

**PMR 3103**

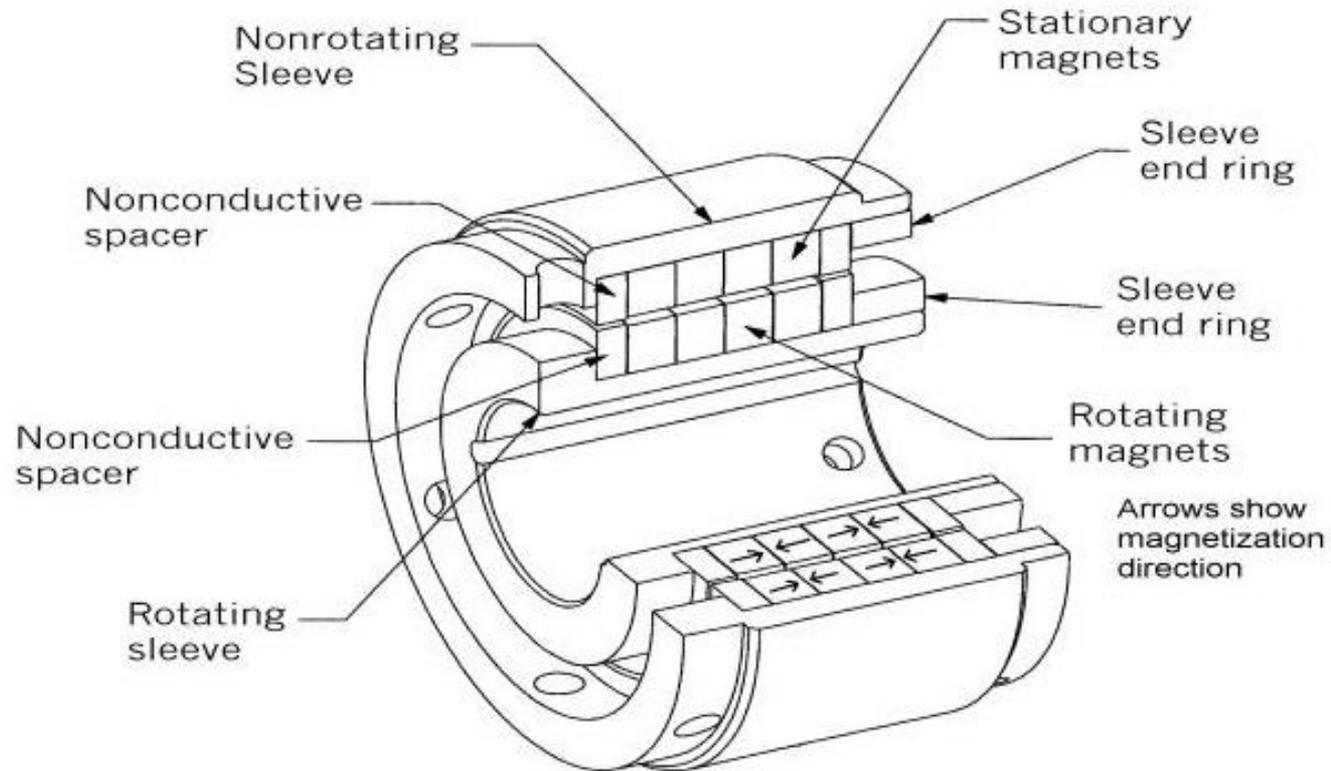
**Mancais Magnéticos**  
**Mancais e Guias Lineares**  
**Parafusos de Esferas**

**Vida de Rolamento**

# Mancais Magnéticos

- ❑ O funcionamento dos mancais magnéticos está baseado no princípio da atração ou repulsão mútua entre os pólos magnéticos.
- ❑ Os campos magnéticos controlados mantêm o elemento com movimento relativo suspenso, sem que ocorra contato metal-metal.
- ❑ Deslocamentos resultantes de carregamentos externos são detectados por sensores que permitem a correção da posição através da manipulação dos pólos magnéticos do mancal.

# Mancais magnéticos - Constituintes

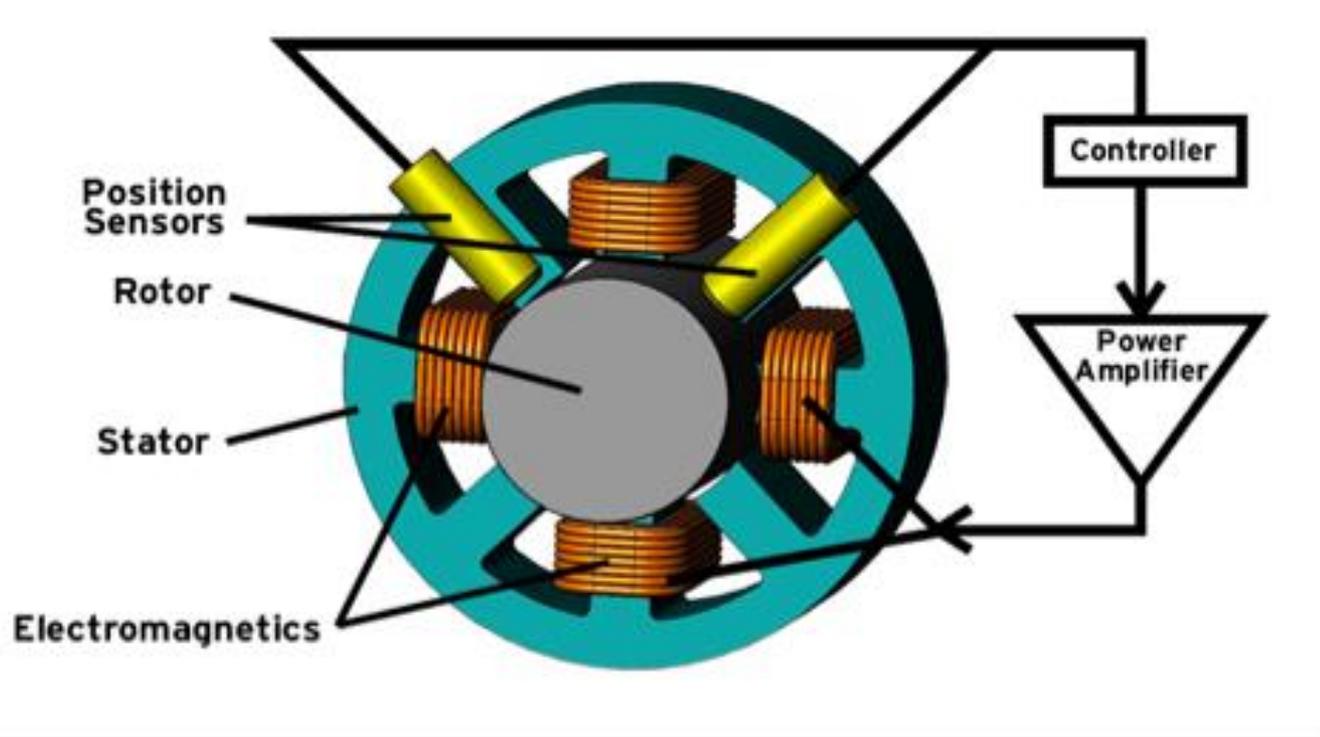


<http://www.grc.nasa.gov/WWW/spacemech/workshop02/mag-brg.html>

# Mancais magnéticos - Generalidades

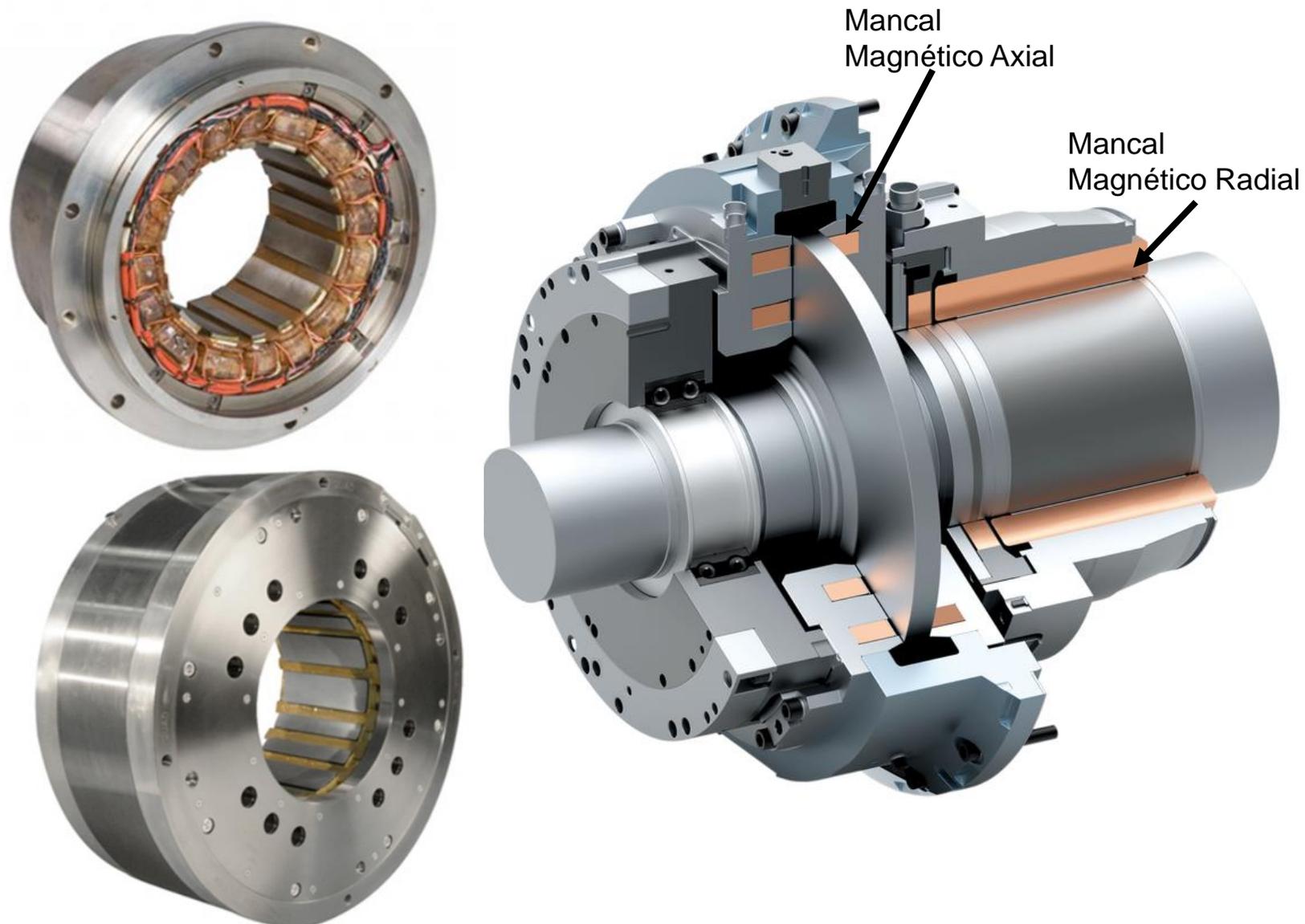
- ❑ Mancais magnéticos não têm contato mecânico
- ❑ Não têm limite de velocidade – segurança é o limite
- ❑ Podem ser lineares, rotativos ou combinados
- ❑ Mancal mecânico (Back-Up) deve ser introduzido prevendo falhas de energia
- ❑ Rigidez infinita, controlada eletronicamente
- ❑ Controle sofisticado
- ❑ Elevada capacidade de carga e rigidez

