem ser efetivados no encosto do alojamento, conforme figura 14.11, para sacar o anel externo pelo auxílio de um apoio e prensa ou com batidas leves.

14.4.2 Remoção de Rolamentos com Furo Cilíndrico

A remoção ideal do anel interno é aquela efetuada com o auxílio de uma prensa, bastando neste caso, somente atentar para que a força de remoção seja imposta apenas no anel interno. (Figura 14.12)

Dispositivos extratores como os das figuras 14.13 e 14.14 são de uso freqüente.

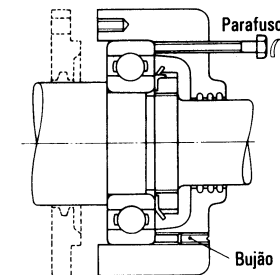


Fig. 14.10 Remoção do Anel externo com Parafusos

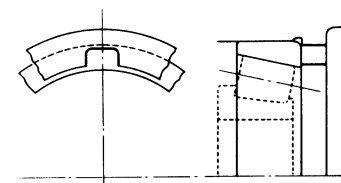


Fig. 14.11 Rasgos para Remoção

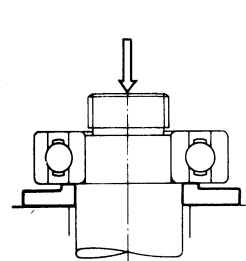


Fig. 14.12 Remoção pelo Anel Interno com Prensa

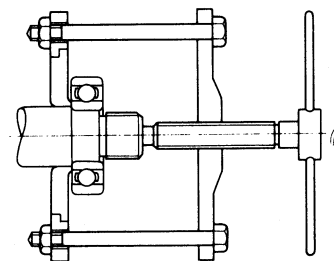


Fig. 14.13 Remoção pelo Anel Interno com Extrator (1)

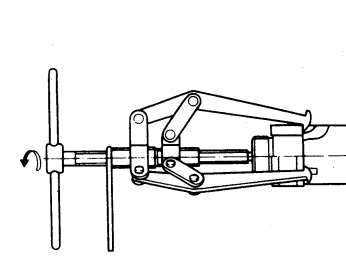


Fig. 14.14 Remoção do Anel Interno com Extrator (2)

As garras dos extratores, em ambos os casos da página anterior, devem apoiar suficientemente na lateral do anel interno, para que isto seja possível, a dimensão do encosto no eixo e a abertura de rasgos no encosto, conforme figura 14.14 deve ser estudada.

A remoção do anel interno dos grandes rolamentos, pode ser efetuada pelo auxílio da pressão de óleo; este método visa facilitar a remoção aplicando pressão de óleo através de furos no eixo; nos rolamentos mais largos, o trabalho de remoção por este método é efetuado em conjunto com os dispositivos extratores.

Ainda, para a remoção do anel interno dos rolamentos de rolos cilíndricos tipos NU e NJ, pode ser usado o aquecimento por indução; neste método, o anel interno é expandido por um rápido aquecimento local para ser removido, figura 14.15. O aquecimento por indução é também usado para a instalação do anel interno destes rolamentos no eixo, quando a quantidade a ser instalada for muito grande.

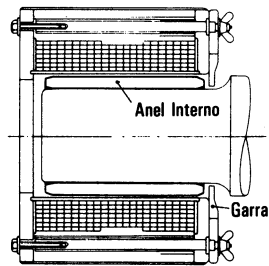


Fig. 14.15 Remoção do Anel Interno com Aquecimento por Indução

14.4.3 Remoção de Rolamentos com Furo Cônico

A remoção dos rolamentos relativamente pequenos, instalados com buchas de fixação, pode ser efetuada conforme figura 14.18, apoiando o anel interno num batente preso ao eixo por uma braçadeira, soltando em algumas voltas a porca de fixação e removendo a bucha com batidas de martelo na barra apoiada na mesma. Na figura 14.16, o procedimento de remoção da bucha de desmontagem através do aperto da porca; caso o procedimento de remoção seja dificultado, a bucha pode ser sacada com o auxílio de parafusos em vários furos roscados previamente efetivados na porca, em disposição circunferencial, figura 14.17.

A remoção dos rolamentos de maior porte, pode ser facilitada com o auxílio da pressão hidráulica. Na figura 14.19, o método de remoção do rolamento, expandindo o anel interno através da pressão do óleo injetado pelos furos abertos no eixo de assento cônico; durante esta operação, o rolamento pode soltar-se repentinamente, por isto, para evitar qualquer incidente maior, a porca deve ser usada para escorar e limitar o deslocamento da peça. O método de sacar a bucha pelo uso da porca hidráulica é ilustrado na figura 14.20.

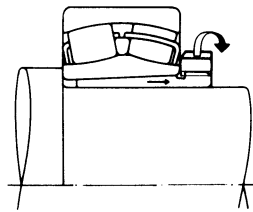


Fig. 14.16 Remoção da Bucha de Desmontagem (1)

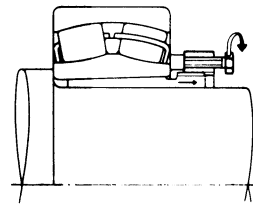


Fig. 14.17 Remoção da Bucha de Desmontagem (2)

14.5 Inspeção de Rolamentos

14.5.1 Limpeza de Rolamentos

O rolamento removido para inspeção, primeiramente, deve ter o aspecto visual registrado e o volume residual do lubrificante verificado, e após recolhida a amostra do lubrificante para análise, o rolamento deve ser lavado; em geral, são usados como fluido de limpeza o querosene e óleos leves. A limpeza dos rolamentos removidos deve ser efetuada em duas fases, limpeza preliminar e limpeza final; cada um dos tanques, deve ter uma tela metálica ou equivalente para apoiar os rolamentos e evitar o contato destes com a sujeira do fundo do tanque. Na limpeza preliminar é necessário tomar muito cuidado, pois se o rolamento for girado com partículas estranhas, podem ocorrer escoriações na superfície de rolagem; no banho da limpeza preliminar, a graxa lubrificante e outros resíduos devem ser removidos mediante o emprego de meios como a escova, e após relativamente limpos são passados para a limpeza final.

O trabalho da limpeza final deve ser efetuado com cuidado, girando o rolamento imerso no fluido de limpeza; ainda é bom lembrar que o fluido de limpeza deve ser mantido sempre limpo.

14.5.2 Inspeção e Avaliação de Rolamentos

Os rolamentos após serem muito bem limpos são examinados para avaliar a possibilidade ou não da reutilização. A inspeção minuciosa deve verificar, a existência ou não de anormalidades e danos como: a redução na precisão dimensional, o aumento da folga interna do rolamento, o estado de desgaste da gaiola, o estado da superfície de ajuste, da superfície de rolagem, da superfície dos corpos rolantes, entre outros. Os tipos não separáveis como os rolamentos de esferas, quando de menor porte, permitem confirmar a suavidade no giro, mantendo o anel interno na horizontal em uma das mãos e girando o anel externo.

