

SKF

Análise de Falhas em Rolamentos

Treinamento SKF
Local: SANTISTA TEXTIL -
ARACAJÚ
30/04/2015

**João Cavalcanti
Martins**
Segmento Textil

Objetivo

Capacitar multiplicadores a reconhecer e analisar marcas de falhas em rolamentos e intervir de forma pró-ativa na melhoria das condições de funcionamento dos equipamentos.

Conteúdo

Manhã

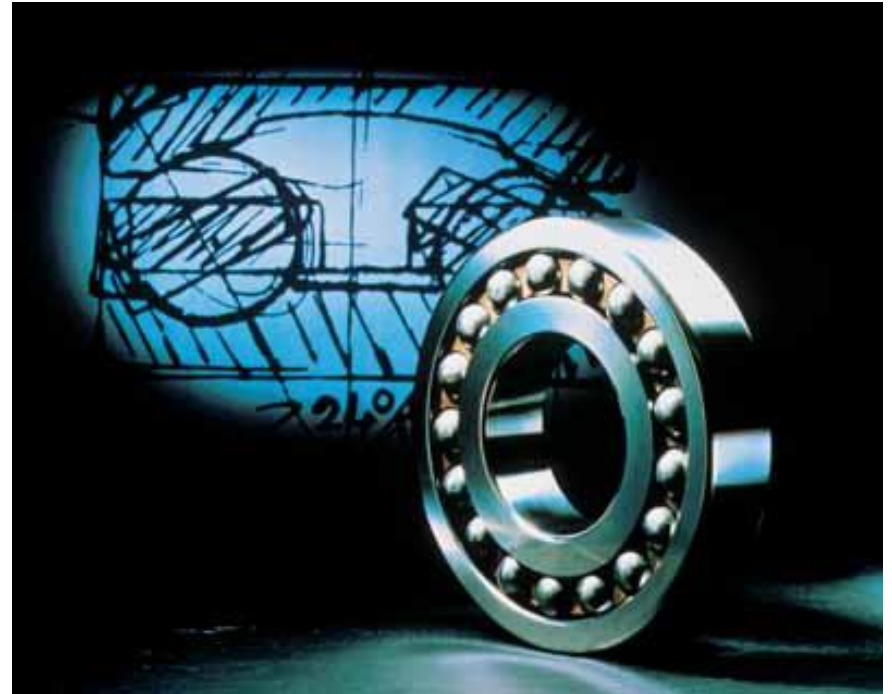
- Introdução
- Atrito
- Lubrificação
- Vida Útil

Tarde

- Marcas de Superfície
- Árvore de Falhas
 - Fadiga
 - Desgaste
 - Corrosão
 - Erosão Elétrica
 - Deformação Plástica
 - Trincas

