

## VIDA ÚTIL NOMINAL DO ROLAMENTO

Cálculo de vida de útil nominal estimada para rolamentos

A vida útil é essencialmente o tempo de trabalho que um rolamento pode oferecer em função das condições de trabalho predefinidas. Baseia-se principalmente no provável número total de revoluções que um rolamento pode completar antes de começar a apresentar ocorrência de escamamento que é definido como vida de fadiga ou simplesmente vida.

### O QUE DETERMINA A VIDA ÚTIL DE UM ROLAMENTO?

Além do desgaste natural, os rolamentos podem falhar prematuramente devido a outros fatores como o superaquecimento, a trinca, 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, frequentemente 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.

#### 1. Vida nominal $L_{10}$

A vida  $L_{10}$  é definida como a vida nominal com 90% de confiabilidade, como sendo o total do número de revoluções que um lote de rolamentos com o mesmo número possa girar sem apresentar escamamento em função da fadiga em 90% destes rolamentos, ao serem girados individualmente nas mesmas condições de operação. (Probabilidade de fracasso: 10%).

$$\begin{aligned} \text{Rolamento de Esferas } L_{10} &= \left(\frac{C}{P}\right)^3 & L_{10h} &= \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot L_{10} = 500 \cdot \left(f_n \times \frac{C}{P}\right)^3 \\ \text{Rolamento de Rolos } L_{10} &= \left(\frac{C}{P}\right)^{\frac{10}{3}} & L_{10h} &= 500 \cdot f_n^{\frac{10}{3}} \end{aligned}$$

Onde  $L_{10}$  - Vida nominal com 90% de confiabilidade ( $10^6$  rev.)

$P$  - Carga no rolamento (equivalente) (N), {kgf};

$F_a$  - Carga axial (N), {kgf};

$C$  - Capacidade de carga básica dinâmica (N), {kgf}

Indicado como:  $C_r$  no rolamento radial

$C_a$  no rolamento axial

$L_{10h}$  - Vida nominal com 90% de confiabilidade em horas;

$n$  - velocidade de rotação de operação (rpm);

$f_n$  - Coeficiente de Velocidade;

$f_h$  - Coeficiente de Vida;

A fórmula normalizada é ISO 281. É capacidade de carga dinâmica e vida útil estimada. Os parâmetros são, cargas, velocidade de rotação, confiabilidades, condições de lubrificação, lubrificante contaminados, temperatura e entre outras. O resultado de vida pode ser expresso em  $L_{10}$  (vida nominal de um milhão de revoluções) ou em  $L_{10h}$  (vida nominal em horas).



Figura 1 - Escamamento na pista no intervalo da esferas

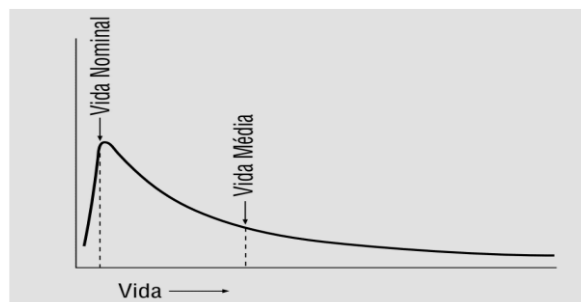


Figura 2 - Dispersão da Vida do Rolamento

Tabela 1 - Vida Nominal, Coeficiente de Vida e Coeficiente de Velocidade

| Classificação             | Rolamento de esferas  | Rolamento de rolos  |
|---------------------------|---|---|
| Vida Nominal              | $L_h = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P}\right)^3 = 500 f_h^3$                             | $L_h = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P}\right)^{\frac{10}{3}} = 500 f_h^{\frac{10}{3}}$     |
| Coeficiente de Vida       | $f_h = f_n \frac{C}{P}$   | $f_h = f_n \frac{C}{P}$   |
| Coeficiente de Velocidade | $f_n = \left(\frac{10^6}{500 \times 60n}\right)^{\frac{1}{3}}$<br>$= (0,03n)^{\frac{1}{3}}$ | $f_n = \left(\frac{10^6}{500 \times 60n}\right)^{\frac{3}{10}}$<br>$= (0,03n)^{\frac{3}{10}}$ |

## • Capacidade de Carga Básica Dinâmica “C”

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 ( $10^6$  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 constantes. 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

## • Carga Dinâmica Equivalente “P”

As cargas que atuam nos rolamentos, em alguns casos, são puramente radiais ou axiais. 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 “P”. A carga dinâmica equivalente nos rolamentos pode ser calculada através da equação seguinte:

### Para Rolamentos radiais

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

Onde  $F_r$  - Carga radial (N), {kgf};

$F_a$  - 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.

### Para Rolamentos axiais

$$P = F_a + 1,2 \times F_r$$

Quando  $\frac{F_r}{F_a} \leq 0,55$

## • Correção da Capacidade de Carga Básica em função a Temperatura

A dureza dos rolamentos diminui quando usados em altas temperaturas, como acima de  $120^\circ\text{C}$ , e em relação aos casos de uso em temperaturas normais têm a vida reduzida. Consequentemente, há necessidade de estimar a redução proporcional na capacidade de carga pela equação seguinte:

$$C_t = f_t \times C$$

Onde  $C_t$  - Capacidade de carga corrigida por base da temp. de trabalho;

$f_t$  - Coeficiente de temperatura (Tabela 2);

C - Capacidade de carga básica (N), {kgf}.