Os rolamentos separáveis como o de rolos cônicos, permitem a verificação dos corpos rolantes e a pista do anel externo individualmente.

Os rolamentos de maior porte, por não permitirem o giro manual, deve ser verificado com atenção, o aspecto visual dos corpos rolantes, a superfície da pista, a gaiola e a superfície de contato no rebordo. Quanto maior for o nível de importância do rolamento, maior deverá ser a seriedade dos exames.

A avaliação quanto a possibilidade ou não da reutilização deve ser efetuada somente após considerar o grau de danos, a capacidade da máquina, o grau de importância, as condições de trabalho e o intervalo de tempo até a próxima inspeção. Entretanto, se qualquer dos seguintes defeitos forem observados, a reutilização do rolamento é inviabilizada, sendo necessária a substituição por uma peça nova:

- (a) Quando houver trincas ou lascados no anel interno, no anel externo, nos corpos rolantes ou na gaiola.
- (b) Quando houver escamamento na pista ou nos corpos rolantes.
- (c) Quando houver arranhadura significativa na pista, no rebordo ou nos corpos rolantes.
- (d) Quando o desgaste da gaiola for significativo ou os rebites estiverem soltos.
- (e) Quando houver oxidação ou escoriações na superfície da pista ou dos corpos rolantes.
- (f) Quando houver impressões ou marcas de impacto significativos na superfície da pista ou dos corpos rolantes.
- (g) Quando houver deslizamento significativo na superfície do furo ou na superfície do anel externo.
- (h) Quando houver alteração significativa na cor devido ao calor.
- (i) Quando houver danos significativos nas placas de blindagem ou de vedação.

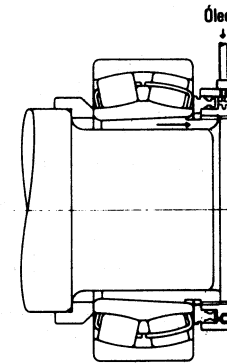


Fig. 14.20 Remoção com Porca Hidráulica

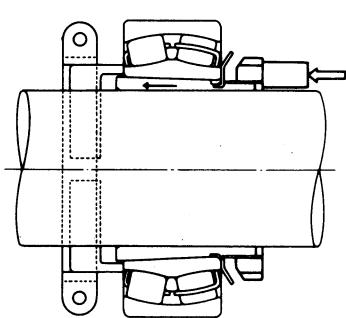


Fig. 14.18 Remoção da Bucha de Fixação

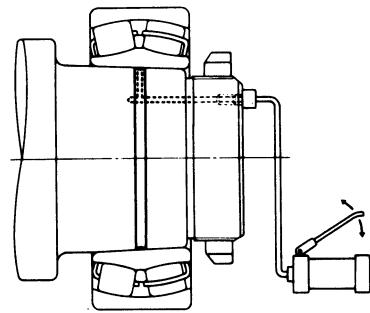


Fig. 14.19 Remoção com Pressão Hidráulica

14.6 Manutenção e Inspeção

14.6.1 Manutenção, Inspeção e Correção de Anormalidades

A manutenção e a inspeção são realizadas com a finalidade de manter o maior tempo possível as condições originais dos rolamentos. Através destas, as falhas são antecipadamente remediadas, garantindo a confiabilidade operacional, possibilitando o aumento da produtividade e a redução de custos.

A manutenção requerida é aquela realizada periodicamente, segundo procedimentos específicos que correspondam às condições operacionais das máquinas, abrangendo o acompanhamento da condição em operação, a complementação ou troca do lubrificante, e a desmontagem periódica para avaliações.

A inspeção durante o funcionamento deve abranger itens como: o ruído no rolamento, vibrações, temperatura e o estado do lubrificante; caso for encontrada alguma anormalidade durante o funcionamento, a causa deve ser identificada e eliminada através de medidas corretivas, referenciando-se na tabela 14.2. Conforme a necessidade, o rolamento deve ser removido para um exame pormenorizado.

Os principais procedimentos após a remoção, deverão ser verificados no parágrafo 14.5, inspeção de rolamentos.

MONITOR DE ROLAMENTO NSK (Detector de Anormalidades nos Rolamentos)

A possibilidade de prever indícios de anormalidades com o rolamento em funcionamento é operacionalmente de suma importância.

O monitor de rolamentos da NSK (ilustração na página C5), permite acompanhar o comportamento do

rolamento em funcionamento, e ao surgir indícios de anormalidades, aciona o alerta ou pára automaticamente a máquina, evitando problemas maiores e possibilitando a racionalização das paradas de manutenção.

14.6.2 Ocorrências nos Rolamentos e Contramedidas

Os rolamentos corretamente cuidados podem ser usados por um longo período, em geral, até a vida de fadiga, contudo, há casos de ocorrências inesperadamente rápidas que não permitem a utilização continuada. Estas ocorrências prematuras em relação à vida de fadiga, são os limites de uso, naturalmente denominadas de quebras ou acidentes que na sua grande maioria têm como causas: a falta de cuidados quanto a instalação, utilização e lubrificação; a penetração de partículas estranhas do exterior; e a falta no considerar a influência do calor no eixo e alojamento.

Ao se avaliar uma ocorrência no rolamento, por exemplo, a ocorrência de arranhadura no rebordo do anel de rolamento de rolos, pode ser considerada como provável causa desta: a lubrificação insuficiente ou inadequada; a deficiência do sistema de relubrificação; a penetração de partículas estranhas; desvios de instalação; flexão excessiva do eixo; ou a combinação destes.

Assim, examinando somente a peça que apresentou o problema, é difícil determinar a verdadeira causa deste.

Entretanto, se for do conhecimento, a máquina onde o rolamento é usado, as condições de trabalho, a configuração dos conjugados, e se a situação anterior e posterior ao da ocorrência estiverem claras, o estado do rolamento danificado pode ser relacionado a várias causas, que ponderadas, possibilitarão a prevenção contra a reincidência de ocorrências semelhantes.

Os tipos mais representativos de ocorrências de rolamentos, as causas e as contramedidas, estão relacionados na tabela 14.3.

