

## 11. Lubrificação

### 11.1 Propósito lubrificação

O propósito da lubrificação dos rolamentos é prevenir o contato metálico direto entre os corpos rolantes e as pistas. Isto se consegue através da formação de uma película fina de óleo ou graxa sobre as superfícies de contato. Entretanto, para os rolamentos a lubrificação tem as seguintes vantagens:

- (1) **Redução do atrito e do desgaste**
- (2) **Dissipação do calor por atrito**
- (3) **Vida do rolamento prolongada**
- (4) **Prevenção contra a oxidação**
- (5) **Proteção contra elementos nocivos**

Para alcançar os efeitos mencionados acima, deve ser selecionado o método de lubrificação mais eficiente para as condições de funcionamento. Adicionalmente, um lubrificante confiável e de boa qualidade deve ser escolhido.

Outro requerimento, é o tipo efetivo de estrutura vedante que previna a invasão de elementos nocivos (pó, água, etc.) para o interior do rolamento, que remova poeira e outras impurezas do lubrificante, e que previna a fuga de lubrificante para o exterior.

Quase todos os rolamentos utilizam o método de lubrificação por graxa ou por óleo, mas em algumas

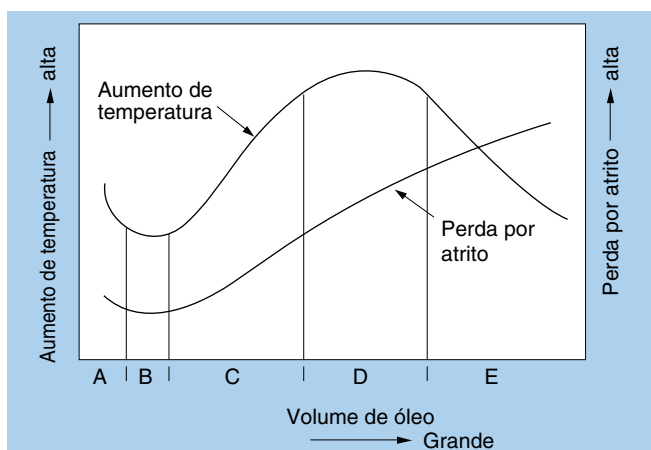


Fig. 11.1

Tabela 11.1 Volume de óleo, perda por atrito, temperatura do rolamento (veja Fig. 11.1)

Campo	Características	Método de lubrificação
A	Quando o volume de óleo está extremamente baixo, ocorre contato metálico direto entre os corpos rolantes e as superfícies das pistas. Ocorre a abrasão e o engripamento do rolamento.	—
B	Uma fina camada de óleo sobre todas as superfícies, a fricção é mínima e a temperatura é baixa.	Lubrificação com graxa, mistura de óleo, lubrificação ar-óleo
C	Conforme aumenta o volume de óleo, o aumento do calor é balanceado pela refrigeração	Lubrificação por circulação
D	Apesar do volume de óleo, a temperatura aumenta numa taxa fixa.	Lubrificação por circulação
E	Conforme o volume de óleo aumenta, a refrigeração predomina e a temperatura do rolamento diminui.	Lubrificação com circulação forçada, lubrificação com jato de óleo

aplicações especiais um lubrificante sólido como o disulfeto de molibdênio ou grafite podem ser utilizados. A **figura 11.1** mostra a relação entre o volume de óleo, perda por atrito e temperatura do rolamento. A **tabela 11.1** detalha as características desta relação.

### 11.2 Métodos e características de lubrificação

Existem dois métodos básicos de lubrificação: Por óleo e por graxa. Deve-se tomar cuidado para selecionar um destes a partir das condições de funcionamento.

As características estão listadas na **tabela 11.2**.

Tabela 11.2 Comparação da lubrificação com graxa e óleo

Método	Lubrificação com graxa	Lubrificação com óleo
Em relação		
Manutenção	◎	△
Confiabilidade	○	◎
Efeito de refrigeração	×	○ (Circulação necessária)
Estrutura da vedação	○	△
Perda de força	○	○
Contaminação do meio ambiente	○	△
Altas rotações	×	○

◎ : Muito bom ○ : bom △ : razoável × : pobre

### 11.3 Lubrificação com graxa

Os lubrificantes tipo graxa, são relativamente fáceis de manusear e requerem somente os mais simples dos dispositivos de vedação; por estas razões, a graxa é o lubrificante mais amplamente utilizado nos rolamentos.

#### 11.3.1 Tipos e características das graxas

As graxas lubrificantes são compostas de uma base de óleo mineral ou de uma base de óleo sintético. A estas bases são acrescentados espessantes e outros aditivos. As propriedades de todas as graxas lubrificantes são determinadas, principalmente pelo tipo de óleo base utilizado, e pela combinação do espessante e os vários aditivos.

A **tabela 11.5** lista as graxas e suas características e a **tabela 11.6** mostra os fabricantes das graxas, as marcas e suas naturezas (ver **páginas A-74 e A-75**). Como as características de comportamento dos mesmos tipos de graxa variam amplamente segundo as diferentes marcas, é melhor verificar as especificações dos fabricantes quando se está selecionando uma graxa.