## 2. Correção da Vida Nominal

Embora a vida útil nominal seja suficiente como critério, há casos que requerem uma vida nominal presumida com confiabilidade acima de 90%. Nestes casos são levados em consideração o quando de confiabilidade é necessário, a qualidade do material e a condição de uso. Como reflexo destes aprimoramentos no cálculo da vida, efetua-se a correção da vida nominal através dos coeficientes a seguir:

$$L_{na} = a_1 \times a_2 \times a_3 \times L_{10}$$

Onde  $L_{na}$  - Vida nominal considerando-se os coeficientes.

$a_1$  - Coeficiente de confiabilidade (Tabela 3);

$a_2$  - Coeficiente de material;

$a_3$  - Coeficiente das condições de uso.

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 dos rolamentos NSK.

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

- Viscosidade do óleo lubrificante na área de contato entre as pistas e os corpos rolantes for baixa.
- Velocidade periférica do corpo rolante for muito baixa.
- Temperatura no rolamento for alta.
- Lubrificante estiver contaminado.
- Desalinhamento entre os anéis for grande.

Tabela 2 – Coeficiente de Temperatura  $f_t$

| Temperatura do Rolamento $^\circ\text{C}$ | 125  | 150  | 175  | 200  | 250  |
|---|------|------|------|------|------|
| Coeficiente de Temperatura $f_t$          | 1,00 | 1,00 | 0,95 | 0,90 | 0,75 |

Tabela 3 – 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 |

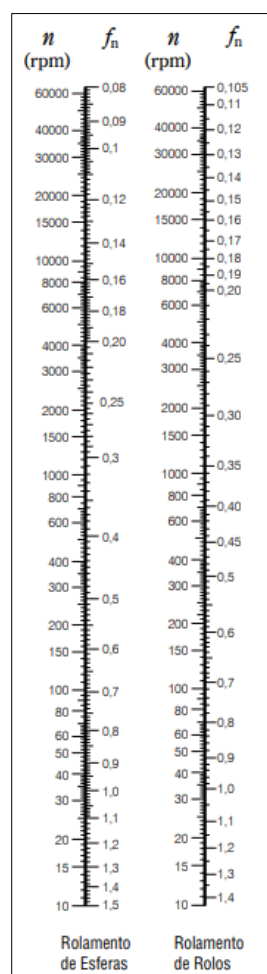


Figura 3 – Velocidade de rotação e Coeficiente de velocidade

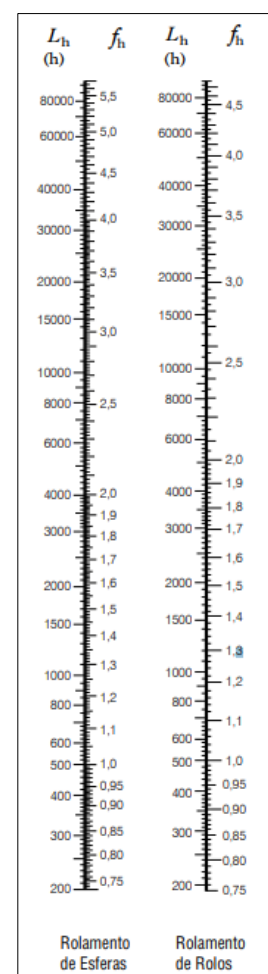


Figura 4 – Vida nominal e Coeficiente de vida

**Tabela 4 – 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<br>• Ferramentas elétricas | • Máquinas agrícolas   |   |  |   |
| Uso ocasional mas requer funcionamento seguro                |   | • Motores para aparelhos de ar condicionado doméstico<br>• Máquinas de construção civil                          | • Roletes de correias transportadoras<br>• Elevadores   |  |   |
| Uso intermitente mas relativamente em períodos longos        | • Pescoço de cilindros de laminação   | • Pequenos motores<br>• Guindastes de convés<br>• Pontes rolantes<br>• Caixas de pinhão<br>• Veículos de passeio | • Motores industriais<br>• Máquinas operatrizes<br>• Sistemas de engrenamento em geral<br>• Peneiras vibratórias<br>• Britadores  | • Roldanas de guindastes<br>• Compressores<br>• Importantes sistemas de engrenamento                   |   |
| Uso contínuo por longos períodos ou acima de 8 horas diárias |   | • Escadas rolantes   | • Separadores centrífugos<br>• Sistemas de ar condicionado<br>• Sopradores<br>• Máquinas de marcenaria<br>• Grandes motores<br>• Rols. para rodeiros de veículos ferroviários | • Guindastes de mineração<br>• Volantes de prensas<br>• Motores de tração<br>• Rodeiros de locomotivas | • Máquinas para indústria de papel  |
| Uso ininterrupto de 24 horas sem admitir parada acidental    |   |  |   |  | • Sist. fornec. de água<br>• Equip. de hidráulicas<br>• Bombas de drenagem de minas |

O Coeficiente de vida  $f_h$  pode ser adotado para 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 empírica, serão conforme a Tabela 4 ao lado.