# Mancais magnéticos - Funcionamento



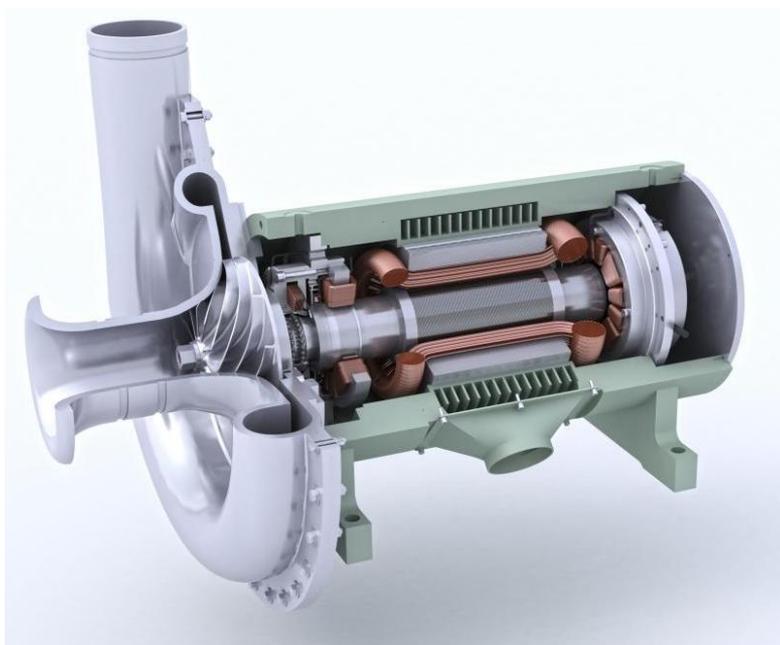
<http://www.synchrony.com/knowledge/how-magnetic-bearings-work.php>

# Mancal magnético - Exemplo



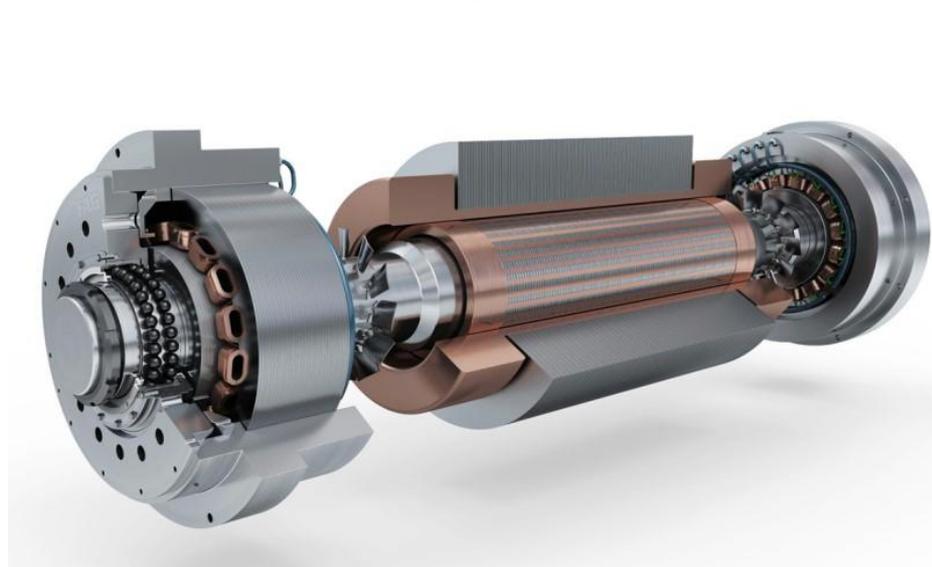
# Mancais magnéticos - Exemplos de aplicação

Bombas de alto desempenho



<http://www.airbestpractices.com/technology/blowers/magnetic-bearings-attractive-force-energy-efficiency>

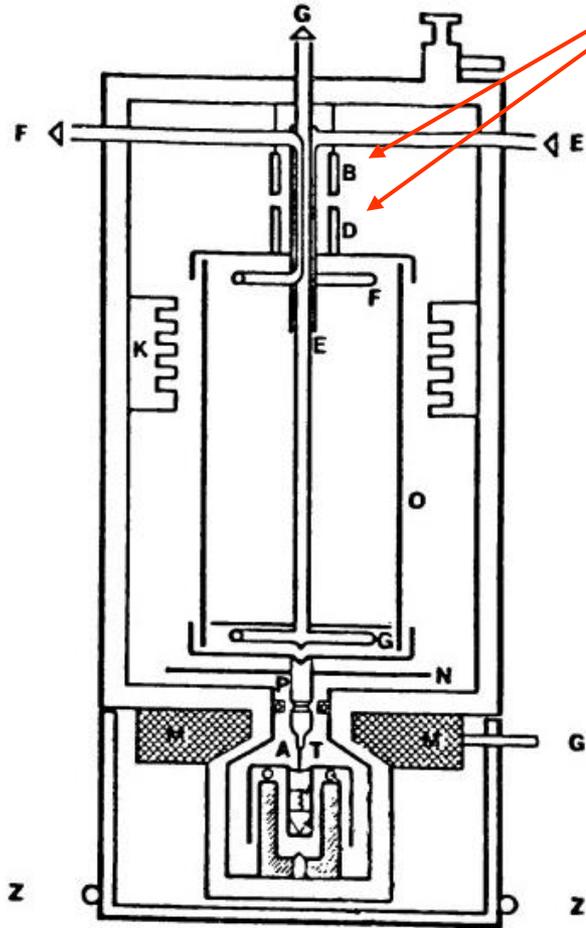
Árvore de máquina-ferramenta



[http://m.schaeffler.de/content.mobile/en/press/presdetail/press\\_detail.jsp?id=16452736](http://m.schaeffler.de/content.mobile/en/press/presdetail/press_detail.jsp?id=16452736)

# Ultracentrífuga

Section of Zippe's Machine



Mancais Magnéticos

Bateria de Ultracentrífugas



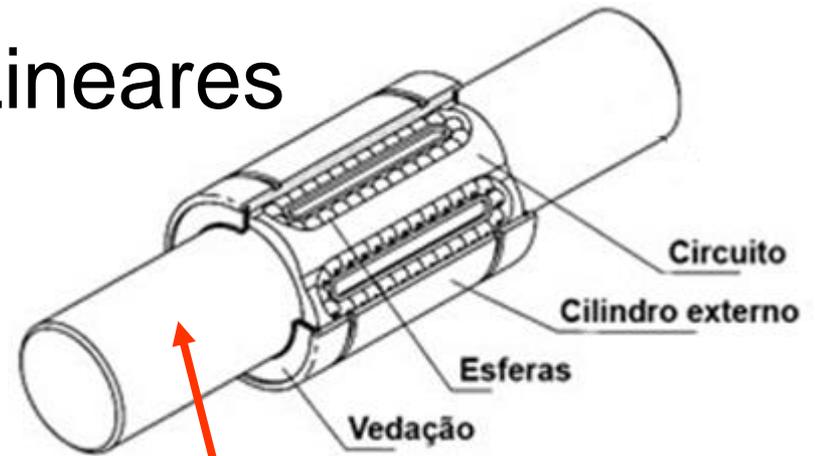
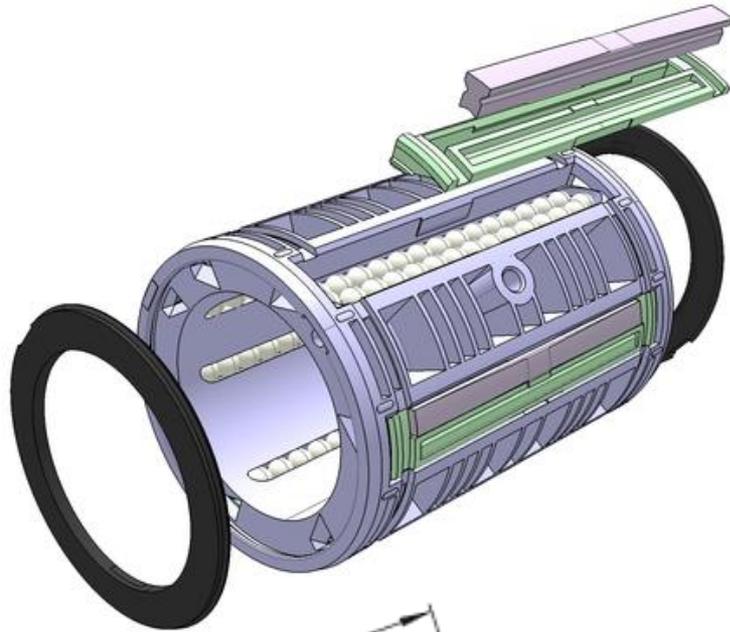
Inside view of the Dutch Centrifuge Plant at Almelo [29].

# Mancais de Rolamento Lineares

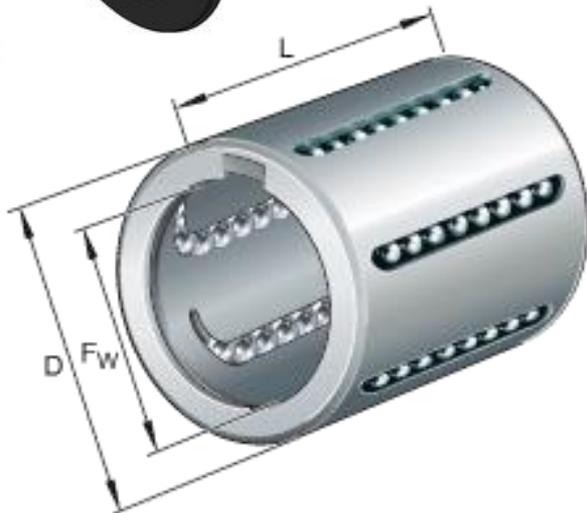
- Utilizados para possibilitar a vinculação de um componente que executa um movimento linear a um eixo (que serve de guia para o movimento), possibilitando a transmissão de cargas e um movimento linear com atrito reduzido.