#### (1) Óleo base

O óleo mineral natural, ou óleos sintéticos tais como óleo diester, óleo de silicone e óleo de fluorcarbono, são utilizados como óleos base para a graxa.

As propriedades de qualquer graxa são determinadas principalmente pelas do óleo base. Geralmente, as graxas com óleo base de baixa viscosidade são mais apropriadas para temperaturas baixas e altas rotações, enquanto que as graxas feitas com óleo base de alta viscosidade se adaptam melhor para cargas pesadas.

**(2) Espessantes**

Os espessantes são combinados com óleos bases para manter o estado semi-sólido das graxas. Os espessantes são formados por dois tipos de bases; sabão metálico e livre de sabão. Os espessantes com base de sabão metálico incluem: lítio, sódio, cálcio, etc.

Os espessantes com base livre de sabão são divididos em dois grupos: inorgânicos (sílica gel, bentonite, etc.) e orgânicos (poli-uréia, fluorcarbono, etc.).

As características especiais de uma graxa, tais como o campo limite de temperatura, a estabilidade mecânica, a resistência à água, etc., dependem em grande parte do tipo do espessante utilizado. Por exemplo, uma graxa com base de sódio é geralmente de baixa resistência à água enquanto que as graxas que utilizam bentonite (silicato de alumínio), poli-uréia e outros sabões não metálicos como espessantes, tem geralmente propriedades superiores em condições de alta temperatura.

**(3) Aditivos**

Com o objetivo de melhorar as propriedades e a eficiência das graxas, são acrescentados vários tipos de aditivos. Por exemplo, existem anti-oxidantes, aditivos de alta pressão (aditivos EP), inibidores da ferrugem, e anti-corrosivos.

Em rolamentos submetidos a cargas pesadas e/ou cargas de choque, deve-se utilizar graxas que contenham aditivos para alta pressão. Para altas temperaturas de funcionamento, ou em aplicações onde a graxa não pode ser trocada durante longos períodos de tempo, é melhor utilizar uma graxa com um estabilizante antioxidante.

**(4) Consistência**

A consistência de uma graxa indica sua rigidez e liquidez, sendo expressa por um índice numérico.

Os valores NLGI para este índice, indicam a suavidade relativa da graxa; quanto maior for este número, mais espessa é a graxa. A consistência de uma graxa é determinada pela quantidade de espessante utilizado e, a viscosidade do óleo base. Para a lubrificação dos rolamentos se utilizam graxas com os números de consistência NLGI 1,2 e 3.

Na **tabela 11.3** estão listadas as relações gerais entre a consistência e a aplicação da graxa.

**(5) Mistura das graxas**

Quando se misturam graxas de diferentes classes, a consistência das graxas se modificará (usualmente se suavizam), o campo de temperatura de funcionamento será reduzido e ocorrerão outras modificações nas características. Como regra geral, não se deve misturar graxas com diferentes óleos base, nem graxas com espessantes diferentes.

Adicionalmente, as graxas de diferentes marcas não devem ser misturadas devido aos diferentes aditivos que elas contém.

Entretanto, se graxas diferentes devem ser misturadas, ao menos devem ser escolhidas aquelas que contenham o mesmo óleo base e espessante. Mais ainda, mesmo quando se misturam graxas com o mesmo óleo base e espessante, a qualidade da mesma pode modificar devido a diferença dos aditivos.

Por estes motivos, as mudanças na consistência e outras qualidades devem ser verificadas antes da aplicação.

**Tabela 11.3 Consistência da graxa**

Consistência NLGI	Penetração trabalhada JIS (ASTM)	Aplicações
0	355~385	Para uso em sistemas de engraxamento centralizado
1	310~340	Para uso em sistemas de engraxamento centralizado
2	265~295	Para uso em geral e rolamentos vedados
3	220~250	Para uso em geral e em altas temperaturas
4	175~205	Para aplicações especiais

**11.3.2 Quantidade de graxa**

Em qualquer situação, a quantidade de graxa utilizada dependerá de muitos fatores relacionados com o tamanho e forma do alojamento, limitações de espaço, rotação do rolamento e o tipo de graxa utilizada.

Como regra geral, os alojamentos e os rolamentos devem ser engraxados somente com 30% a 60% e 30% a 40% de seu espaço, respectivamente.

Quando as rotações são altas e as elevações de temperatura necessitam ser mantidas em um mínimo, deve-se utilizar uma quantidade reduzida de graxa.