1

A História do Rolamento



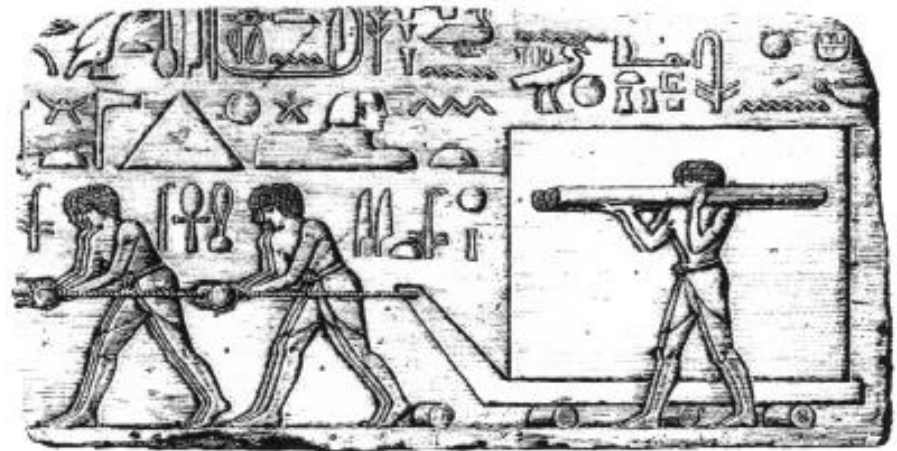
História



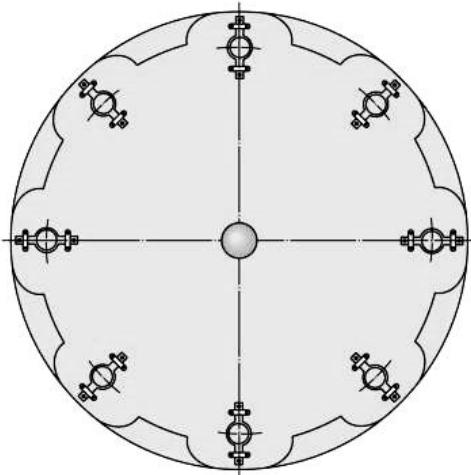
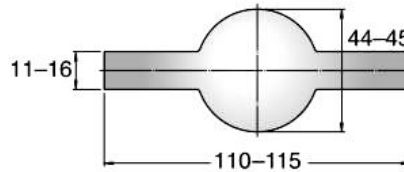
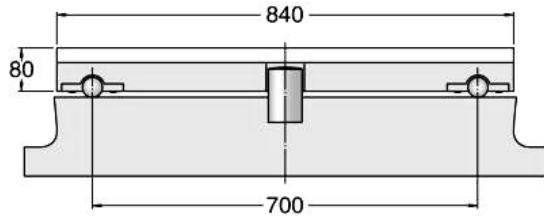
2.600 A.C.