**Tabela 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 a 1,2   |
| Operação normal                        | Sopradores, elevadores, compressores, guindastes, máquinas para indústria de papel | 1,2 a 1,5 |
| Operação com choque, vibração ou ambos | Máquinas de construção civil, britadores, peneiras vibratórias, laminadores        | 1,5 a 3   |

### • 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:

$$F_r = f_w \times F_{rc}$$

$$F_a = f_w \times F_{ac}$$

Onde  $F_{rc}, F_{ac}$  : Carga calculada teoricamente (N), [kgf];  
 $f_w$  : Coeficiente de carga (Tabela 5).

### 3. Exemplo de Cálculo

Determinar a vida nominal  $L_h$  do rolamento 6208 sob carga radial  $F_r = 2500$  N, velocidade  $n = 900$  rpm, aplicação em motor elétrico e confiabilidade de 90%.

#### Resolução:

As cargas atuantes do rolamento devem ser corrigidas, pela Tabela 5 tomando por base a aplicação, obtemos o valor do coeficiente de carga de  $f_w = 1,2$  (Adotado). Como somente a carga radial atua sobre o rolamento, iremos apenas calcular  $F_r$  pois  $F_a$  é igual a zero:

$$F_r = f_w \times F_{rc} = 1,2 \times 2500 = 3000 \text{ N}$$

A capacidade de carga básica  $C_r$ , do 6208 é de 29100 N, o  $C_{0r}$  é de 17900 N e o fator  $f_0$  é de 14,0 (tabela de dimensões no Catálogo Geral NSK). A carga dinâmica equivalente  $P$  será por base da tabela abaixo, tabela de carga dinâmica equivalente para rolamentos fixos de uma carreira de esferas, obtida na tabela de dimensões no Catálogo Geral NSK :

| $P = XF_r + YF_a$        |      |                          |   |                       |      |
|--------------------------|------|--------------------------|---|-----------------------|------|
| $\frac{f_0 F_a}{C_{0r}}$ | $e$  | $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ |   | $\frac{F_a}{F_r} > e$ |      |
|                          |      | X                        | Y | X                     | Y    |
| 0,172                    | 0,19 | 1                        | 0 | 0,56                  | 2,30 |
| 0,345                    | 0,22 | 1                        | 0 | 0,56                  | 1,99 |
| 0,689                    | 0,26 | 1                        | 0 | 0,56                  | 1,71 |
| 1,03                     | 0,28 | 1                        | 0 | 0,56                  | 1,55 |
| 1,38                     | 0,30 | 1                        | 0 | 0,56                  | 1,45 |
| 2,07                     | 0,34 | 1                        | 0 | 0,56                  | 1,31 |
| 3,45                     | 0,38 | 1                        | 0 | 0,56                  | 1,15 |
| 5,17                     | 0,42 | 1                        | 0 | 0,56                  | 1,04 |
| 6,89                     | 0,44 | 1                        | 0 | 0,56                  | 1,00 |

$$\frac{f_0 \times F_a}{C_{0r}} = \frac{14,0 \times 0}{17900} = 0$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{0}{3000} = 0$$

Portanto:

$$\frac{F_a}{F_r} < e$$

Adotar:  $X = 1$  e  $Y = 0$

$$P = X \times F_r + Y \times F_a = 1 \times 3000 + 0 \times 0 = 3000 \text{ N}$$

\*Sempre que o  $F_a$  for igual a zero o valor de  $P$  será igual ao valor de  $F_r$

Como a velocidade  $n = 900$  rpm, o coeficiente de velocidade  $f_n$  pode ser obtido pela equação da Tabela 1 ou pela Figura 3.

$$f_n = (0,03 \times n)^{-\frac{1}{3}} = (0,03 \times 900)^{-\frac{1}{3}} = \frac{1}{3} = 0,333..$$

Nestas condições, o coeficiente de vida nominal  $f_h$  será obtido pela equação da Tabela 1 ou pela Tabela 4:

$$f_h = f_n \times \frac{C}{P} = \frac{1}{3} \times \frac{29100}{3000} \cong 3,233$$

O valor de  $L_h$  encontrado é adequado para motores elétricos, engrenagem em geral, sistemas de ar condicionado, entre outros, utilizados por uso contínuo por longos períodos ou acima de 8 horas diárias. De acordo com a equação da Tabela 1 ou pela Figura 4, o valor de  $L_h$  encontrado corresponde aproximadamente a 16 896,1 horas.

$$L_h = 500 \times f_h^3 = 500 \times 3,233^3 \cong 16896,1 \text{ horas}$$

**Prevendo a vida útil de produtos NSK usando o ABLE Forecaster**  
O software ABLE Forecaster (Advanced Bearing Life Equation) desenvolvido pela NSK fornece informações mais precisas sobre a vida útil dos produtos NSK devido às avaliações de aplicação cenários e testes são incorporados aos cálculos.