**Uma quantidade excessiva de graxa causaria aumentos de temperatura, os quais por sua vez, suavizariam a graxa, podendo gerar vazamentos. Com excesso de graxa pode ocorrer oxidação e deterioração, reduzindo a eficiência da lubrificação.**

Mais ainda, o espaço padrão do rolamento pode ser determinado pela equação (11.1)

$$V = K \cdot W \dots\dots\dots (11.1)$$

onde,

*V* : Quantidade de espaço do rolamento tipo aberto (aprox.), cm<sup>3</sup>

*K* : Fator de espaço do rolamento (**Tabela 11.4**)

*W* : Massa do rolamento, kg

**Tabela 11.4 Fator de espaço do rolamento**

Tipo de rolamento	Tipo de gaiola	<i>K</i>
Rolamentos de esferas ❶	Gaiola prensada	61
Rolamentos de rolos cilíndricos tipo NU ❷	Gaiola prensada	50
	Gaiola torneada	36
Rolamentos de rolos cilíndricos tipo N ❸	Gaiola prensada	55
	Gaiola torneada	37
Rolamentos de rolos cônicos	Gaiola prensada	46
Rolamentos de rolos esféricos	Gaiola prensada	35
	Gaiola torneada	28

❶ Exceto série 160.

❷ Exceto série NU4.

❸ Exceto série N4.

Tabela 11.5 Variedades e características da graxa

Tipo de graxa	Graxa de lítio			Graxa de sódio (graxa de fibra)	Graxa composta de base de cálcio
<b>Espessante</b>	Sabão de lítio (Li)			Sabão de sódio (Na)	Sabão de sódio + cálcio (Na + Ca) Sabão de cálcio + lítio (Ca + Li)
<b>Óleo base</b>	Óleo mineral	Óleo diester	Óleo de silicone	Óleo mineral	Óleo mineral
<b>Ponto de gota °C</b>	170 ~ 190	170 ~ 190	200 ~ 250	150 ~ 180	150 ~ 180
<b>Campo de aplicação °C</b>	-30 ~ +130	-50 ~ +130	-50 ~ +160	-20 ~ +130	-20 ~ +120
<b>Estabilidade mecânica</b>	Excelente	Bom	Bom	Excelente ~ Bom	Excelente ~ Bom
<b>Resistência à pressão</b>	Bom	Bom	Pobre	Bom	Excelente ~ Bom
<b>Resistência à água</b>	Bom	Bom	Bom	Bom ~ Pobre	Bom ~ Pobre
<b>Aplicações</b>	<p>Maior campo de aplicação.</p> <p>Graxa utilizada em todos os tipos de rolamentos.</p>	<p>Excelente a baixas temperaturas e características de desgaste.</p> <p>Apropriado para rolamentos pequenos e miniatura.</p>	<p>Apropriado para altas e baixas temperaturas.</p> <p>Não apropriado em aplicações com altas cargas em função da baixa resistência do filme de óleo</p>	<p>Parte da graxa se emulsiona quando se mistura com água.</p> <p>Excelentes características em temperaturas relativamente altas.</p>	<p>Excelente resistência à pressão e estabilidade mecânica.</p> <p>Apropriado para rolamentos que recebem cargas de choque.</p>

Tabela 11.6 Marcas de graxas e sua natureza

Fabricante	Graxa	Código NTN	Espessante	Óleo base
Showa Shell Sekiyu	Alvania S2	2AS	Lítio	Mineral
	Alvania S3	3AS	Lítio	Mineral
	Alvania RA	4A	Lítio	Mineral
	Alvania EP 2	8A	Lítio	Mineral
	Aero Shell 7	5S	Microgel	Diester
Kyodo Yushi	Multemp DS No. 2	1K	Diester	Diester
	Multemp SRL	5K	Lítio	Tetraesterdiester
	E5	L417	Urea	Éter
Esso Sekiyu	Temprex N3 / Unilex N3	2E	Complex Li	Hidrocarboneto sintético
	Beacon 325	3E	Lítio	Diester
NOK Kluber	Isoflex Super LDS 18	6K	Lítio	Diester
	Barrierta JFE552	LX11	Fluoride	Fluoreto
	Graxa J	L353	Urea	Ester
Toray Dow Corning, Silicone	SH33L	3L	Lítio	Methyl pheny
	SH44M	4M	Lítio	Methyl pheny
Nippon Oil	Multi Nok wide No. 2	6N	Sódio Lítio	Diester mineral
	U-4	L412	Urea	Hidrocarboneto sintético + dialkyldiphenyl ether
Nihon Grease	MP-1	L448	Diurea	PAO + ester
Idemitsu Kosan	Apolo Autolex A	5A	Lítio	Mineral
Mobil Sekiyu	Móbil 28	9B	Bentone	Hidrocarboneto sintético
Cosmo Oil	Cosmo Wide WR3	2M	Na terephthalate	Diester mineral
Daikin	Demnum L200	LX23	PTFE	Fluoreto

Nota: Para maiores informações, consultar catálogo do fabricante.