Tabela 14.3 Tipos de Ocorrências, Causas e Contramedidas

	Ocorrências	Causas	Contramedidas
Escamamento	Somente de um dos lados da pista no rolamento radial.	Carga axial anormal.	Corrigir para ajuste com folga no anel externo do rolamento lado livre.
	Diametralmente opostos na pista.	Deficiência na circularidade do furo do alojamento.	Tomar especial cuidado nas caixas bipartidas; correção da precisão da superfície do furo do alojamento.
	Inclinado em relação a pista no rolamento radial de esferas. Próximo à extremidade da pista e dos rolos no rolamento de rolos.	Instalação deficiente; flexão do eixo; deficiência no alinhamento; deficiência na precisão do eixo e do alojamento.	Cuidado na instalação; cuidado no alinhamento; optar por uma folga maior; correção do perpendicularismo do encosto no eixo e alojamento.
	Na pista em espaçamento igual ao dos corpos rolantes.	Grande carga de choque quando da instalação; consequência da oxidação em paradas; escoriação na montagem dos rolamentos de rolos cilíndricos.	Cuidados na instalação; proteger contra a oxidação em paradas muito longas.
	Prematuro, na pista ou nos corpos rolantes.	Folga reduzida; carga excessiva; lubrificação deficiente; oxidação; etc.	Adequar o ajuste; seleção da classe de folga; seleção do lubrificante adequado.
	Prematuro, nos rolamentos combinados.	Pré-carga excessiva.	Adequar a Pré-carga.

	Ocorrências	Causas	Contramedidas
Arranhadura	Na superfície da pista e dos corpos rolantes.	Deficiência na lubrificação quando da partida; consistência da graxa muito alta; aceleração de partida muito alta.	Utilizar graxa menos consistente; evitar aceleração repentina.
	Em forma espiral, na pista do rolamento axial de esferas.	Os anéis não estão paralelos; velocidade de giro excessiva.	Correção da instalação; adequar a pré-carga; selecionar o tipo mais adequado de rolamento.
	Na face lateral do rolo e na face de guia do rebordo.	Deficiência na lubrificação; deficiência na instalação, excessiva carga axial.	Selecionar o lubrificante adequado; corrigir a instalação.
Avaria	Anel interno ou anel externo partidos.	Excessiva carga de choque; excessiva interferência; deficiência na forma do eixo; deficiência na conicidade da bucha; raio de encosto muito grande; desenvolvimento da trinca de fricção; avanço do escamamento.	Reanalisar as condições de carga; adequar o ajuste; corrigir a precisão de usinagem da bucha e do eixo; corrigir o raio do encosto (fazer menor que o chanfro do rolamento).
	Corpos rolantes partidos; Rebordo lascado.	Avanço do escamamento; batida no rebordo quando da instalação; queda por descuido no manejo.	Cuidados quando da instalação e manejo.
	Gaiola avariada.	Carga anormal na gaiola em decorrência de deficiência na instalação; deficiência na lubrificação.	Correção da instalação; estudar o lubrificante e o método de lubrificação.
Cavidade	Na pista em espaçamentos iguais ao passo dos corpos rolantes (brinelling).	Carga de choque quando da instalação; carga excessiva com o rolamento parado.	Cuidados no manejo.
	Impressões na superfície da pista e dos corpos rolantes.	Partículas metálicas ou estranhas como a areia, pressionadas entre as superfícies da pista e dos corpos rolantes.	Limpeza do alojamento; melhorar o sistema de vedação; usar lubrificante limpo.
Desgaste Anormal	Falsa cavidade (fenômeno semelhante ao brinelling).	Vibração no rolamento estático durante o transporte; movimento oscilatório de pequena amplitude.	Fixação do eixo e do alojamento; usar o óleo como lubrificante; aplicar a pré-carga e diminuir a vibração.
	Corrosão por contato (fretting).	Desgaste de deslizamento na pequena folga da superfície de ajuste.	Aumentar a interferência; aplicar óleo.
	Nas superfícies da pista, dos corpos rolantes, do rebordo e gaiola.	Penetração de partículas estranhas; deficiência na lubrificação; oxidação.	Limpeza do alojamento; melhorar o sistema de vedação; usar lubrificante limpo.
Superaquecimento	Deslizamento, desgaste por arranhadura na superfície de ajuste.	Falta de interferência; falta de aperto da bucha.	Corrigir o ajuste; adequar o aperto da bucha.
	Alteração na colocação e agarramento das superfícies da pista, corpos rolantes e o rebordo.	Folga reduzida; lubrificação deficiente; instalação deficiente.	Reestudar o ajuste e a folga interna do rolamento; lubrificar em volume adequado com o lubrificante adequado; reestudar o método de instalação e as peças conjugadas.
Corrosão Elétrica	Superfície da pista estriada.	Derretimento pela passagem de corrente elétrica em forma de arco.	Efetivar o aterramento para evitar a passagem de corrente elétrica; isolamento do rolamento.
Oxidação e Corrosão	Internamente no rolamento e na superfície de ajuste.	Condensação da umidade do ar; fretting; penetração de material corrosivo.	Cuidado na estocagem em locais de muita umidade e calor; proteger contra a oxidação quando a parada for muito longa.

15 DADOS TÉCNICOS

	Página
15.1 DESVIO AXIAL DOS ROLAMENTOS	A128 ~ A129
(1) Desvio Axial e Ângulo de Contato dos Rolamentos Fixos de Esferas e dos Rolamentos de Esferas de Contato Angular	A128 ~ A129
(2) Desvio Axial e Carga Axial dos Rolamentos de Rolos Cônicos	A128 ~ A129
15.2 AJUSTE	A130 ~ A133
(1) Pressão na Superfície Ajustada; Tensão Máxima; Expansão e Contração do Diâmetro da Pista	A130 ~ A131
(2) Folga e Interferência Relativa ao Ajuste entre o Eixo e o Anel Interno	A130 ~ A131
(3) Folga e Interferência Relativa ao Ajuste entre o Alojamento e o Anel Externo	A130 ~ A133
15.3 FOLGA INTERNA RADIAL E AXIAL	A132 ~ A133
(1) Folga Interna Radial e Axial dos Rolamentos Fixos de uma Carreira de Esferas	A132 ~ A133
(2) Folga Interna Radial e Axial dos Rolamentos de Duas Carreiras de Esferas de Contato Angular	A132 ~ A133
15.4 PRÉ-CARGA E MOMENTO DE ATRITO DE PARTIDA	A134 ~ A135
(1) Carga Axial e Momento de Atrito de Partida dos Rolamentos de Rolos Cônicos	A134
(2) Pré-carga e Momento de Atrito de Partida dos Rolamentos de Esferas de Contato Angular e dos Rolamentos Axiais de Esferas de Contato Angular de Escora Dupla	A134 ~ A135
15.5 COEFICIENTE DE ATRITO E OUTROS DADOS DOS ROLAMENTOS	A136 ~ A137
(1) Tipos de Rolamentos e o Coeficiente de Atrito	A136
(2) Velocidade Periférica da Rotação e Circulação dos Corpos Rolantes	A136
(3) Folga Interna Radial e Vida de Fadiga	A136 ~ A137
15.6 DESIGNAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DE GRAXAS LUBRIFICANTES	A138 ~ A141