# Mancais de Rolamento Lineares



Eixo Guia



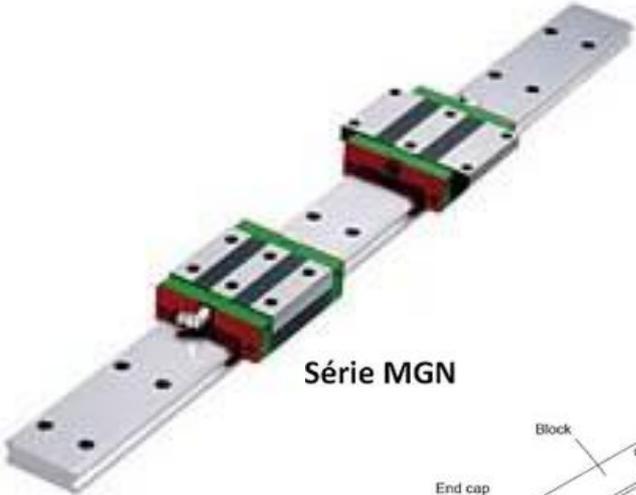
# Eixos Guia para Mancais Lineares

- Eixos são retificados e fabricados com dureza superficial: 60 ~ 64HRC
- Diâmetros em medidas estabilizadas na tolerância h6.
- Tratamento térmico: têmpera por indução.

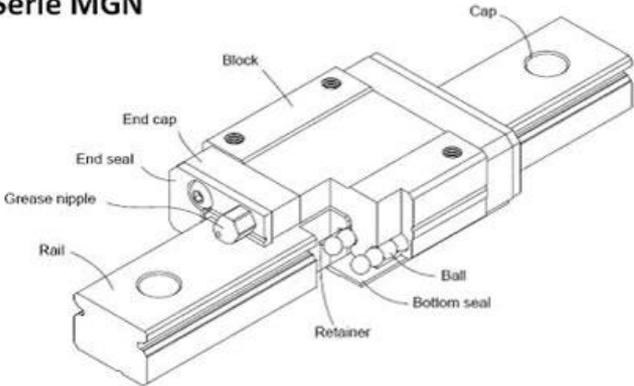
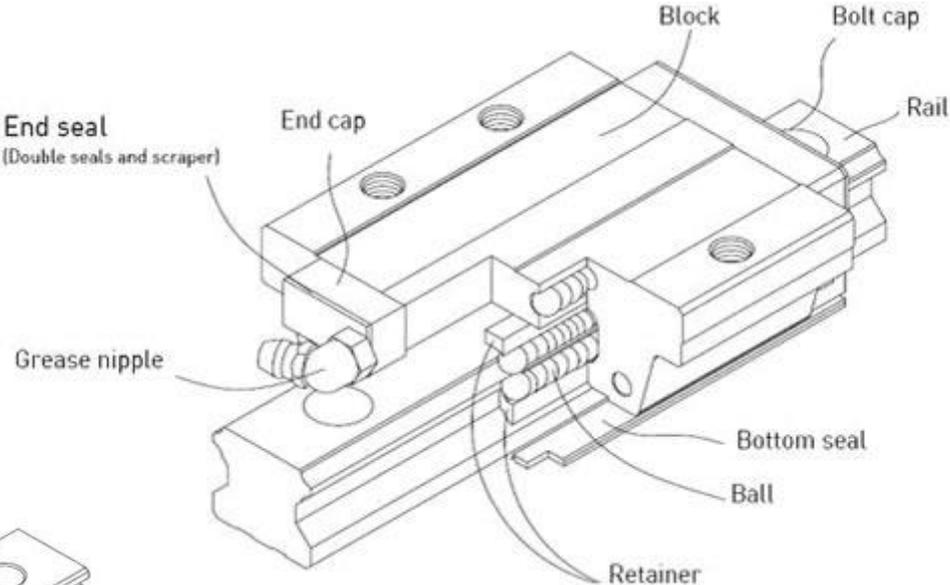
# Guias Lineares

- São utilizadas em máquinas operatrizes em substituição ao barramento de deslizamento.
- Quando a carga é conduzida pelas guias lineares, o contato entre a carga e o trilho é realizado sob movimentos rotativos das esferas.
- O coeficiente de atrito é de apenas  $1/50$  de contato tradicional e a diferença entre o coeficiente de atrito dinâmico e o estático é pequena.

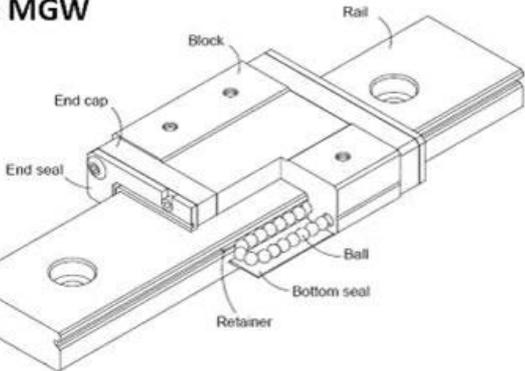
# Guias Lineares



Série MGN



Série MGW

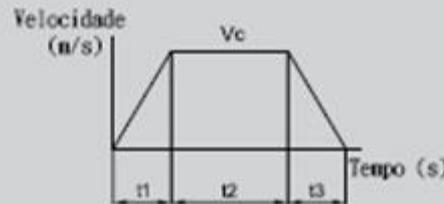
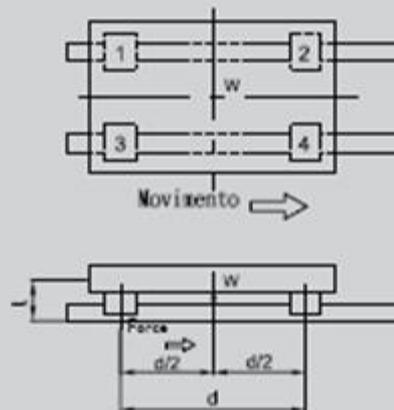
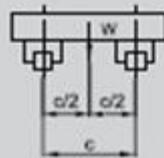


# Exemplo de Cálculo de Cargas Atuantes Nas Guias

## Exemplos de Cálculo para cargas com forças de Inércia

### Considere a aceleração e desaceleração

### Carga no bloco



**W:** Peso do objeto (N)  
**g:** Aceleração gravitacional (9.8m/sec<sup>2</sup>)  
**P<sub>r</sub>:** Carga (radial, radial inversa) (N), n=1~4  
**V<sub>c</sub>:** Velocidade máxima (m/sec)  
**t1(t3):** Aceleração (desaceleração) tempo (s)  
**t2:** Tempo de velocidade constante (s)  
**c:** Espaçamento do trilho (m)  
**d:** Espaçamento do bloco (m)  
**l:** Distância do centro de gravidade ao percurso (m)

- Velocidade constante

$$P_1 \sim P_4 = \frac{W}{4}$$

- Aceleração

$$P_1 = P_3 = \frac{W}{4} + \frac{1}{2} \cdot \frac{W}{g} \cdot \frac{V_c}{t1} \cdot \frac{l}{d}$$

$$P_2 = P_4 = \frac{W}{4} - \frac{1}{2} \cdot \frac{W}{g} \cdot \frac{V_c}{t1} \cdot \frac{l}{d}$$

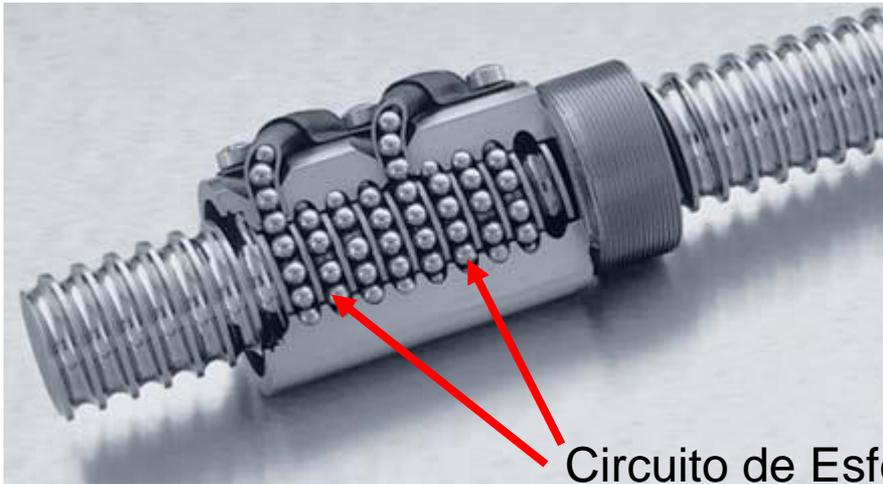
- Desaceleração

$$P_1 = P_3 = \frac{W}{4} - \frac{1}{2} \cdot \frac{W}{g} \cdot \frac{V_c}{t3} \cdot \frac{l}{d}$$

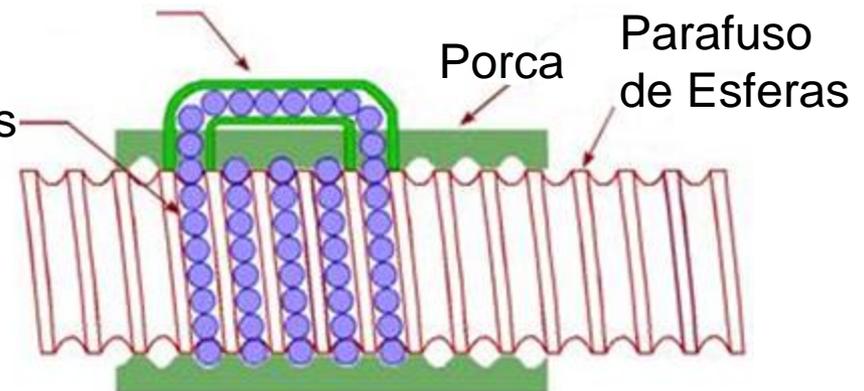
$$P_2 = P_4 = \frac{W}{4} + \frac{1}{2} \cdot \frac{W}{g} \cdot \frac{V_c}{t3} \cdot \frac{l}{d}$$

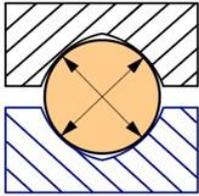
# Parafuso (Fuso) de Esferas Recirculantes

- Utilizado em substituição ao parafuso normal no acionamento dos eixos em máquinas operatrizes com comando numérico.