Graxa de alumínio	Graxa com base não saponificante	
Sabão de alumínio	Bentone, sílica gel, uréia, carbono negro, componentes de flúor, etc.	
Óleo mineral	Óleo mineral	Óleo sintético
70 ~ 90	250 ou acima	250 ou acima
-10 ~ +80	-10 ~ +130	-50 ~ +200
Bom ~ Pobre	Bom	Bom
Bom	Bom	Bom
Bom	Bom	Bom
Excelentes características de viscosidade. Apropriado para rolamentos sujeitos à vibrações.	<p>Pode ser usado num amplo campo de temperaturas baixas até altas.</p> <p>Mostra excelentes resistência ao calor, resistência ao frio, resistência química, e outras características quando misturado com óleo base e espessante apropriados.</p> <p>Graxa utilizada em todos os tipos de rolamentos.</p>	

Viscosidade do óleo base	Consistência	Ponto de gota °C	Temperatura de operação °C	Cor	Características
37.8°C 140mm²/s	273	181	-25~120	Ambar	Uso geral
37.8°C 140mm²/s	232	183	-25~135	Ambar	Uso geral
37.8°C 45mm²/s	252	183	-40~120	Ambar	Baixa temperatura
98.9°C 15.3mm²/s	276	187	-20~110	Marrom	Uso geral – alta pressão
98.9°C 3.1mm²/s	288	Min. 260	-73~149	Amarelo-escura	MIL-G-23827
37.8°C 15.3mm²/s	265~295	190	-55~130	Branca	Alta temperatura e baixo torque
40°C 26mm²/s	250	192	-40~150	Branca	Faixa ampla
40°C 72.3mm²/s	300	240	-30~180	Branca	Alta temperatura
40°C 113mm²/s	220~250	Min. 300	-30~160	Verde	Alta temperatura
40°C 11.5mm²/s	265~295	177	-60~120	Marrom	Baixa temperatura e baixo torque
40°C 16.0mm²/s	265~295	Min. 180	-60~130	Amarelo-esverdeada	Baixa temperatura e baixo torque
40°C 400mm²/s	290	—	-35~250	Branca	
40°C 75mm²/s	—	280	-20~180	Cinza-clara	Alta temperatura
25°C 100mm²/s	300	200	-70~160	Vermelho claro acinzentado	Baixa temperatura
40°C 32mm²/s	260	210	-40~180	Marrom	Alta temperatura
37.8°C 30.9mm²/s	265~295	215	-40~135	Marrom clara	Faixa ampla
40°C 58mm²/s	255	260	-40~180	Branco leite	Alta temperatura
40°C 40.6mm²/s	243	254	-40~150	Marrom clara	Faixa ampla
37.8°C 50mm²/s	265~295	192	-25~150	Amarelo	Uso geral
40°C 28mm²/s	315	Min. 260	-62~177	vermelho	MIL-G-81322C Faixa ampla
37.8°C 30.1mm²/s	265~295	Min. 230	-40~150	Marrom clara	Faixa ampla
40°C 200mm²/s	280	—	-60~300	Branco	

### 11.3.3 Relubrificação com graxa

Como a eficiência da lubrificação com graxa diminui com o passar do tempo, deve-se administrar graxa nova a intervalos de tempo regulares. O intervalo de reengraxamento depende do tipo, tamanho, rotação, e temperatura do rolamento, e do tipo de graxa utilizado. Como uma referência de fácil uso, a **figura 11.2** ilustra um diagrama para o cálculo dos intervalos de reengraxamento.

Este diagrama indica o intervalo de relubrificação para rolamentos normalizados utilizados em condições normais de funcionamento.

O intervalo de relubrificação deve ser encurtado na medida em que a temperatura de funcionamento aumenta.

Geralmente, para cada 10 °C de aumento da temperatura do rolamento acima de 80 °C, o intervalo de relubrificação é reduzido com o expoente "1/1.5".

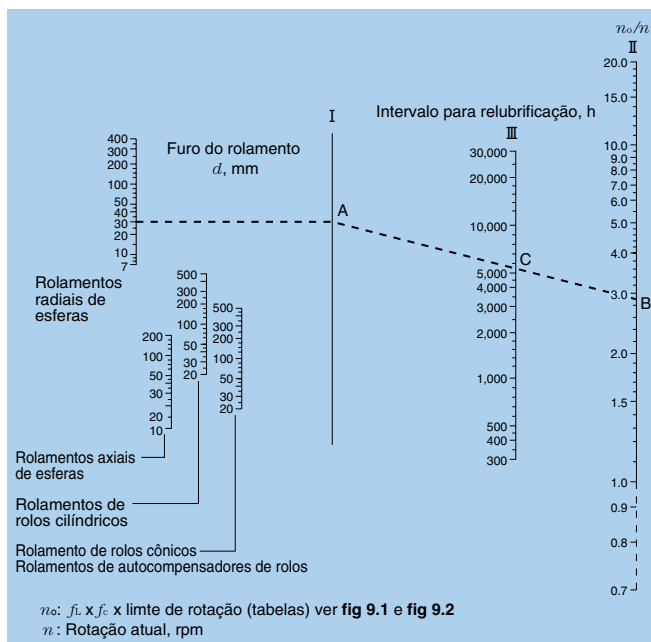


Fig. 11.2 Diagrama para o intervalo de relubrificação com graxa

#### (Exemplo)

Encontre o tempo limite para a relubrificação com graxa para um rolamento rígido de esferas 6206, com uma carga radial de 2.0 kN, operando a 3,600 rpm.