Pirâmide de Quéops

**2,3 milhões de blocos de
calcário, de 2,5 ton. cada.**

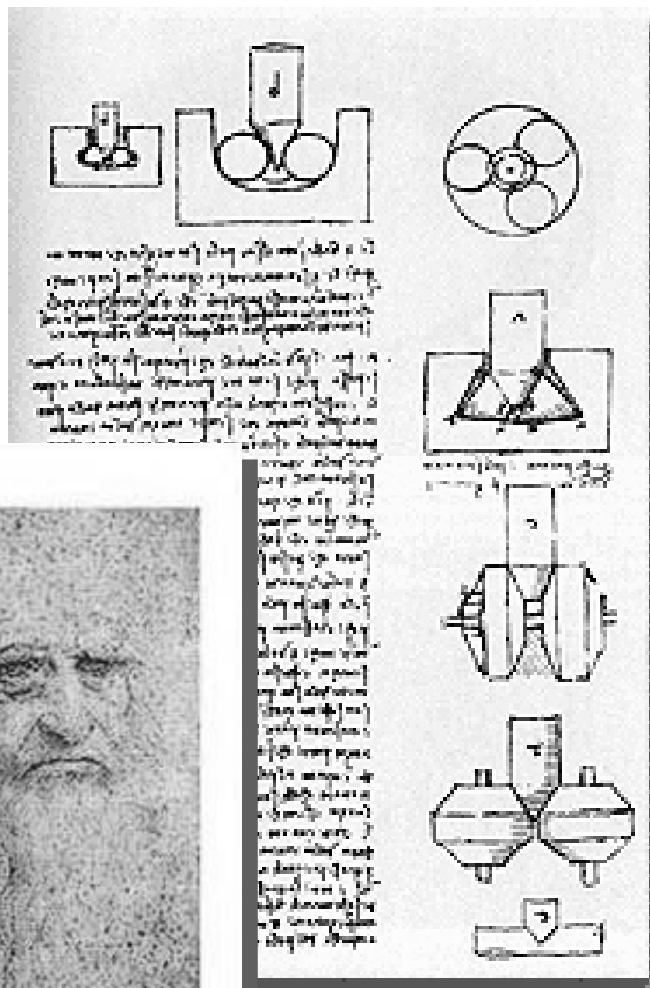


História



40 A.C. - Pedacos de uma mesa apoiada sobre rolamentos em um barco romano - Lago Remi – Itália

História



1.500 D.C.

**Leonardo Da Vinci projeta o
que seria o primeiro
rolamento moderno**



História



1780 D.C. - Inglaterra

**Rolamento de 860 mm
com 40 esferas**

História



1905

O sueco Sven Wingquist
inveta o rolamento
autocompensador de esferas



1907

Wingquist funda a SKF
ou seja,
Svenska Kullager Fabriken

2

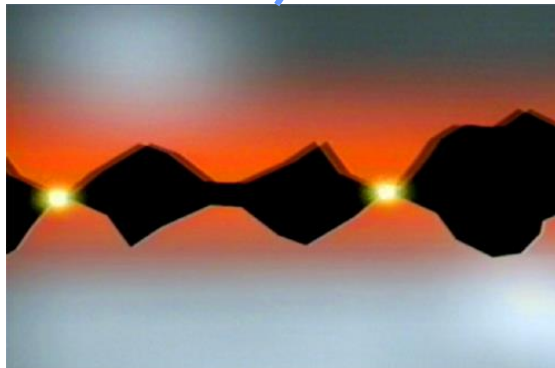
O Atrito



Atrito



Atrito é toda a força que se opõe ao movimento.



Existe liberação de energia em forma de calor

Atrito

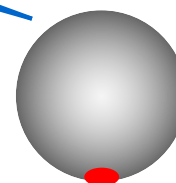


A área de contato com o chão foi reduzida

Área de Contato

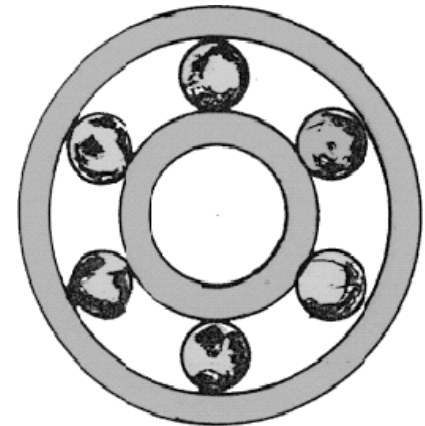
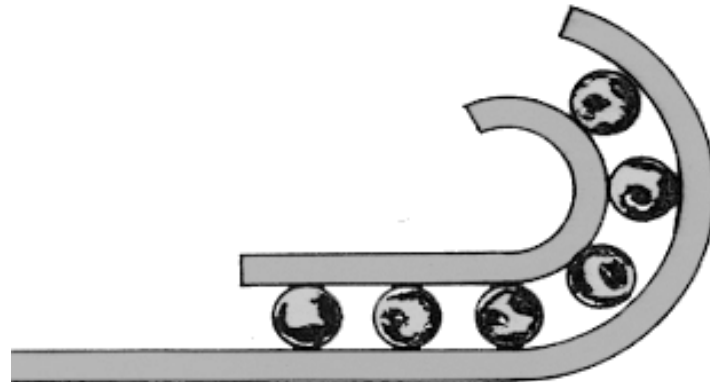