UNIDADE E DEFINIÇÃO DOS SÍMBOLOS

Símbolo	Definição	Unidade
a	1/2 do Eixo Maior da Elipse de Contato	(mm)
b	1/2 do Eixo Menor da Elipse de Contato	(mm)
C_r	Capacidade de Carga Básica Dinâmica dos Rolamentos Radiais	(N) {kgf}
C_{or}	Capacidade de Carga Básica Estática dos Rolamentos Radiais	(N) {kgf}
d	Diâmetro do Eixo, Diâmetro Nominal do Furo de Rolamento	(mm)
D	Diâmetro do Furo de Alojamento, Diâmetro Nominal do Externo de Rolamento	(mm)
D_e	Diâmetro da Pista do Anel Externo	(mm)
D_i	Diâmetro da Pista do Anel Interno	(mm)
D_o	Diâmetro Externo de Alojamento	(mm)
D_{pw}	Diâmetro de Passo dos Corpos Rolantes	(mm)
D_w	Diâmetro Nominal dos Corpos Rolantes	(mm)
e	Posição de Contato do Rebordo e a Face Lateral do Rolo Cônico	(mm)
E	Módulo de Elasticidade (Aço para Rolamento) 208 000 Mpa (21 200 kgf/mm ²)	
$E(k)$	Cálculo integral duplo da elipse perfeita, tendo o k como parâmetro $k = \sqrt{1 - \left(\frac{b}{a}\right)^2}$	
$f(\epsilon)$	Função de ϵ	
F_a	Carga Axial, Pré-carga	(N) {kgf}
F_r	Carga Radial	(N) {kgf}
h	D_e / D	
h_o	D / D_o	
k	d / D_i	
K	Constante determinada pela construção interna do rolamento	
L	Vida de Fadiga relativa à Folga Efetiva 0	
L_{we}	Comprimento Efetivo de Rolo	(mm)
L_e	Vida de Fadiga relativa à Folga Efetiva Δ	
m_o	Distância entre Centros da Curvatura da Pista dos Anéis Interno e Externo $i_i + r_e - D_w$	(mm)
M	Momento de Atrito de Partida	(N.mm) {kgf.mm}
M_s	Momento de Rotação	(N.mm) {kgf.mm}
n_a	Rotação dos Corpos Rolantes	(rpm)

Símbolo	Definição	Unidade
n_c	Circulação dos Corpos Rolantes, Rotação da Gaiola	(rpm)
n_e	Rotação do Anel Externo	(rpm)
n_i	Rotação do Anel Interno	(rpm)
P_m	Pressão na Superfície Ajustada	(MPa) {kgf/mm ² }
P	Carga no Rolamento	(N) {kgf}
Q	Carga no Corpo Rolante	(N) {kgf}
r_e	Raio da Curvatura da Pista do Anel Externo	(mm)
r_i	Raio da Curvatura da Pista do Anel Interno	(mm)
v_a	Velocidade Periférica da Rotação dos Corpos Rolantes	(m/sec)
v_c	Velocidade Periférica da Circulação dos Corpos Rolantes	(m/sec)
Z	Número de Corpos Rolantes por Carreira	
α	Ângulo de Contato (Quando a carga axial estiver aplicada no Rolamento Radial de Esferas)	(°)
α_o	Ângulo de Contato Inicial (Geométrico) (Quando os anéis interno e externo do Rolamento de Esferas de Contato Angular estiverem apoiados axialmente)	(°)
α_R	Ângulo de Contato Inicial (Geométrico) (Quando os anéis interno e externo do Rolamento de Esferas de Contato Angular estiverem apoiados radialmente)	(°)
β	1/2 do Ângulo de Conicidade do Rolo	(°)
δ_a	Desvio Relativo do Anel Interno e Externo na Direção Axial	(mm)
Δ_a	Folga Interna Axial	(mm)
Δd	Interferência Efetiva entre o Anel Interno e o Eixo	(mm)
Δ_r	Folga Interna Radial	(mm)
ΔD	Interferência Efetiva entre o Anel Externo e o Alojamento	(mm)
ΔD_e	Contração do Diâmetro da Pista do Anel Externo devido ao Ajuste	(mm)
ΔD_i	Expansão do Diâmetro da Pista do Anel Interno devido ao Ajuste	(mm)
ϵ	Proporção de Distribuição da Carga	
μ	Coeficiente de Atrito dos Rolamentos	
μ_e	Coeficiente de Atrito entre o Rebordo e a Face Lateral do Rolo	
μ_s	Coeficiente de Atrito de deslizamento na superfície de contato	
σ_{tmax}	Tensão Máxima na Superfície Ajustada	(MPa) {kgf/mm ² }

15.1 Desvio Axial dos Rolamentos

(1) Desvio Axial δ_a e Ângulo de Contato α dos Rolamentos Fixos de Esferas e dos Rolamentos de Esferas de Contato Angular (Figuras 15.1 ~ 15.3)

$$\delta_a = \frac{0.00044}{\text{sen}\alpha} \left(\frac{Q^2}{D_w} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (\text{N})$$

$$\delta_a = \frac{0.002}{\text{sen}\alpha} \left(\frac{Q^2}{D_w} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (\text{kgf})$$

$$Q = \frac{F_a}{Z \text{sen}\alpha} \dots\dots\dots (\text{N}), (\text{kgf})$$

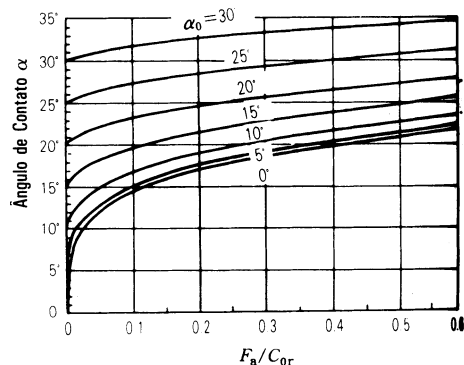


Fig. 15.1 F_a/C_{0r} e o Ângulo de Contato dos Rolamentos Fixos de Esferas

(2) Desvio Axial δ_a e Carga Axial F_a dos Rolamentos de Rolos Cônicos (Figura 15.4)

$$\delta_a = \frac{0.000077 F_a^{0.9}}{(\text{sen}\alpha)^{1.9} Z^{0.9} L_{we}^{0.8}} \dots\dots\dots (\text{N})$$

$$\delta_a = \frac{0.0006 F_a^{0.9}}{(\text{sen}\alpha)^{1.9} Z^{0.9} L_{we}^{0.8}} \dots\dots\dots (\text{kgf})$$