$C_r / P_r = 19.5 / 2.0 \text{ kN} = 9.8$ , da **figura 9.1** a carga ajustada,  $f_i$ , é 0.96.

Da tabela dos rolamentos, a rotação permissível para um rolamento 6206 é 11,000 rpm e o número de revoluções permissível a uma carga de 2.0 kN é

$$n_o = 0.96 \times 11,000 = 10,560 \text{ rpm}$$

$$\text{portanto, } \frac{n_o}{n} = \frac{10,560}{3,600} = 2.93$$

Utilizando o gráfico da **figura 11.2**, encontre o ponto correspondente ao diâmetro interno  $d = 30$  (da tabela de rolamentos), sobre a linha vertical para rolamentos radiais de esferas. Trace uma linha reta horizontal até a

linha vertical I. Então, trace uma linha reta desde este ponto (A no exemplo) até o ponto sobre a linha II que corresponde ao valor  $n_o/n$  (2.93 no exemplo). O ponto C, aonde esta linha faz a interseção com a linha vertical III, indica o tempo do intervalo para a relubrificação em horas. Neste caso, a vida da graxa é aproximadamente de 5,500 horas.

### 11.4 Graxa sólida (para rolamentos com graxa sólida)

A "Graxa sólida" é um lubrificante composto basicamente por graxa lubrificante e um super polímero de polietileno. A graxa sólida tem a mesma viscosidade de uma graxa à temperatura normal, mas com a aplicação de um processo especial de tratamento térmico, esta graxa especial se solidifica retendo uma grande parcela do lubrificante dentro do rolamento. O resultado desta solidificação é que a graxa não vaza facilmente do rolamento, mesmo quando o rolamento está sendo submetido a fortes vibrações ou forças centrífugas.

Os rolamentos com graxa sólida estão disponíveis em duas versões: o tipo "spot-pack" no qual é injetada a graxa sólida dentro da gaiola, e o tipo "full-pack" no qual todo o espaço vazio ao redor dos corpos rolantes é preenchido com a graxa sólida.

A graxa sólida tipo "spot-pack" é padrão para os rolamentos rígidos de esferas, rolamentos de esferas de diâmetros pequenos, e unidades de rolamentos.

A graxa sólida tipo "full-pack" é padrão para os rolamentos Auto-compensadores de esferas, Autocompensadores de rolos, e rolamentos de agulhas.

Principais vantagens:

- (1) Meio ambiente de trabalho limpo com mínimo vazamento de graxa
- (2) Torque baixo com a graxa sólida tipo spot-pack

Para maiores detalhes, favor ver o catálogo NTN especial sobre **Rolamentos com graxa sólida**.

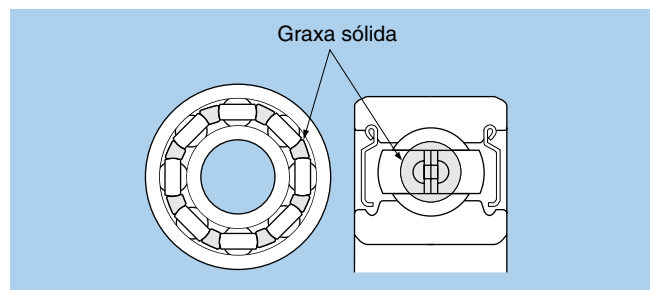


Fig. 11.3 Rolamentos rígidos de esferas com graxa sólida tipo "spot-pack" (blindagem Z) (Padrão para rolamentos rígidos de esferas)

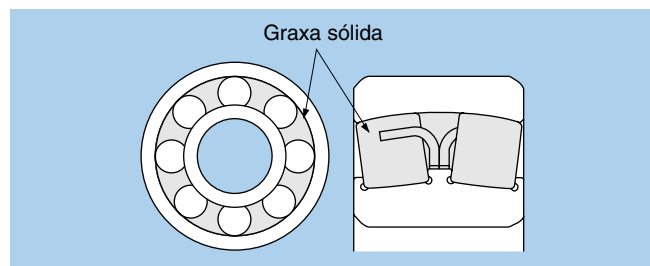


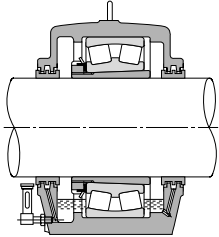
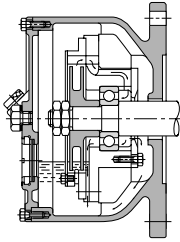
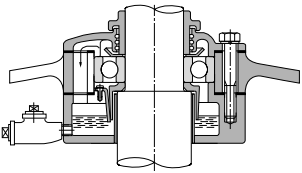
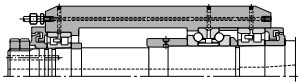
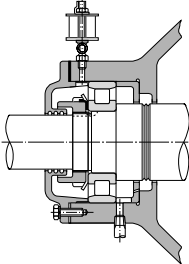
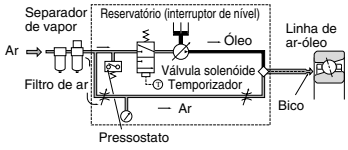
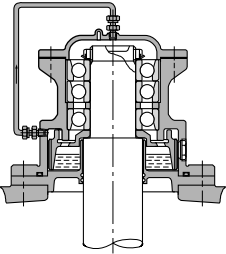
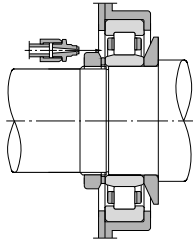
Fig. 11.4 Rolamentos autocompensadores de rolos com graxa tipo "full-pack" (Padrão para rolamentos autocompensadores de rolos)