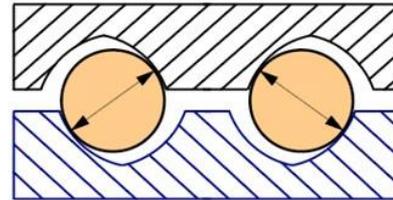


Tubo de recirculação





**4 point contact**

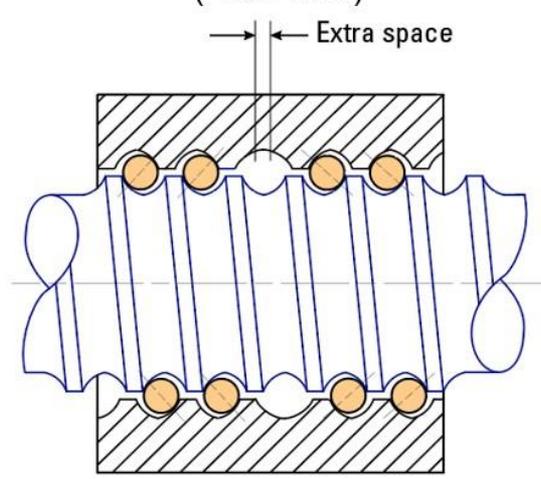
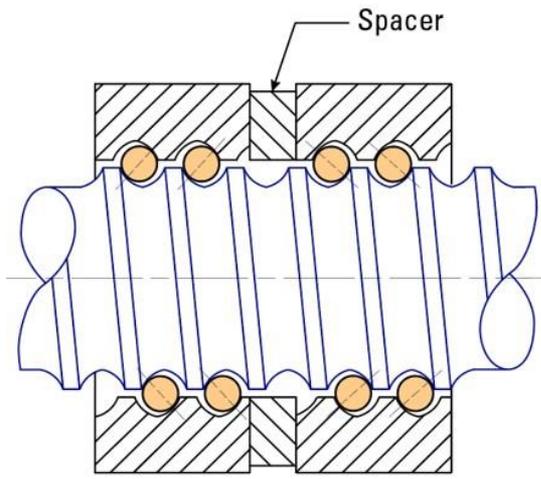
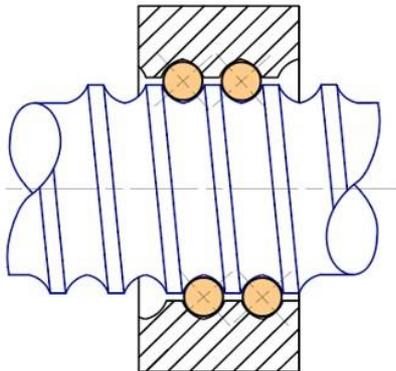


**2 point contact**

**Oversized ball**

**Double nut**

**Skip lead**  
(Pitch shift)



← →  
**Nut Internal Force**

← →  
**Nut Internal Force**

# Parafuso (Fuso) de Esferas Recirculantes

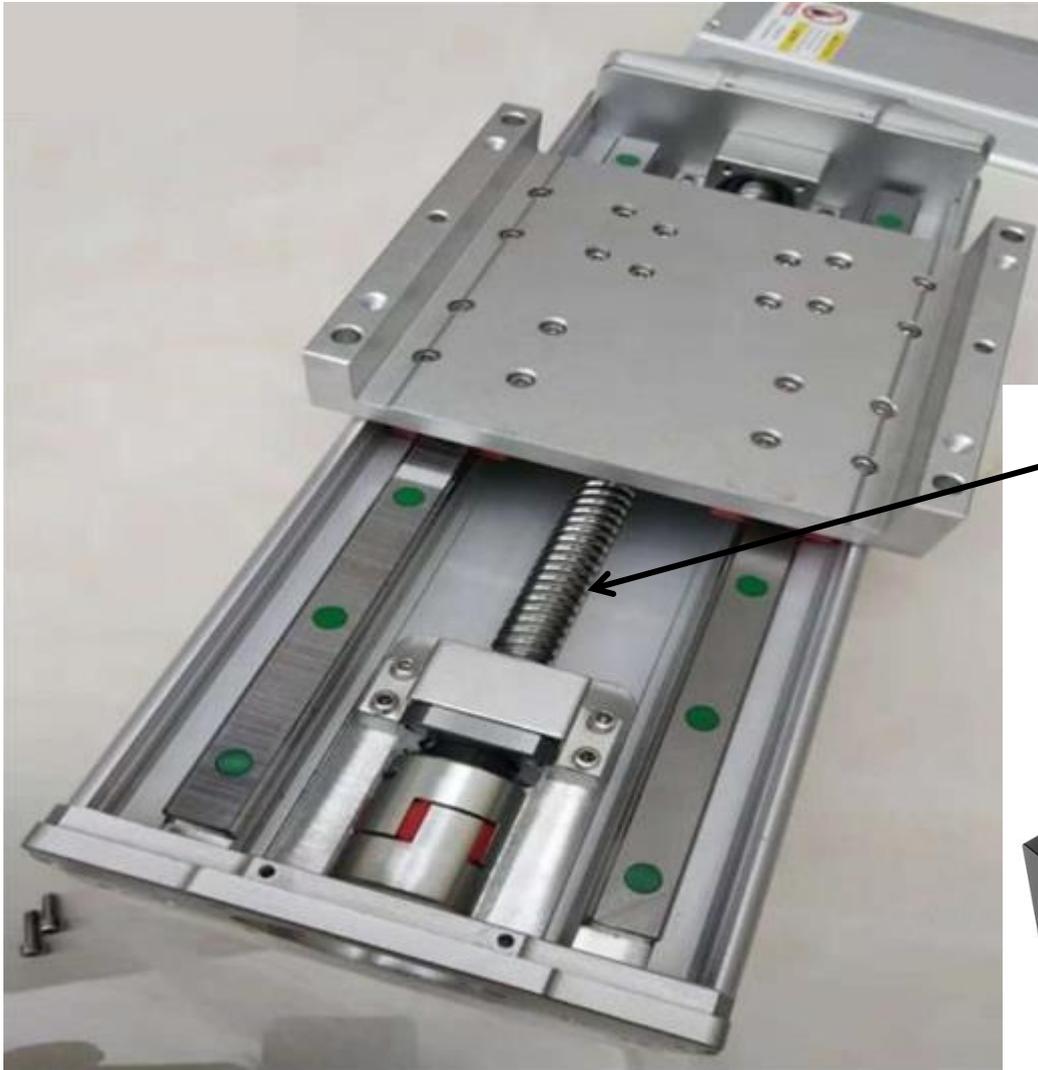
## Vantagens:

- Altíssima capacidade de carga;
- Altíssima rigidez;
- Boa qualidade de movimento;
- Boa precisão;
- Compacto.

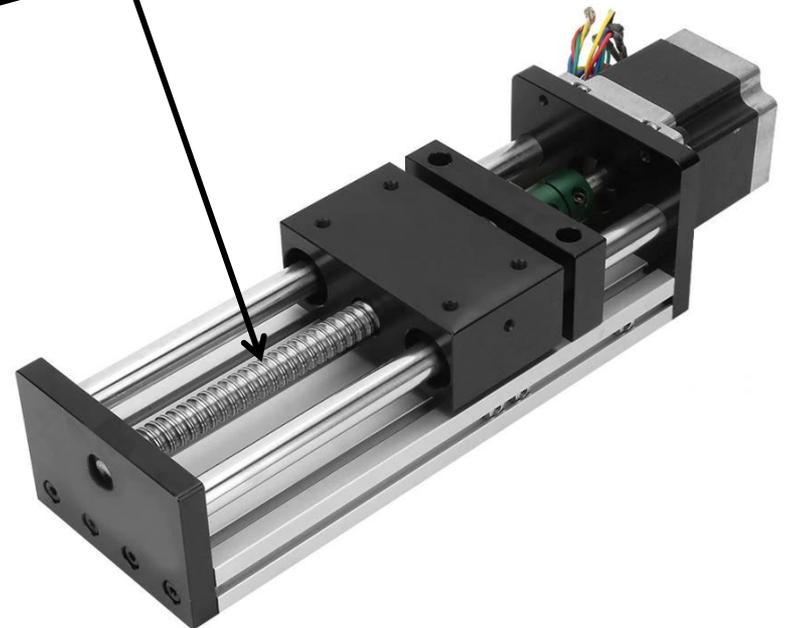
## Desvantagens:

- Movimento limitado;
- Presença de folga:
  - Pré-carga diminui folga mas não elimina;
  - Pré-carga aumenta atrito  $\Rightarrow$  dificulta controle de precisão.

# Acionamento de Mesa com Parafuso (Fuso) de Esferas Recirculantes



Parafuso (Fuso) de esferas recirculantes



# Parafuso (Fuso) de Esferas Recirculantes

## Comportamento Dinâmico e Flambagem

$$\omega_n = k^2 \sqrt{\frac{EI}{A\rho L^4}}$$

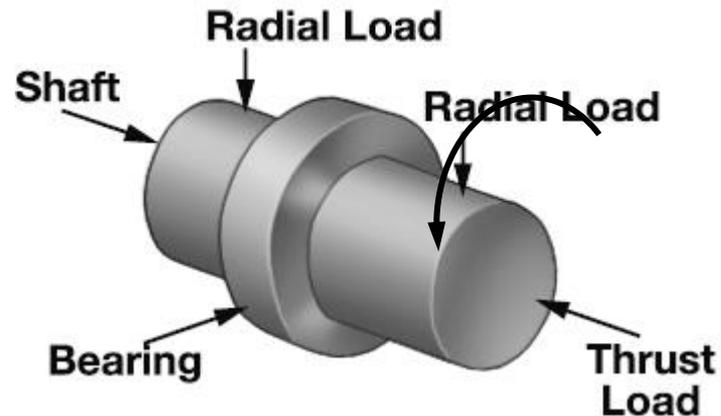
$$F_{buckle} = \frac{cEI}{L^2}$$

								
	Cantilevered		Simply Supported		Fixed-Simple		Fixed-Fixed	
mode n	k	c	k	c	k	c	k	c
1	1.875	2.47	3.142	9.87	3.927	20.2	4.730	39.5
2	4.694		6.283		7.069		7.853	
3	7.855		9.425		10.210		10.996	
4	10.996		12.566		13.352		14.137	
n	$(2n-1)\pi/2$		$n\pi$		$(4n+1)\pi/4$		$(2n+1)\pi/2$	

# Mancais de Rolamento

- Principal Característica: Baixo Atrito mesmo sem lubrificação
- Valores Típicos (coeficiente de atrito):

$$\mu = 0.001 - 0.005$$



# Vida de um Rolamento



**Componente:** Anel interno de rolamento de contato angular.

**Sintoma:** Escamamento em metade da circunferência da pista.

**Causa:** Lubrificação deficiente gerada pela entrada de fluido de corte no interior do rolamento.



**Componente:** Anel interno de rolamento de contato angular.

**Sintoma:** Escamamento ao longo da pista.

**Causa:** Desalinhamento na instalação.

# Vida de um Rolamento



**Componente:** Anel interno de rolamento fixo de uma carreira de esferas.  
**Sintoma:** Escamamento na pista no intervalo das esferas.  
**Causa:** Impactos na instalação.