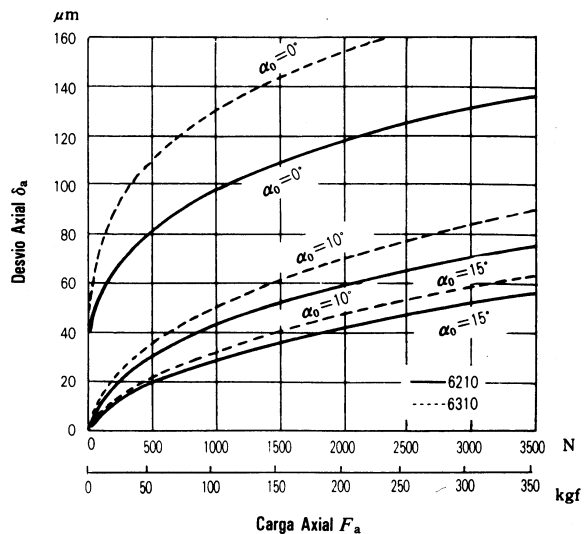


Fig. 15.2 Carga Axial e o Desvio Axial dos Rolamentos Fixos de Esferas

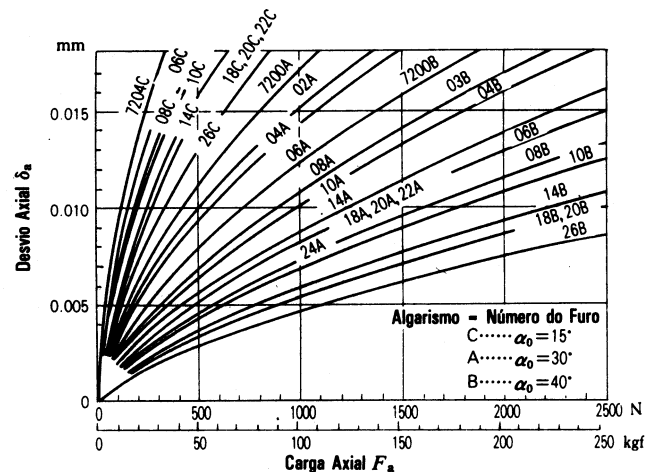


Fig. 15.3 Carga Axial e o Desvio Axial dos Rolamentos de Esferas de Contato Angular

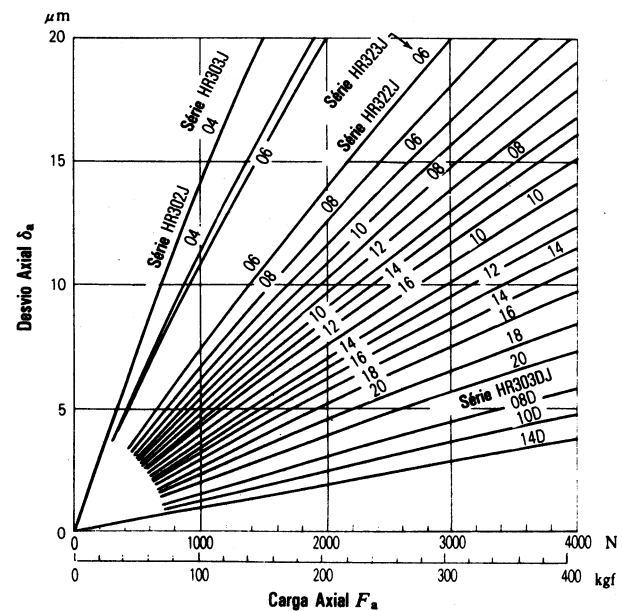


Fig. 15.4 Carga Axial e o Desvio Axial dos Rolamentos de Rolos Cônicos

15.4 Pré-carga e Momento de Atrito de Partida

(1) Carga Axial F_a e Momento de Atrito de Partida M dos Rolamentos de Rolos Cônicos (Figuras 15.9 e 15.10)

$$M = e\mu_e F_a \cos\beta \quad (\text{N}\cdot\text{mm}), \{\text{kgf}\cdot\text{mm}\}$$

O M devido a pré-carga passará para $2M$ nos rolamentos de mesmo número, quando dispostos em oposição.

(2) Pré-carga F_a e Momento de Atrito de Partida M dos Rolamentos de Esferas de Contato Angular e dos Rolamentos Axiais de Esferas de Contato Angular de Escora Dupla (Figuras 15.11 e 15.12)

$$M = M_s Z \sin\alpha \quad (\text{N}\cdot\text{mm}), \{\text{kgf}\cdot\text{mm}\}$$

Onde M_s é o momento de rotação

$$M_s = \frac{3}{8} \mu_s Q a E(k) \quad (\text{N}\cdot\text{mm}), \{\text{kgf}\cdot\text{mm}\}$$

O M devido a pré-carga passará para $2M$ nos rolamentos de mesmo número, quando dispostos em oposição.

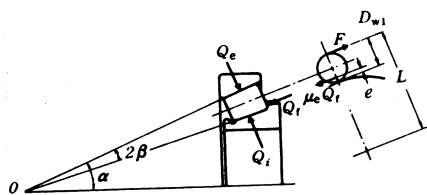


Fig. 15.9 Relação entre e e β

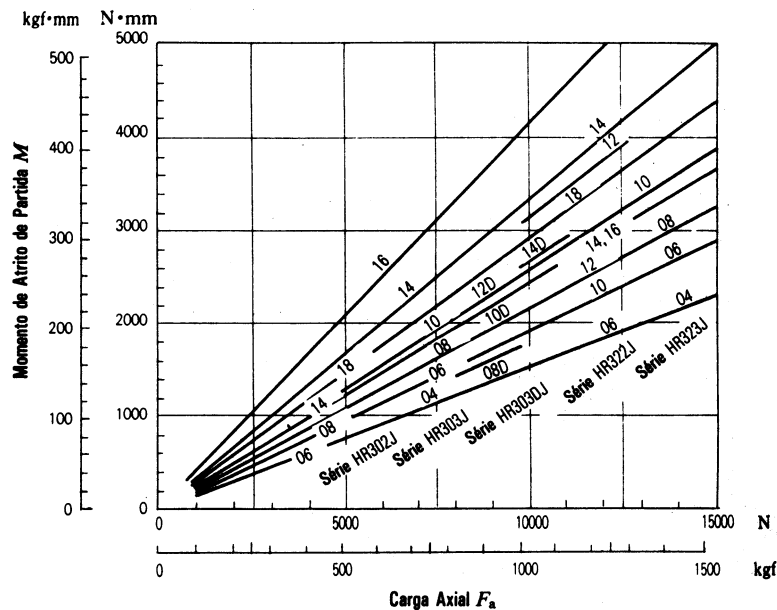


Fig. 15.10 Carga Axial e Momento de Atrito de Partida dos Rolamentos de Rolos Cônicos