**11.5 Lubrificação com óleo**

A lubrificação com óleo é conveniente em aplicações onde se requer que o calor gerado pelo rolamento, ou o calor proveniente de outras fontes aplicado sobre o

rolamento, seja extraído do mesmo e dissipado para fora. A **tabela 11.7** ilustra os métodos comumente utilizados na lubrificação com óleo.

**Tabela 11.7** Métodos de lubrificação com óleo

Método de lubrificação	Exemplo	Método de lubrificação	Exemplo
<p><b>(Lubrificação por banho de óleo)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A lubrificação por banho de óleo é o método mais comumente utilizado e é amplamente empregado em aplicações com baixas a moderadas rotações.</li> <li>• Em aplicações com eixos horizontais, o nível de óleo deverá ser mantido aproximadamente no centro do corpo rolante mais baixo, quando o rolamento está em repouso. Em eixos verticais com baixas rotações, o nível de óleo deverá manter entre 50% e 80 % dos corpos rolantes submersos.</li> </ul>		<p><b>(Lubrificação por disco)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Neste método, um disco parcialmente submerso gira em alta rotação, impulsionando o óleo para cima, para dentro de um reservatório de onde em seguida é drenado para baixo através do rolamento lubrificando-o.</li> </ul>	
<p><b>(Lubrificação por pulverização de óleo)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Neste método, um impulsor ou dispositivo semelhante montado sobre o eixo recolhe o óleo e pulveriza sobre o rolamento. Este método pode ser utilizado em rotações consideravelmente altas.</li> </ul>		<p><b>(Lubrificação por neblina de óleo)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizando ar comprimido, o óleo de lubrificação é atomizado antes de passar através do rolamento.</li> <li>• Em função da baixa resistência do lubrificante, este método é apropriado para aplicações com altas rotações.</li> </ul>	
<p><b>(Lubrificação por gotejamento)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Neste método, o óleo é coletado acima do rolamento e permitido o gotejamento para dentro do alojamento onde é vaporizado quando entra em contato com os corpos rolantes. Uma outra versão permite que somente pequenas quantidades de óleo passem através do rolamento.</li> <li>• Utilizado em rotações relativamente altas em aplicações com cargas leves até moderadas.</li> <li>• Na maioria dos casos, o volume de óleo é uma pequena quantidade de gotas por minuto.</li> </ul>		<p><b>(Lubrificação ar-óleo)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Neste método, a quantidade mínima requerida de lubrificação é medida e os rolamentos são alimentados individualmente em intervalos ideais de tempo utilizando-se ar-comprimido.</li> <li>• Com o constante envio de óleo fresco ao rolamento, e pelo efeito de resfriamento do ar-comprimido, o aumento de temperatura do rolamento pode ser mantido a um mínimo.</li> <li>• Em razão da quantidade de óleo se infinitesimal, o ambiente de trabalho pode ser mantido limpo. As unidades de lubrificação ar-óleo estão disponíveis na NTN.</li> </ul>	
<p><b>(Lubrificação por circulação)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizado em aplicações para o resfriamento de rolamentos ou para sistemas automáticos de lubrificação onde o suprimento de óleo é localizado centralmente.</li> <li>• Uma das vantagens deste método é que os dispositivos de resfriamento e filtros para manter a pureza do óleo podem ser instalados dentro do sistema.</li> <li>• Para que o óleo lubrifique perfeitamente o rolamento, as entradas e saídas devem ser instaladas em lados opostos do rolamento.</li> </ul>		<p><b>(Lubrificação por jato de óleo)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Este método lubrifica o rolamento por meio da injeção sob pressão do óleo lubrificante diretamente dentro do rolamento. Este é um sistema confiável para altas rotações altas temperaturas ou outras condições severas.</li> <li>• Utilizado para a lubrificação de rolamentos de motores a jato e turbinas a gás e outros equipamentos de altas rotações.</li> <li>• Lubrificação da pista inferior de máquinas ferramenta é um exemplo de aplicação deste método de lubrificação.</li> </ul>	

**11.5.1 Selção do óleo lubrificante**

Em condições normais de operação, os **óleos para fusos, óleos para máquinas, óleos para turbina, e** outros óleos minerais são largamente utilizados na lubrificação de rolamentos. Entretanto, para temperaturas **acima de 150 °C** ou **abaixo de -30 °C**, são empregados óleos sintéticos tais como óleo diester, **óleo de silicone, e óleo de fluorcarbono.**

Para óleos lubrificantes, a viscosidade é uma das propriedades mais importantes e determina a eficiência de um óleo. Se a viscosidade é muito baixa, a formação de um filme de óleo será insuficiente, e poderão ocorrer danos nas pistas do rolamento. Se a viscosidade é muito alta, a resistência viscosa também será alta e resultará num aumento de temperatura e perda por atrito. Em geral, em aplicações com altas rotações deve ser usado um óleo com baixa viscosidade; em aplicações com cargas pesadas deve-se usar um óleo com alta viscosidade.