**Componente:** Anel interno de rolamento de contato angular.  
**Sintoma:** Escamamento na pista nos intervalos das esferas.  
**Causa:** Impactos na instalação.

# Vida de um Rolamento



**Componente:** Esferas

**Sintoma:** Escamamento na superfície das esferas.

**Causa:** Impactos na instalação.



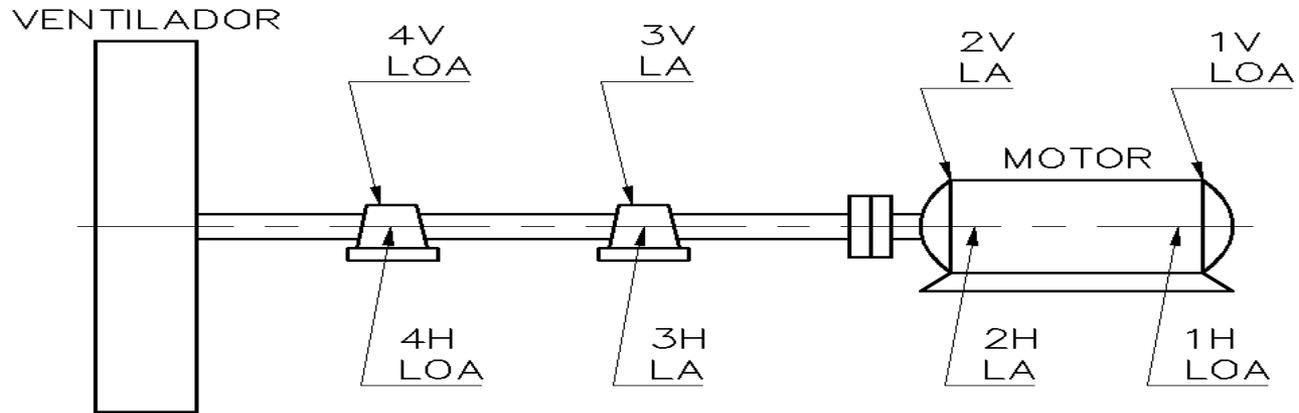
**Componente:** Rolos de rolamento de rolos cilíndricos.

**Sintoma:** Escamamento prematuro ocorrido axialmente sobre a superfície dos rolos.

**Causa:** Instalação inadequada.



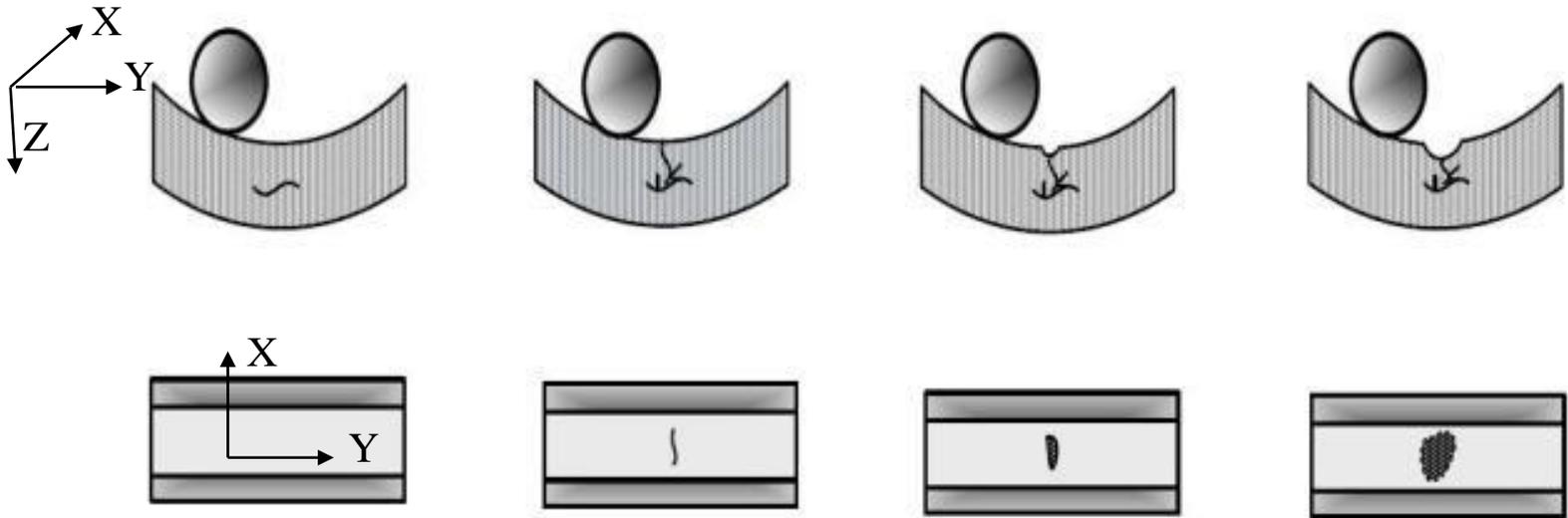
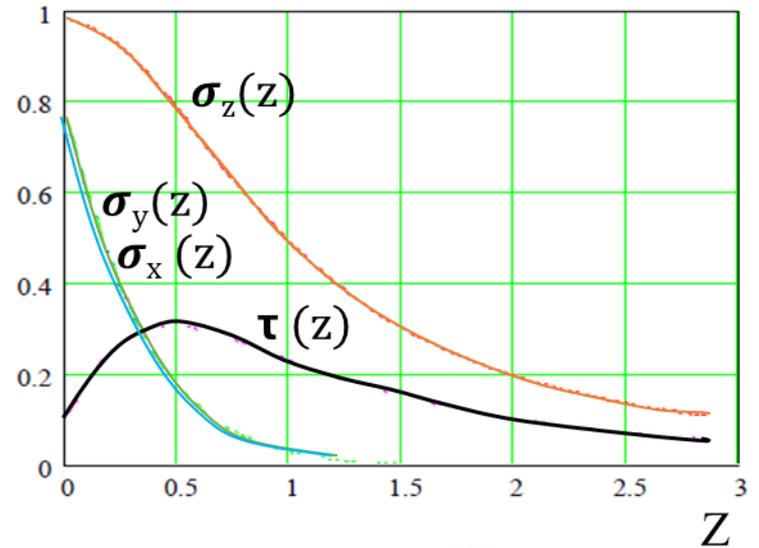
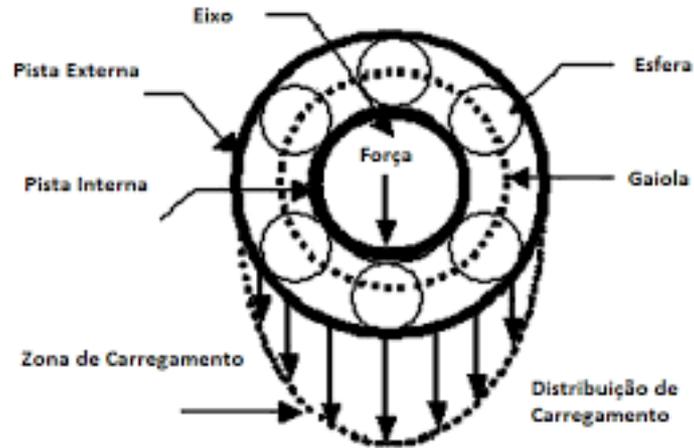
# Monitoramento de Mancais de Rolamento



# Falha de Mancal de Rolamento



# Fadiga de Contato em Mancais de Rolamento



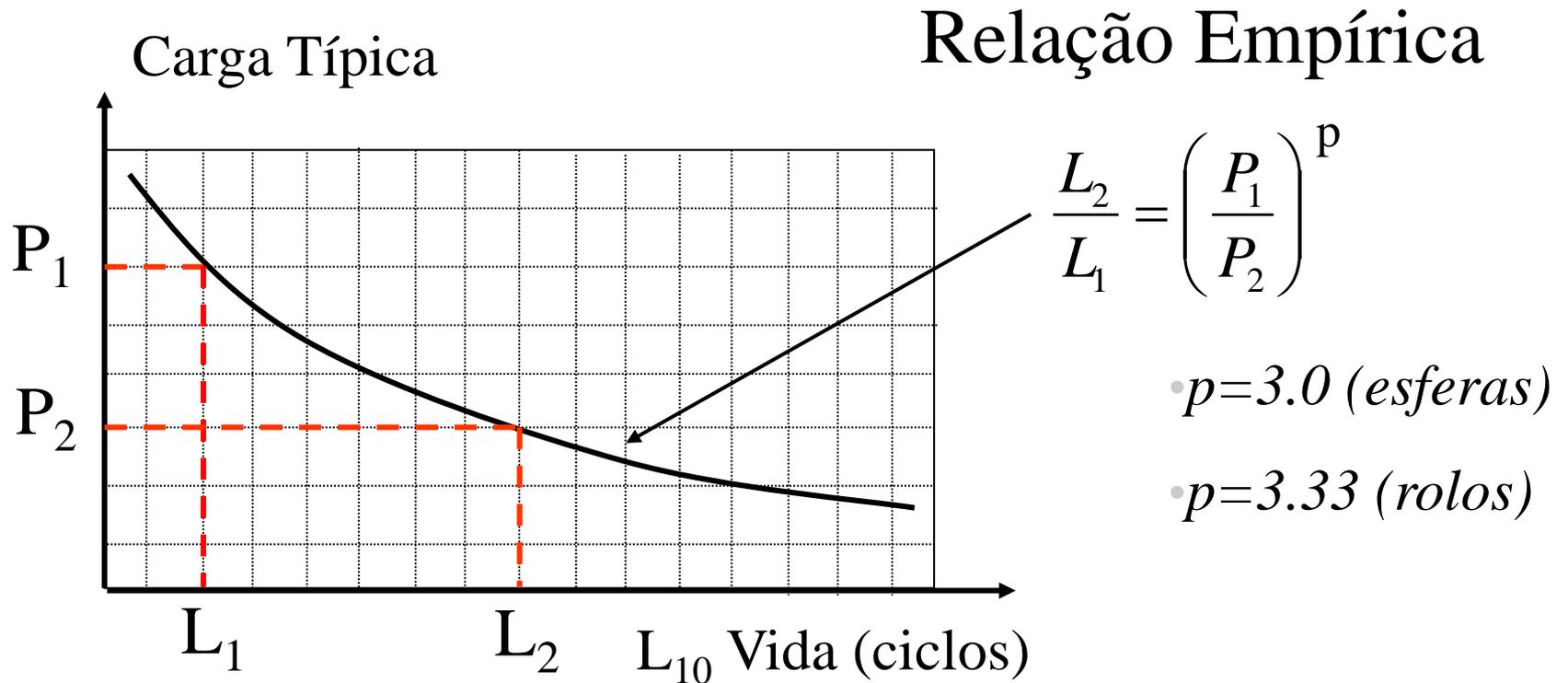
# Limites de Velocidade para Mancais de Rolamento