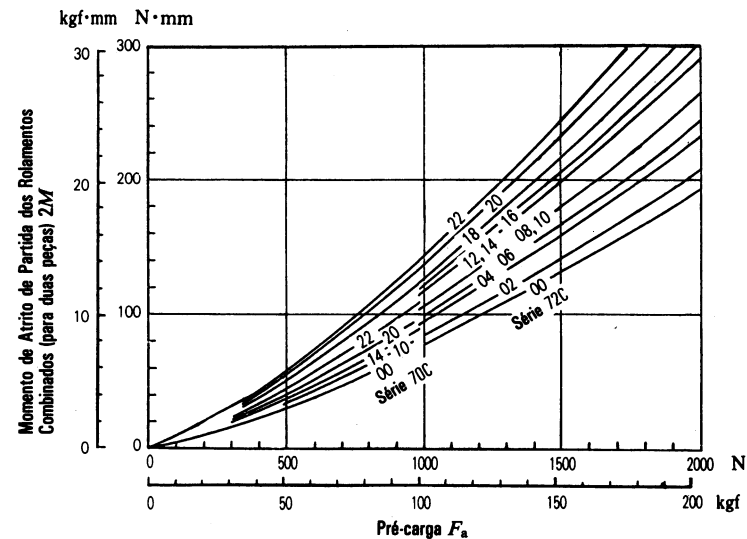


Fig. 15.11 Pré-carga e Momento de Atrito de Partida nas Disposições Costa a Costa ou Face a Face dos Rolamentos de Esferas de Contato Angular ($\alpha = 15^\circ$)

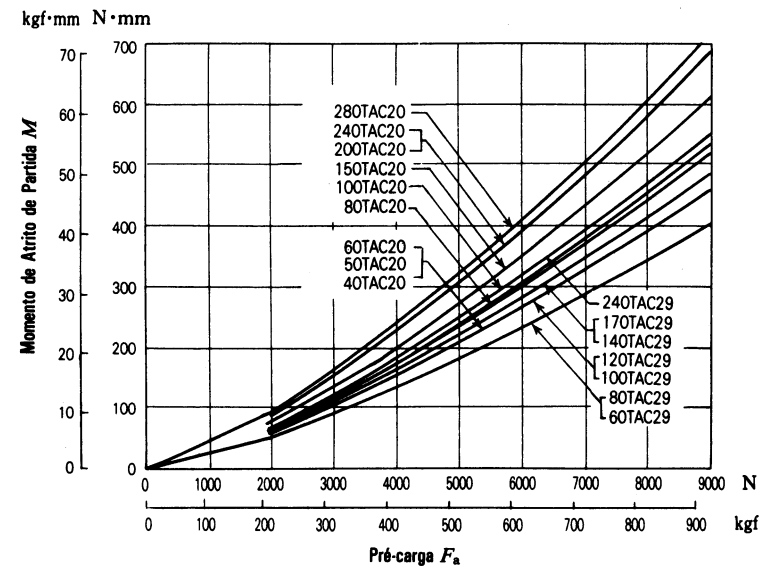


Fig. 15.12 Pré-carga e Momento de Atrito de Partida dos Rolamentos Axiais de Esferas de Contato Angular de Escora Dupla

15.5 Coeficiente de Atrito e Outros Dados dos Rolamentos

(1) Tipos de Rolamentos e o Coeficiente de Atrito μ

$$\mu = \frac{M}{P} \frac{d}{2}$$

Tabela 15.5 Coeficiente de Atrito

Tipos de Rolamentos	Valores Aproximados de μ
Rolamentos Fixos de Esferas	0.0013
Rolam. de Esferas de Contato Angular	0.0015
Rolam. Autocompensadores de Esferas	0.0010
Rolamentos Axiais de Esferas	0.0011
Rolamentos de Rolos Cilíndricos	0.0010
Rolamentos de Rolos Cônicos	0.0022
Rolam. Autocompensadores de Rolos	0.0028
Rolamentos de Rolos Agulha com Gaiola	0.0015
Rolamentos de Rolos Agulha sem Gaiola	0.0025
Rolam. Axiais Autocompensadores de Rolos	0.0028

(2) Velocidade Periférica da Rotação v_a e Velocidade Periférica da Circulação v_c dos Corpos Rolantes

Tabela 15.6 Velocidade Periférica da Rotação e Circulação dos Corpos Rolantes

Item	Anel Interno em Movimento e Anel Externo Parado	Anel Externo em Movimento e Anel Interno Parado
Rotação n_a (rpm)	$-\left(\frac{D_{pw}}{D_w} - \frac{\cos^2 \alpha}{D_{pw}/D_w}\right) \frac{n_i}{2}$	$+\left(\frac{D_{pw}}{D_w} - \frac{\cos^2 \alpha}{D_{pw}/D_w}\right) \frac{n_e}{2}$
Velocidade de Rotação Periférica v_a (m/sec)	$-\frac{\pi D_w}{60 \times 10^3} \left(\frac{D_{pw}}{D_w} - \frac{\cos^2 \alpha}{D_{pw}/D_w}\right) \frac{n_i}{2}$	$+\frac{\pi D_w}{60 \times 10^3} \left(\frac{D_{pw}}{D_w} - \frac{\cos^2 \alpha}{D_{pw}/D_w}\right) \frac{n_e}{2}$
Circulação n_c (rpm)	$+\left(1 - \frac{\cos \alpha}{D_{pw}/D_w}\right) \frac{n_i}{2}$	$+\left(1 + \frac{\cos \alpha}{D_{pw}/D_w}\right) \frac{n_e}{2}$
Velocidade de Circulação Periférica v_c (m/sec)	$-\frac{\pi D_{pw}}{60 \times 10^3} \left(1 - \frac{\cos \alpha}{D_{pw}/D_w}\right) \frac{n_i}{2}$	$+\frac{\pi D_{pw}}{60 \times 10^3} \left(1 + \frac{\cos \alpha}{D_{pw}/D_w}\right) \frac{n_e}{2}$

Observação

1. + indica rotação no sentido horário e - no sentido anti-horário.
2. A circulação e a velocidade periférica da circulação dos corpos rolantes, correspondem respectivamente, à rotação e à velocidade periférica da gaiola.