Considerando a temperatura de operação, a **tabela 11.8** lista a viscosidade requerida para diferentes tipos de rolamentos.

A **figura 11.5** relaciona a viscosidade de óleo lubrificante com a temperatura (°C)

A **tabela 11.9** seleciona o padrão de óleo de acordo com as condições de operação.

**Tabela 11.8 Viscosidade requerida do óleo lubrificante para rolamentos**

Tipo de rolamento	Viscosidade dinâmica mm <sup>2</sup> /s
Rolamentos de esferas, rolamentos de rolos cilíndricos, rolamentos de agulhas	13
Rolamentos autocompensadores de rolos, rolamentos de rolos cônicos, rolamentos axiais de agulhas	20
Rolamentos axiais autocompensadores de rolos	30

**11.5.2 Quantidade de óleo**

Em sistemas forçados de lubrificação a óleo, o calor irradiado pelo alojamento e pelas partes adjacentes, mais o calor transportado pelo óleo lubrificante, é aproximadamente igual a quantidade de calor gerada pelos rolamentos e outras fontes de calor.

Em aplicações com alojamentos padronizados, a quantidade de óleo requerida pode ser obtida pela equação (11.2).

$$Q = K \cdot q \dots\dots\dots (11.2)$$

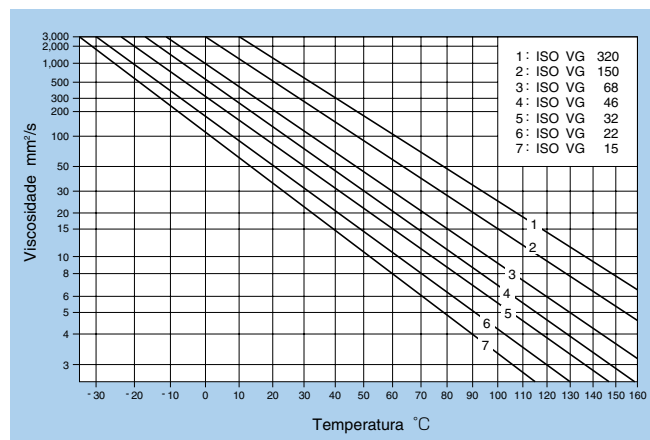
onde,

Q: Quantidade de óleo para 1 rolamento cm<sup>3</sup>/min.

K: Fator de aumento permissível da temperatura (tab. 11.10)

q: Quantidade mínima de óleo, cm<sup>3</sup>/min.. (fig. 11.6)

Como a quantidade de calor irradiado varia de acordo com o alojamento, para operação é recomendado que a quantidade de óleo seja calculada pela equação (11.2) e



**Fig. 11.5 Relação entre a viscosidade do lubrificante e a temperatura**

**Tabela 11.9 Seleção do padrão de óleo para lubrificação (referência)**

Temperatura de trabalho do rolamento °C	Valor dn	Grau de viscosidade ISO do óleo de lubrificação		Rolamento apropriado
		Carga normal	Carga pesada ou carga de choque	
-30 ~ 0	Até o nr. de rotações permissíveis	22, 32	46	Todos os tipos
0 ~ 60	Até 15,000	46, 68	100	Todos os tipos
	15,000 ~ 80,000	32, 46	68	Todos os tipos
	80,000 ~ 150,000	22, 32	32	Exceto rolamentos axiais de esferas
	150,000 ~ 500,000	10	22, 32	Rolamentos radiais de esferas de uma carreira, rolamentos de rolos cilíndricos
60 ~ 100	Até 15,000	150	220	Todos os tipos
	15,000 ~ 80,000	100	150	Todos os tipos
	80,000 ~ 150,000	68	100, 150	Exceto rolamentos axiais de esferas
	150,000 ~ 500,000	32	68	Rolamentos radiais de esferas de uma carreira, rolamentos de rolos cilíndricos
100 ~ 150	Até o nr. de rotações permissíveis	320		Todos os tipos
0 ~ 60	Até o nr. de rotações permissíveis	46, 68		Rolamentos autocompensadores de rolos
60 ~ 100	Até o nr. de rotações permissíveis	150		

Nota 1: Aplicado quando o método de lubrificação é por banho de óleo ou circulação de óleo.  
 2: Por favor consultar a engenharia da NTN onde as condições de operação estiverem fora da faixa da tabela.

**Tabela 11.10 Fator  $K$**

Temperatura do óleo expelido menos a temperatura do óleo fornecido °C	$K$
10	1.5
15	1
20	0.75
25	0.6

multiplicada por um fator de 1,5 a 2,0. A quantidade de óleo pode assim ser ajustada para corresponder à necessidade real de operação.