A velocidade máxima de rotação permitida para qualquer mancal de rolamento individual pode ser determinada a partir da tabela abaixo. Esses limites de velocidade são considerados limites técnicos que foram determinados a partir de dados empíricos de muitas aplicações típicas. A capacidade dos rolamentos de operar em alta velocidade é ainda estabelecida pelo tipo de lubrificação empregada. Todos os limites mostrados são baseados na lubrificação estática do óleo, com o nível de óleo definido no centro da esfera inferior ou rolo, quando parado. Se a lubrificação por graxa for desejada, o limite de velocidade é de 66% do limite de óleo.

Tipo de Rolamento	Velocidade Limite (mm/min)		
	Estreito	Largo	2 Fileiras
<b>Rolamentos Radiais</b>			
Rígido de Esferas	500 000	-	400 000
Esferas de Contato Angular	450 000	-	400 000
Rolos Cilíndricos com Gaiola de Latão de 2 partes	550 000	500 000	475 000
Gaiola de Aço de 2 partes	450 000	435 000	380 000
Gaiola de Aço Estampada	330 000	300 000	-
Gaiola de latão de 1 Peça	600 000	420 000	-
Rolos Cônicos com Gaiola de Pinos	400 000	350 000	300 000
Auto compensador com Gaiola de Latão	220 000	200 000	-
<b>Rolamentos Axiais</b>			
Esferas	200 000	-	-
Esferas de Contato Angular	200 000	-	-
Rolos Cilíndricos e Gaiola de 2 peças	220 000	200 000	-
Rolos Cilíndricos e Gaiola Usinada	240 000	220 000	-
Rolos Cônicos e Gaiola de 2 Peças	180 000	160 000	-
Rolos Cônicos e Gaiola Usinada	200 000	180 000	-
Rolos Cônicos e Gaiola e Pinos	220 000	200 000	-

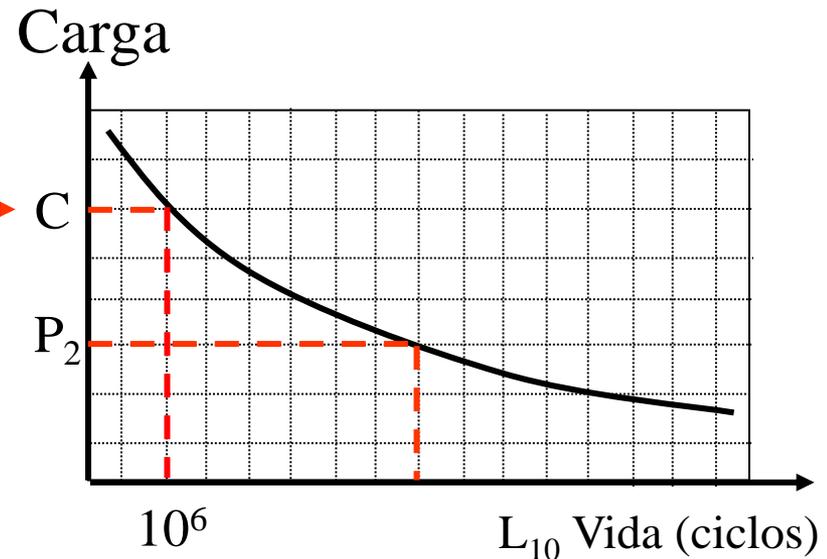
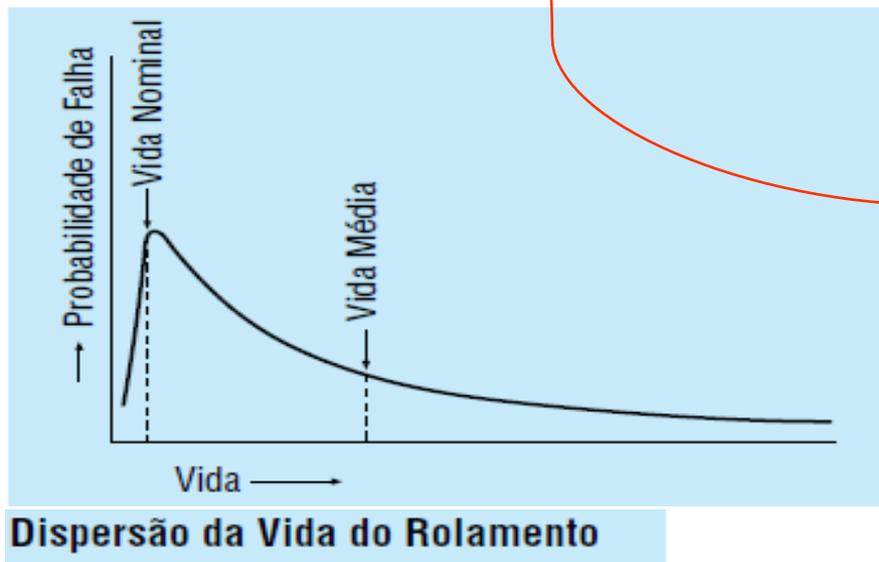
# Relação Carga x Vida

## Ensaio de Fadiga



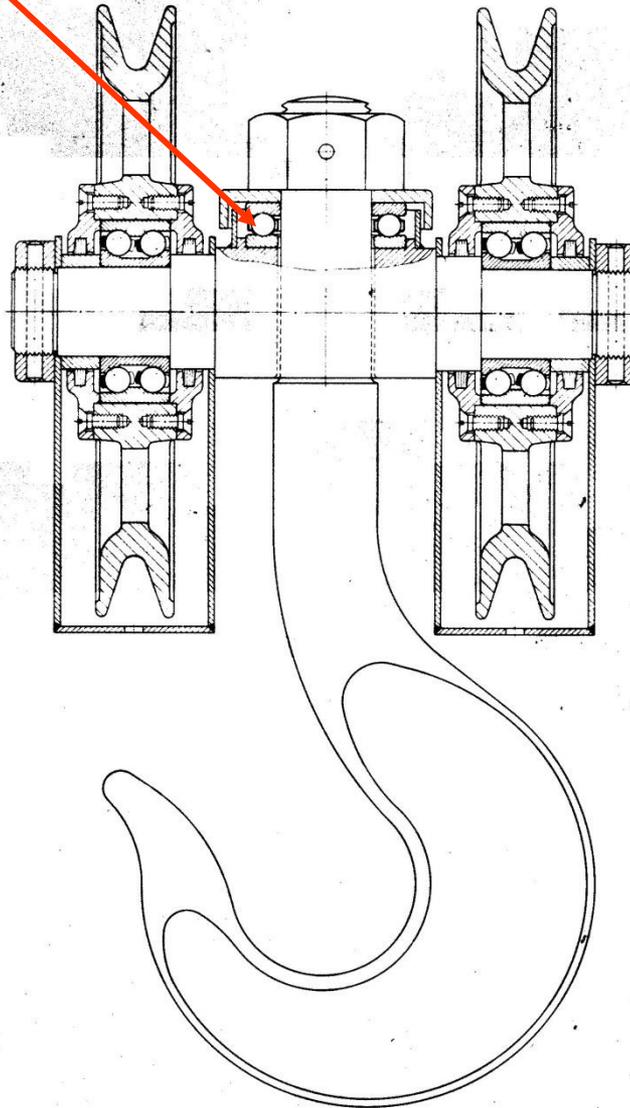
# Capacidade de Carga

**Dinâmica (C)** => Vida de  $10^6$  ciclos para 90% (ou mais) dos rolamentos testados



**Estática (C<sub>0</sub>)** => Deformação permanente de  $0,0001 \delta$  ( diâmetro do elemento rodante)

Rolamento não gira completamente



# Vida Nominal Ajustada

$$L_{10} = a1.a2.a3.(C/P)^p$$

10 = 100 - 90

$L_{10}$  = Vida em  $10^6$  ciclos (90%)

P = Carga Dinâmica Equivalente

a1 = fator de confiabilidade

a2 = fator de material

a3 = fator de serviço – lubrificação

p = 3 para rolamento de esferas e 10/3 para rolamentos de rolos

# Carga Dinâmica Equivalente (P)

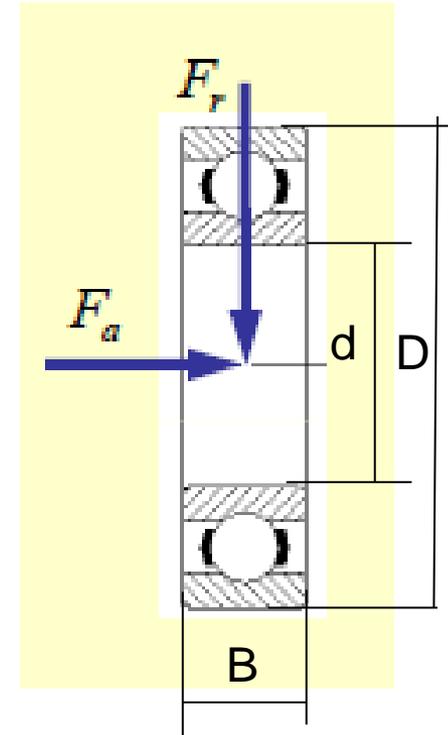
Tabela para rolamento rígido de uma carreira de esferas e folga normal

$$P = X F_r + Y F_a$$

$\frac{f_0 F_a}{C_0}$	$e$	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
		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

$f_0$ : fator de cálculo (depende de cada rolamento)