(3) Folga Interna Radial Δ_r e Vida de Fadiga L (Fig. 15.13)

As equações a seguir, podem ser formadas com a função $f(\epsilon)$ da proporção de distribuição da carga ϵ e a folga interna radial Δ_r :

Para Rolamentos Fixos de Esferas

$$f(\epsilon) = \frac{\Delta_r D_w^{1/3}}{0.00044 \left(\frac{F_r}{Z}\right)^{2/3}} \dots \dots \dots \text{(N)}$$

$$f(\epsilon) = \frac{\Delta_r D_w^{1/3}}{0.002 \left(\frac{F_r}{Z}\right)^{2/3}} \dots \dots \dots \text{{kgf}}$$

Para Rolamentos de Rolos Cilíndricos

$$f(\epsilon) = \frac{\Delta_r L_{we}^{0.8}}{0.000077 \left(\frac{F_r}{Z}\right)^{0.9}} \dots \dots \dots \text{(N)}$$

$$f(\epsilon) = \frac{\Delta_r L_{we}^{0.8}}{0.0006 \left(\frac{F_r}{Z}\right)^{0.9}} \dots \dots \dots \text{{kgf}}$$

A relação do $L\epsilon/L$ e $f(\epsilon)$ com a proporção de distribuição da carga ϵ para a folga interna radial Δ_r são indicadas na tabela 15.7.

Através das equações acima pode ser encontrado o $f(\epsilon)$, que permitirá conhecer o ϵ e $L\epsilon/L$.

Tabela 15.7 ϵ , $f(\epsilon)$ e $L\epsilon/L$

ϵ	Rolamentos Fixos de Esferas		Rolamentos de Rolos Cilíndricos	
	$f(\epsilon)$	$\frac{L\epsilon}{L}$	$f(\epsilon)$	$\frac{L\epsilon}{L}$
0.1	33.713	0.294	51.315	0.220
0.2	10.221	0.546	14.500	0.469
0.3	4.045	0.737	5.539	0.691
0.4	1.408	0.889	1.887	0.870
0.5	0	1.0	0	1.0
0.6	-0.859	1.069	-1.133	1.075
0.7	-1.438	1.098	-1.897	1.096
0.8	-1.862	1.094	-2.455	1.065
0.9	-2.195	1.041	-2.929	0.968
1.0	-2.489	0.948	-3.453	0.805
1.25	-3.207	0.605	-4.934	0.378
1.5	-3.877	0.371	-6.387	0.196
1.67	-4.283	0.276	-7.335	0.133
1.8	-4.596	0.221	-8.082	0.100
2.0	-5.052	0.159	-9.187	0.067
2.5	-6.114	0.078	-11.904	0.029
3	-7.092	0.043	-14.570	0.015
4	-8.874	0.017	-19.721	0.005
5	-10.489	0.008	-24.903	0.002
10	-17.148	0.001	-48.395	0.0002

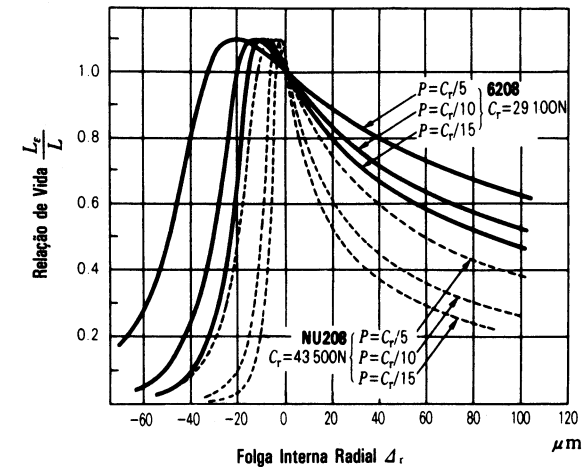


Fig. 15.13 Folga Interna Radial e a Relação da Vida

15.6 DESIGNAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DE GRAXAS LUBRIFICANTES

Tabela 15.8 Designação das Graxas Lubrificantes e Comparação das Características

Designação	Fabricante	Espessante	Óleo Básico	Ponto de Gota (°C)	Consistência	Temperatura de Operação (1) (°C)	Resistência à Pressão	Resistência à Água	Aplicabilidade do Lim. de Rotação das Tab. de Dimensões (2)(%)	
Daphene Coronex 2	Idemitsu Kosan	Lítio	Óleo Mineral	196	276	-10 ~ +110	Médio	Bom	60	
Daphene Coronex EP2		Lítio	Óleo Mineral	171	280	0 ~ +80	Bom	Bom	60	
Apploil Autorex A		Lítio	Óleo Mineral	192	288	-10 ~ +110	Médio	Bom	60	
Beacon 325	Esso	Lítio	Óleo Diéster	191	290	-55 ~ +100	Fraco	Bom	100	
Andok 260		Sódio	Óleo Mineral	210	250	0 ~ +130	Médio	Fraco	70	
Andok B		Complexo de Sódio	Óleo Mineral	245	280	-10 ~ +100	Médio	Fraco	70	
Andok C		Complexo de Sódio	Óleo Mineral	Acima de 260	205	0 ~ +100	Médio	Fraco	70	
Arapen RB 300		Lítio + Cálcio	Óleo Mineral	175	300	-10 ~ +80	Médio	Bom	70	
Isoflex Super LDS 18	Klüber	Lítio	Óleo Diéster	190	280	-50 ~ +110	Fraco	Bom	100	
Isoflex NBU 15		Complexo de Bário	Óleo Diéster + Óleo Mineral	250	280	-30 ~ +120	Fraco	Bom	100	
Isoflex Topas NB 52		Complexo de Bário	Óleo de Hidrocarboneto Sintético	258	280	-40 ~ +130	Fraco	Bom	90	
Staburags NBU 12		Complexo de Bário	Óleo Mineral	250	270	0 ~ +130	Médio	Bom	70	
Barrierta L 55/2		Complexo Halogenado	Óleo Fluorado	-	280	0 ~ +200	Médio	Bom	60	
Barrierta IMI		Complexo Halogenado	Óleo Fluorado	-	280	0 ~ +200	Médio	Bom	70	
NS Hilube	Kyodo Yushi	Lítio	Óleo Tetraéster + Óleo Diéster	190	255	-40 ~ +130	Fraco	Bom	100	
Multemp PS 2		Lítio	Óleo Diéster + Óleo Mineral	189	280	-50 ~ +160	Fraco	Bom	100	
Multemp SC-A		Uréia	Óleo de Hidrocarboneto Sintético	Acima de 260	280	0 ~ +160	Médio	Bom	60	
Multemp ET 150		Uréia	Eteroleo	Acima de 260	280	-10 ~ +160	Médio	Bom	70	
Oneluba MP 2		Lítio	Óleo Mineral	198	270	-10 ~ +110	Médio	Bom	70	
Adlex		Lítio	Óleo Mineral	198	300	0 ~ +110	Bom	Bom	70	
Palmax		Complexo de Cálcio	Óleo Mineral	180	300	0 ~ +110	Bom	Bom	70	
Emalube 1130		Uréia	Óleo Mineral	Acima de 260	300	-10 ~ +160	Bom	Bom	70	
Unilube DL 1		Lítio	Óleo Mineral	185	322	-10 ~ +100	Bom	Bom	70	
Alumix HD 1		Complexo de Alumínio	Óleo Mineral	247	335	0 ~ +120	Bom	Bom	60	
Dynamax 2		Cosmo Oil	Lítio	Óleo Mineral	201	270	-10 ~ +110	Médio	Bom	70
Dynamax EP 2			Lítio	Óleo Mineral	185	273	0 ~ +80	Bom	Bom	60
Motor Grease 29	Lítio		Óleo Mineral	188	240	-10 ~ +110	Médio	Bom	70	
Heat Resistance Grease B 2	Não-Sabão		Óleo Mineral	-	280	0 ~ +120	Médio	Bom	50	
Wide Grease WR 3	Terephtalamate de Sódio		Óleo Éster + Óleo Mineral	247	238	-40 ~ +130	Fraco	Fraco	100	
Alvania 2	Shell	Lítio	Óleo Mineral	182	277	-10 ~ +110	Médio	Bom	70	
Alvania 3		Lítio	Óleo Mineral	183	240	-10 ~ +110	Médio	Bom	70	
Alvania RA		Lítio	Óleo Mineral	183	252	-20 ~ +110	Fraco	Bom	70	
Alvania EP 2		Lítio	Óleo Mineral	185	276	0 ~ +80	Bom	Bom	60	
Sunlight 2		Lítio	Óleo Mineral	196	273	-10 ~ +100	Médio	Bom	70	
Dolium R		Políuréia	Óleo Mineral	238	281	-10 ~ +130	Médio	Bom	80	
Aeroshell 5		Microgel	Óleo Mineral	Acima de 260	282	0 ~ +120	Médio	Bom	70	
Aeroshell 7		Microgel	Óleo Diéster	Acima de 260	288	-55 ~ +100	Fraco	Bom	100	
Aeroshell 15A		Complexo Halogenado	Óleo de Silicose	234	294	-50 ~ +160	Fraco	Bom	60	