Além disso, para efeitos de cálculo, se é assumido que não há calor irradiado pelo alojamento e que todo o calor dos rolamentos é transportado pelo óleo, então o valor na **fig. 11.6** para o diâmetro do eixo  $d$  é assumido como zero, independente do diâmetro real do eixo.

**(Exemplo)** Para um rolamento de rolos cônicos **30220U**, montado sobre um eixo de volante com uma carga radial de 9,5 kN, que opera a 1.800 rpm, qual será a quantidade de óleo lubrificante necessária para manter o aumento de temperatura do rolamento abaixo de 15°C.

$$d = 100 \text{ mm},$$

$$dn = 100 \times 1,800 = 18 \times 10^4$$

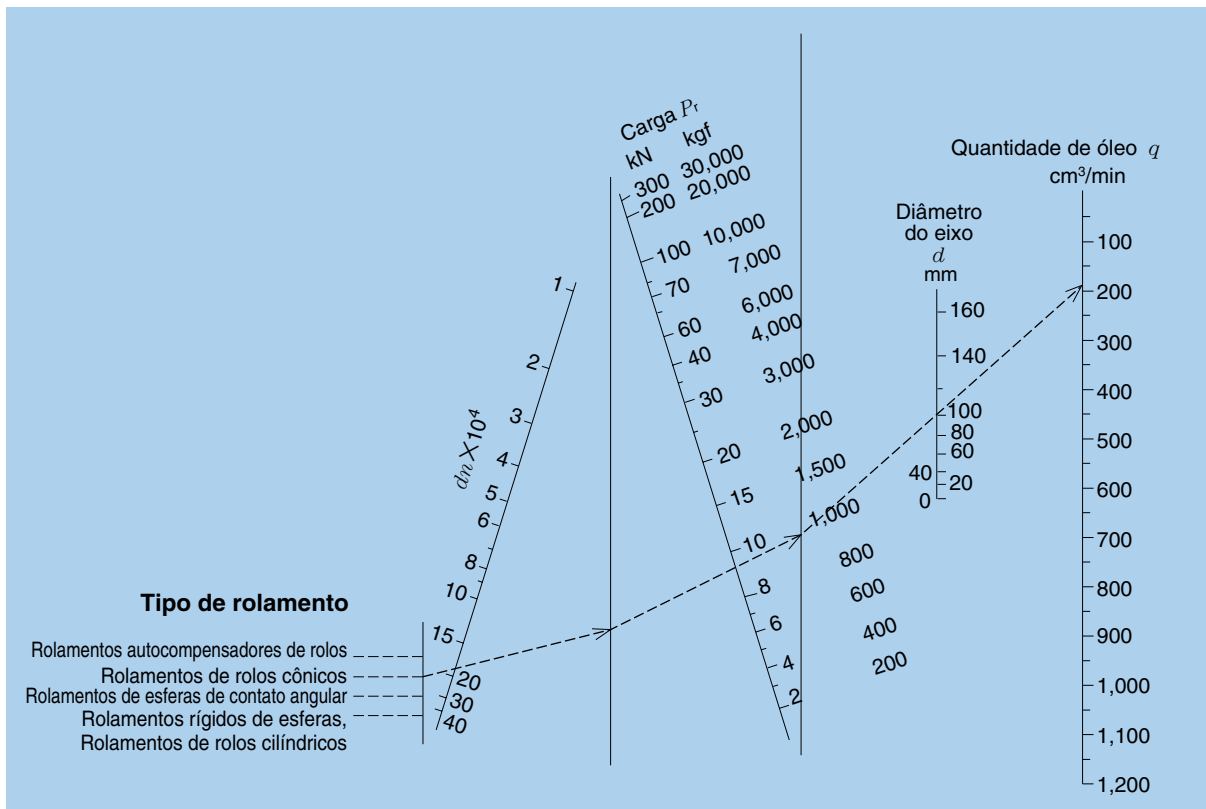
da **figura 11.6**  $q = 180 \text{ cm}^3 / \text{min}$

Assumindo que a temperatura do rolamento é aproximadamente igual a temperatura do óleo na saída, da **tabela 11.10**, desde de que  $K = 1$

$$Q = 1 \times 180 = 180 \text{ cm}^3 / \text{min}$$

**11.5.3 Intervalos de relubrificação**

O intervalo para a relubrificação dependerá das condições de operação, da quantidade de óleo e do tipo de óleo utilizado. Uma norma geral para lubrificação por banho de óleo, é que se a temperatura de funcionamento estiver abaixo de 50°C, o óleo deve ser substituído uma vez por ano. Para temperaturas de operação mais elevadas, entre 80°C e 100°C, o óleo deve ser substituído ao menos a cada três meses. Em casos de equipamentos importantes é aconselhável que a eficiência da lubrificação e a deterioração da pureza do óleo sejam verificadas em intervalos regulares, para se determinar quando deverá ser feita a substituição do óleo.



**Fig. 11.6 Cálculo da quantidade de óleo**