$e$ : valor limite da relação  $F_a/F_r$



# Carga Estática Equivalente (P0)

$$P_0 = X_0 F_r + Y_0 F_a$$

$P_0$  = Carga estática equivalente aplicada

$X_0$  = Fator radial (definido pelo fabricante)

$Y_0$  = Fator axial (definido pelo fabricante)

$F_r$  = Força radial

$F_a$  = Força axial

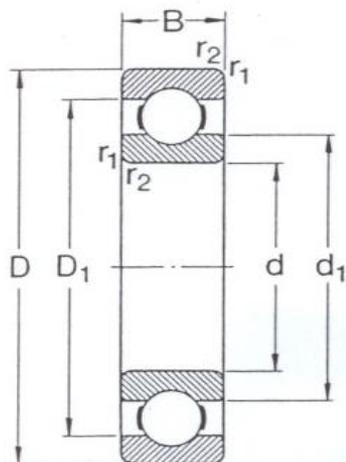
Se  $P_0$  calculado  $< F_r \Rightarrow P_0 = F_r$

$k_f$ : fator de cálculo de carga mínima

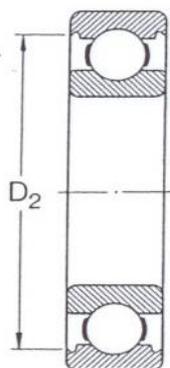
Tabela do manual do fabricante SKF

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings		Mass	Designations	Calculation factors	
d	D	B	dynamic	static		Reference speed	Limiting speed <sup>1)</sup>			Bearing open or capped on both sides	capped on one side <sup>1)</sup>
mm			kN		kN	r/min		kg	-	-	
20	32	7	4,03	2,32	0,104	-	13 000	0,018	▶ 61804-2RS1	0,015	15
	32	7	4,03	2,32	0,104	45 000	22 000	0,018	▶ 61804-2RZ	0,015	15
	32	7	4,03	2,32	0,104	45 000	28 000	0,018	▶ 61804	0,015	15

# ROLAMENTO RÍGIDO DE UMA CARREIRA DE ESFERAS



Anel externo  
sem ranhuras  
de placas



Anel externo  
com ranhuras  
de placas

Dimensões principais			Capacidades de carga		Carga limite de fadiga $P_u$	Velocidades de referência		Massa	Designação
d	D	B	dinâm. C	estát. $C_0$		Lubrificação graxa	óleo		
mm			N		N	r/min	kg	-	
35	47	7	4 750	3 200	166	13 000	16 000	0,030	61807
	55	10	9 560	6 200	290	11 000	14 000	0,080	61907
	62	9	12 400	8 150	375	10 000	13 000	0,11	16007
	62	14	15 900	10 200	440	10 000	13 000	0,16	6007
	72	17	25 500	15 300	655	9 000	11 000	0,29	6207
	80	21	33 200	19 000	815	8 500	10 000	0,46	6307
	100	25	55 300	31 000	1 290	7 000	8 500	0,95	6407
40	52	7	4 940	3 450	186	11 000	14 000	0,034	61808
	62	12	13 800	9 300	425	10 000	13 000	0,12	61908
	68	9	13 300	9 150	440	9 500	12 000	0,13	16008
	68	15	16 800	11 600	490	9 500	12 000	0,19	6008
	80	18	30 700	19 000	800	8 500	10 000	0,37	6208
	90	23	41 000	24 000	1 020	7 500	9 000	0,63	6308
	110	27	63 700	36 500	1 530	6 700	8 000	1,25	6408
45	58	7	6 050	4 300	228	9 500	12 000	0,040	61809
	68	12	14 000	9 800	465	9 000	11 000	0,14	61909
	75	10	15 600	10 800	520	9 000	11 000	0,17	16009
	75	16	20 800	14 600	640	9 000	11 000	0,25	6009
	85	19	33 200	21 600	915	7 500	9 000	0,41	6209
	100	25	52 700	31 500	1 340	6 700	8 000	0,83	6309
	120	29	76 100	45 000	1 900	6 000	7 000	1,55	6409
50	65	7	6 240	4 750	250	9 000	11 000	0,052	61810
	72	12	14 600	10 400	500	8 500	10 000	0,14	61910
	80	10	16 300	11 400	560	8 500	10 000	0,18	16010
	80	16	21 600	16 000	710	8 500	10 000	0,26	6010
	90	20	35 100	23 200	980	7 000	8 500	0,46	6210
	110	27	61 800	38 000	1 600	6 300	7 500	1,05	6310
	130	31	87 100	52 000	2 200	5 300	6 300	1,90	6410
55	72	9	8 320	6 200	325	8 500	10 000	0,083	61811
	80	13	15 900	11 400	560	8 000	9 500	0,19	61911
	90	11	19 500	14 000	695	7 500	9 000	0,26	16011
	90	18	28 100	21 200	900	7 500	9 000	0,39	6011
	100	21	43 600	29 000	1 250	6 300	7 500	0,61	6211
	120	29	71 500	45 000	1 900	5 600	6 700	1,35	6311
	140	33	99 500	62 000	2 600	5 000	6 000	2,30	6411

# Fator de Confiabilidade

Confiabilidade %		a1
90	(L <sub>10</sub> )	1
95	(L <sub>5</sub> )	0,62
96	(L <sub>4</sub> )	0,53
97	(L <sub>3</sub> )	0,44
98	(L <sub>2</sub> )	0,33
99	(L <sub>1</sub> )	0,21

# Seleção de um Rolamento

- 1- Definir o tipo de rolamento (radial, axial ou misto – rígido ou autocompensador)
- 2- Definir o tipo de elemento rodante (esfera\* ou rolo)
- 3- Definir a Vida em horas
- 4- Definir as cargas sobre o rolamento
- 5- Definir a confiabilidade e os fatores de material e lubrif.
- 6- Calcular a Vida  $L_{10}$  (ou escolher outra confiabilidade)
- 7- Calcular a Capacidade de Carga requerida C
- 8- Escolher o Rolamento mais adequado no catálogo
- 9- Recalcular a Vida em horas

<https://www.skf.com/br/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/bearing-selection-process/bearing-size/size-selection-based-on-rating-life>

### 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 Rolamento NSK

$$P = f_{wr} \cdot X \cdot F_r + f_{wa} \cdot Y \cdot F_c$$

## Vida Recomendada para o Rolamento Shigley – Mechanical Engineering Design

Recomendações acerca da vida de mancais para várias classes de maquinaria.

Tipo de aplicação	Vida, kh
Instrumentos e aparatos de uso não frequente	Até 0,5
Motores de aeronaves	0,5–2
Máquinas para operação curta, ou intermitente, em que a interrupção do serviço é de importância menor	4–8
Máquinas para serviço intermitente em que a confiabilidade de operação é de grande importância	8–14
Máquinas para serviço de 8 h que não são utilizadas de maneira plena	14–20
Máquinas para serviço de 8 h que são utilizadas de maneira plena	20–30
Máquinas para serviço contínuo de 24 h	50–60
Máquinas para serviço de 24 h em que a confiabilidade é de importância extrema	100–200

# Exercício 1

Definir a vida nominal ajustada de um mancal de rolamento rígido de uma carreira de esferas, com código 6208, quando submetido a uma carga radial de 5500 N e girando com uma rotação de 320 rpm. Pedese definir as vidas para confiabilidades de 90% e 97%

# Exercício 1

Definir a vida nominal ajustada de um mancal de rolamento rígido de uma carreira de esferas, com código 6208, quando submetido a uma carga radial de 5500 N e girando com uma rotação de 320 rpm. Pede-se definir as vidas para confiabilidades de 90% e 97%

Capacidade de Carga Dinâmica

$$C = 30700 \text{ N}$$

Carga Radial no Mancal

$$P = 5500 \text{ N}$$

Confiabilidade %	a1
90 (L <sub>10</sub> )	1
95 (L <sub>5</sub> )	0,62
96 (L <sub>4</sub> )	0,53
97 (L <sub>3</sub> )	0,44
98 (L <sub>2</sub> )	0,33
99 (L <sub>1</sub> )	0,21

Mancal de Rolamento Rígido de Uma Carreira de Esferas Código 6208

Dimensões principais			Capacidades de carga		Carga limite de fadiga P <sub>u</sub>	Velocidades de referência		Massa	Designação
d	D	B	dinâm. C	estát. C <sub>0</sub>		Lubrificação graxa	óleo		
mm			N	N	N	r/min	kg	-	
35	47	7	4 750	3 200	166	13 000	16 000	0,030	61807
	55	10	9 560	6 200	290	11 000	14 000	0,080	61907
	62	9	12 400	8 150	375	10 000	13 000	0,11	16007
	62	14	15 900	10 200	440	10 000	13 000	0,16	6007
	72	17	25 500	15 300	655	9 000	11 000	0,29	6207
	80	21	33 200	19 000	815	8 500	10 000	0,46	6307
	100	25	55 300	31 000	1 290	7 000	8 500	0,95	6407
40	52	7	4 940	3 450	186	11 000	14 000	0,034	61808
	62	12	13 800	9 300	425	10 000	13 000	0,12	61908
	68	9	13 300	9 150	440	9 500	12 000	0,13	16008
	68	15	16 800	11 600	490	9 500	12 000	0,19	6008
	80	18	30 700	19 000	800	8 500	10 000	0,37	6208
	90	23	41 000	24 000	1 020	7 500	9 000	0,63	6308
	110	27	63 700	36 500	1 530	6 700	8 000	1,25	6408

## 1ª Questão: Vida para Confiabilidade de 90%

Fórmula Geral de Vida Ajustada:  $L_a = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^n$

Vida para Confiabilidade de 90%  $\Rightarrow L_{10} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^n$

Confiabilidade de 90% (a<sub>1</sub>)  $\Rightarrow a_1 = 1$

Material padrão  $\Rightarrow a_2 = 1$

Lubrificação conforme recomendação  $\Rightarrow a_3 = 1$

Rolamento de Esferas  $\Rightarrow n = 3$

$$L_{10} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^n$$

$$L_{10} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left(\frac{30700}{5500}\right)^3 = 173,911 \text{ (milhões de revoluções)}$$

$$L_{10h} = \frac{L_{10} \cdot 10^6}{60 \cdot n} = \frac{173,911 \cdot 10^6}{60 \cdot 320} = 9057,86 \text{ h (horas)}$$

# Exercício 1

Definir a vida nominal ajustada de um mancal de rolamento rígido de uma carreira de esferas, com código 6208, quando submetido a uma carga radial de 5500 N e girando com uma rotação de 320 rpm. Pede-se definir as vidas para confiabilidades de 90% e 97%