Notas

(continua na próxima página)

(1) Para aplicações em locais onde as temperaturas de operação estiverem próximas aos limites superiores ou inferiores indicados, favor consultar a NSK.

(2) Poderá ser usado acima deste limite, em casos de curto período de tempo e em casos de boas condições de resfriamento, se a relubrificação da graxa for adequada.

Designação	Fabricante	Espessante	Óleo Básico	Ponto de Gota (°C)	Consistência	Temperatura de Operação (1) (°C)	Resistência à Pressão	Resistência à Água	Aplicabilidade do Lim. de Rotação das Tab. de Dimensões (2)(%)	
G 40M	Shin-Etsu Chemical	Lítio	Óleo de Silcone	210	260	-30 ~ +160	Fraco	Bom	60	
G 30L		Lítio	Óleo de Silcone	210	300	-60 ~ +120	Fraco	Bom	60	
FG 721		Complexo Halogenado	Óleo Flúor Silcone	254	293	0 ~ +180	Médio	Bom	70	
Molykote FS 3451	Dow Corning	Complexo Halogenado	Óleo Flúor Silcone	Acima de 260	285	0 ~ +180	Médio	Bom	70	
Krytox 240AC	DuPont	Complexo Halogenado	Óleo Fluorado	-	282	0 ~ +200	Médio	Bom	70	
Krytox 283AC		Complexo Halogenado	Óleo Fluorado	-	229	0 ~ +200	Médio	Bom	70	
SH 44M	Toray Silicone	Lítio	Óleo de Silcone	210	260	-30 ~ +160	Fraco	Bom	60	
SH 33L		Lítio	Óleo de Silcone	210	300	-60 ~ +120	Fraco	Bom	60	
SH 41		Carbon Black	Óleo de Silcone	-	280	0 ~ +180	Fraco	Bom	40	
Nig Ace SL	Nippon Grease	Lítio	Óleo Tetraéster + Óleo Diéster	194	245	-40 ~ +130	Fraco	Bom	100	
Nippeco MP 2	Nippon Koyu	Lítio	Óleo Mineral	195	275	0 ~ +110	Médio	Bom	60	
Nippeco LLP		Lítio	Óleo Éster	198	231	-40 ~ +130	Fraco	Bom	100	
ENS	Nippon Oil	Uréia	Óleo Tetraéster	Acima de 260	276	-40 ~ +160	Fraco	Bom	100	
Multinoc Wide 2		Lítio + Terephtalamate de Sódio	Óleo Diéster + Óleo Mineral	215	280	-40 ~ +120	Fraco	Bom	100	
Multinoc De Luxe 2		Lítio + Terephtalamate de Sódio	Óleo Mineral	200	280	0 ~ +120	Médio	Bom	70	
Multinoc 2		Lítio	Óleo Mineral	200	280	-10 ~ +110	Médio	Bom	70	
Multinoc Urea		Uréia	Óleo Mineral	Acima de 260	290	-10 ~ +130	Médio	Bom	80	
Pyronoc 2		Uréia	Óleo Mineral	Acima de 260	280	0 ~ +130	Médio	Bom	70	
Pyronoc Universal		Uréia	Óleo Mineral	Acima de 260	280	0 ~ +130	Médio	Bom	70	
Epnoc 2		Lítio	Óleo Mineral	180	288	0 ~ +80	Bom	Bom	70	
Diamond Multipurpose 2		Mitsubishi Oil	Lítio	Óleo Mineral	192	278	-10 ~ +110	Médio	Bom	70
Mobilux 2		Mobil Oil	Lítio	Óleo Mineral	190	280	-10 ~ +110	Médio	Bom	70
Mobilgrease 22	Lítio		Óleo Éster + Óleo Mineral	192	274	-40 ~ +120	Fraco	Bom	100	
Mobilplex 47	Complexo de Cálcio		Óleo Mineral	Acima de 260	280	-10 ~ +100	Médio	Bom	60	
Mobilgrease 28	Bentonita		Óleo de Hidrocarboneto Sintético	Acima de 260	280	-40 ~ +140	Médio	Bom	70	

Notas

(1) Para aplicações em locais onde as temperaturas de operação estiverem próximas aos limites superiores ou inferiores indicados, favor consultar a NSK.

(2) Poderá ser usado acima deste limite, em casos de curto período de tempo e em casos de boas condições de resfriamento, se a relubrificação da graxa for adequada.