Capacidade de Carga Dinâmica

$$C = 30700 \text{ N}$$

Carga Radial no Mancal

$$P = 5500 \text{ N}$$

Confiabilidade %		a1
90	(L <sub>10</sub> )	1
95	(L <sub>5</sub> )	0,62
96	(L <sub>4</sub> )	0,53
97	(L <sub>3</sub> )	0,44
98	(L <sub>2</sub> )	0,33
99	(L <sub>1</sub> )	0,21

Mancal de Rolamento Rígido de Uma Carreira de Esferas Código 6208

Dimensões principais			Capacidades de carga		Carga limite de fadiga P <sub>u</sub>	Velocidades de referência		Massa	Designação
d	D	B	dinâm. C	estát. C <sub>0</sub>		Lubrificação graxa	óleo		
mm			N	N	N	r/min	kg	-	
35	47	7	4 750	3 200	166	13 000	16 000	0,030	61807
	55	10	9 560	6 200	290	11 000	14 000	0,080	61907
	62	9	12 400	8 150	375	10 000	13 000	0,11	16007
	62	14	15 900	10 200	440	10 000	13 000	0,16	6007
	72	17	25 500	15 300	655	9 000	11 000	0,29	6207
	80	21	33 200	19 000	815	8 500	10 000	0,46	6307
	100	25	55 300	31 000	1 290	7 000	8 500	0,95	6407
40	52	7	4 940	3 450	186	11 000	14 000	0,034	61808
	62	12	13 800	9 300	425	10 000	13 000	0,12	61908
	68	9	13 300	9 150	440	9 500	12 000	0,13	16008
	68	15	16 800	11 600	490	9 500	12 000	0,19	6008
	80	18	30 700	19 000	800	8 500	10 000	0,37	6208
	90	23	41 000	24 000	1 020	7 500	9 000	0,63	6308
	110	27	63 700	36 500	1 530	6 700	8 000	1,25	6408

## 2ª Questão: Vida para Confiabilidade de 97%

Fórmula Geral de Vida Ajustada:  $L_a = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^n$

Vida para Confiabilidade de 97%  $\Rightarrow L_3 = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^n$

Confiabilidade de 97% (a<sub>1</sub>)  $\Rightarrow a_1 = 0,44$

Material padrão  $\Rightarrow a_2 = 1$

Lubrificação conforme recomendação  $\Rightarrow a_3 = 1$

Rolamento de Esferas  $\Rightarrow n=3$

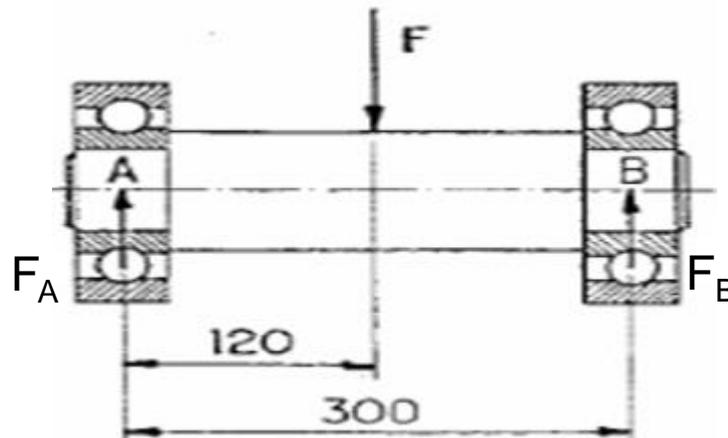
$$L_3 = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^n$$

$$L_3 = 0,44 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \left(\frac{30700}{5500}\right)^3 = 76,52 \text{ (milhões de revoluções)}$$

$$L_{3h} = \frac{L_3 \cdot 10^6}{60 \cdot n} = \frac{76,52 \cdot 10^6}{60 \cdot 320} = 3985,48 \text{ h (horas)}$$

# Exercício 2

O eixo (diâmetro 35 mm), de um equipamento, gira a uma rotação de 800 rpm. Determine os mancais de rolamento rígidos de uma carreira de esferas que devem ser instalados em suas extremidades, sendo a vida esperada de 5000 horas para uma confiabilidade de 90%

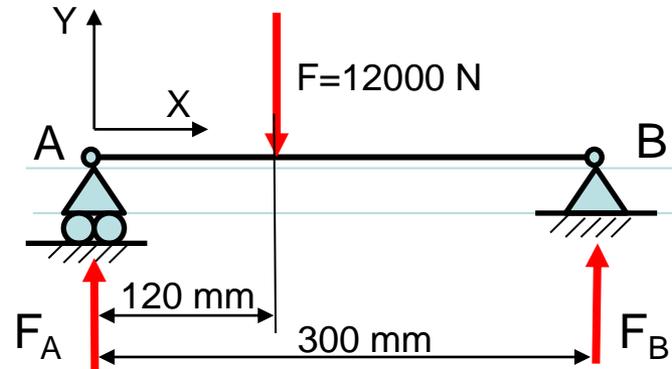


$$F=12000\text{N}$$

# Exercício 2

Modelo para cálculo dos esforços atuantes nos rolamentos é:

➤ Viga Bi- Apoiada onde os rolamentos são os apoios



a) Equilíbrio de Forças

$$\text{Em Y: } \sum F_Y = 0 \quad -12000 + F_A + F_B = 0$$

$$\text{Em X: } \sum F_X = 0$$

a) Equilíbrio de Momentos

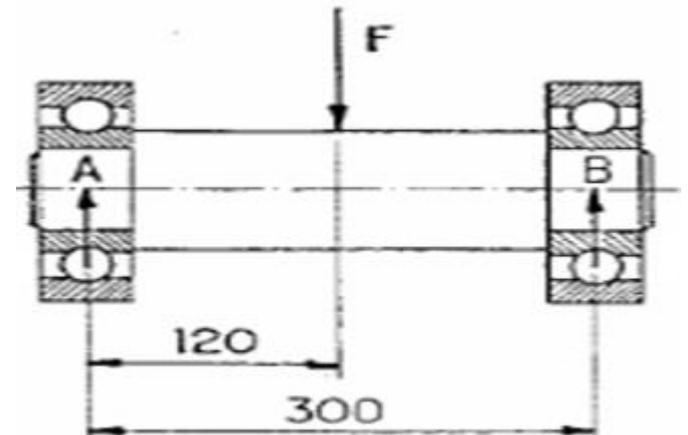
$$\text{Em A: } \sum M_A = 0$$

$$-12000 \times 120 + F_B \times 300 = 0$$

$$F_B = 4800 \text{ N}$$

$$F_A = 12000 - 4800 = 7200 \text{ N}$$

$$F_A = 7200 \text{ N}$$



# Exercício 2

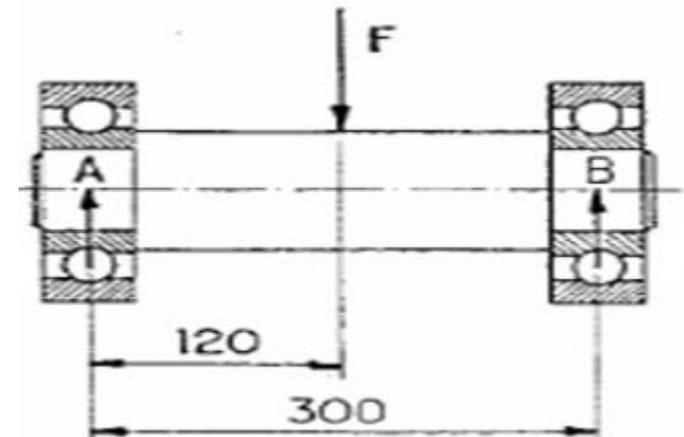
Vida Requerida para os Mancais de Rolamento: 5000 h (horas)

Confiabilidade: 90 %  $\Rightarrow a_1 = 1$

Capacidade de Carga Requerida  $L_{10h} = \frac{10^6 \cdot L_{10}}{60 \cdot n} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot a_1^1 \cdot a_2^1 \cdot a_3^1 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^3$

$$\left(\frac{C}{P}\right)^3 = \frac{L_{10h} \cdot 60 \cdot n}{10^6} \quad C = P \cdot \sqrt[3]{\frac{L_{10h} \cdot 60 \cdot n}{10^6}} \quad n = 800 \text{ rpm}$$

Para o caso em estudo:  $C = P \cdot \sqrt[3]{\frac{5000 \cdot 60 \cdot 800}{10^6}} \quad C = 6,2145 \cdot P$



### Para o Mancal de Rolamento da Posição A

$$P = F_A = 7200 \text{ N} \quad C = 6,2145 \times 7200 \quad C = 44744 \text{ N}$$

Mancal Selecionado (Catálogo disponível nas notas de aula) : 6407  $\Rightarrow$   $C = 55300 \text{ N}$

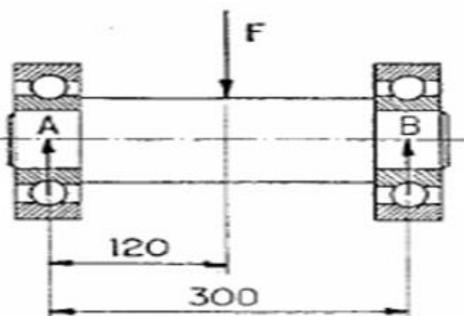
$$d = 35 \text{ mm} \quad D = 100 \text{ mm} \quad B = 25 \text{ mm}$$

### Para o Mancal de Rolamento da Posição B

$$P = F_B = 4800 \text{ N} \quad C = 6,2145 \times 4800 \quad C = 29829 \text{ N}$$

Mancal Selecionado (Catálogo disponível nas notas de aula) : 6307  $\Rightarrow$   $C = 33200 \text{ N}$

$$d = 35 \text{ mm} \quad D = 80 \text{ mm} \quad B = 21 \text{ mm}$$



Dimensões principais			Capacidades de carga		Carga limite de fadiga $P_u$	Velocidades de referência		Massa	Designação
d	D	B	dinâm. C	estát. $C_0$		Lubrificação graxa	óleo		
mm			N		N	r/min		kg	-
35	47	7	4 750	3 200	166	13 000	16 000	0,030	61807
	55	10	9 560	6 200	290	11 000	14 000	0,080	61907
	62	9	12 400	8 150	375	10 000	13 000	0,11	16007
	62	14	15 900	10 200	440	10 000	13 000	0,16	6007
	72	17	25 500	15 300	655	9 000	11 000	0,29	6207
	80	21	33 200	19 000	815	8 500	10 000	0,46	6307
	100	25	55 300	31 000	1 290	7 000	8 500	0,95	6407