Antes



Depois

Atrito



Momento de Atrito - Simplificado

$$M = 0,5 \mu.F.d$$

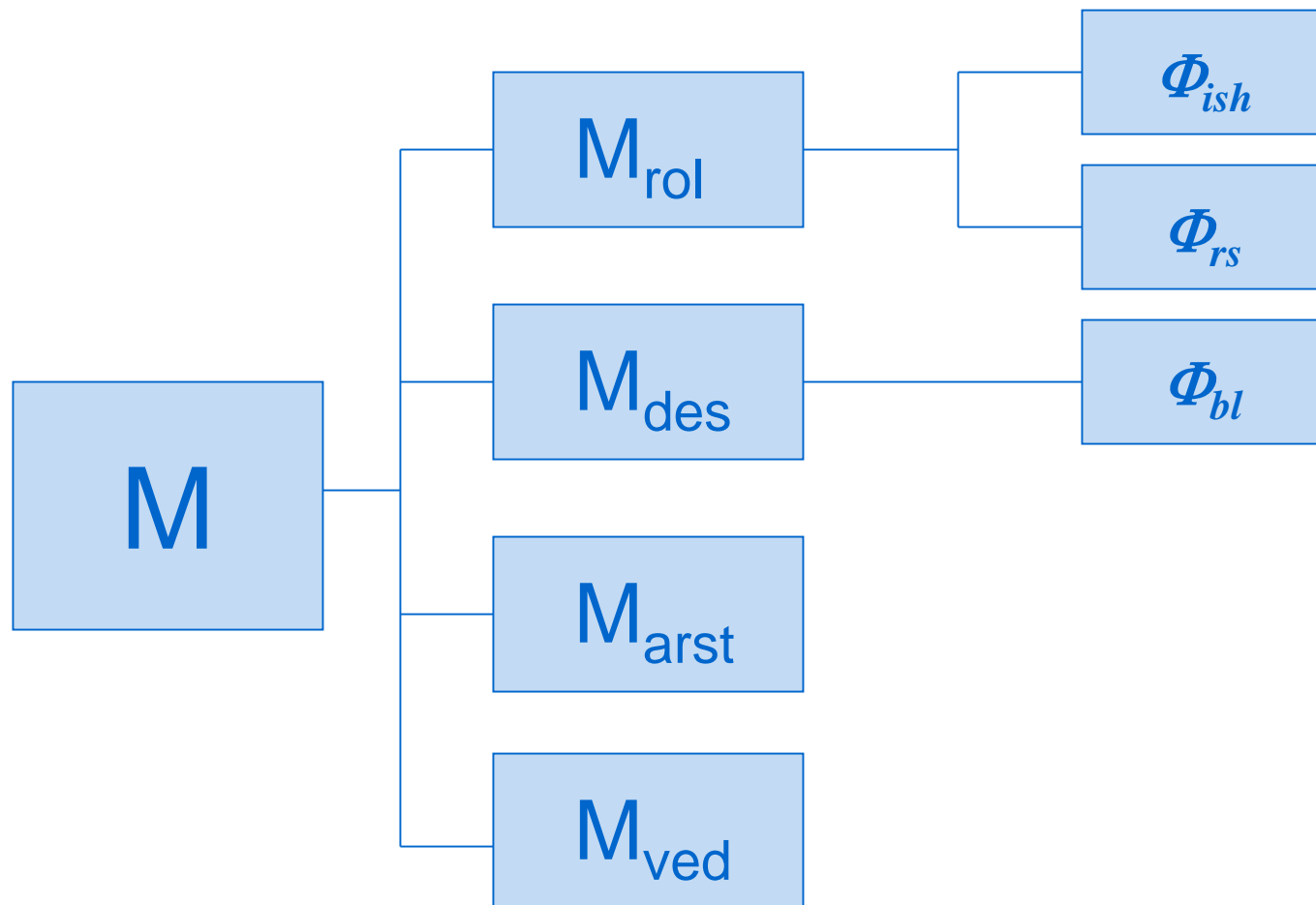
μ – Coeficiente de Atrito

F – Carga Dinâmica do Rolamento

d – Diâmetro Interno do Rolamento

Tipo de rolamento	Coeficiente de fricção (μ)
Rolamentos rígidos de esferas	0,0015
Rolamentos de esferas de contato angular	
uma carreira	0,0020
duas carreiras	0,0024
Rolamentos autocompensadores de esferas	0,0010
Rolamentos de rolos cilíndricos	0,0011
Rolamentos de rolos cônicos	0,0018
Rolamentos autocompensadores de rolos	0,0018
rolamentos de rolos toroidais CARB	0,0016
Rolamentos axiais de esferas	0,0013
Rolamentos axiais de rolos cilíndricos	0,0050
Rolamentos axiais autocompensadores de rolos	0,0018

Componentes do Atrito nos Rolamentos

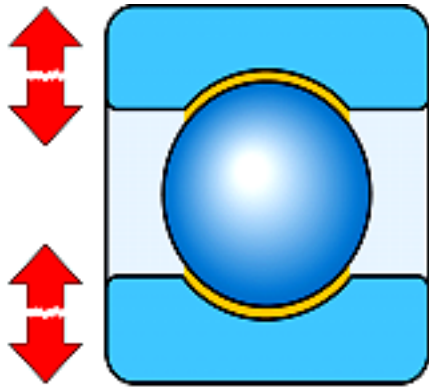


3

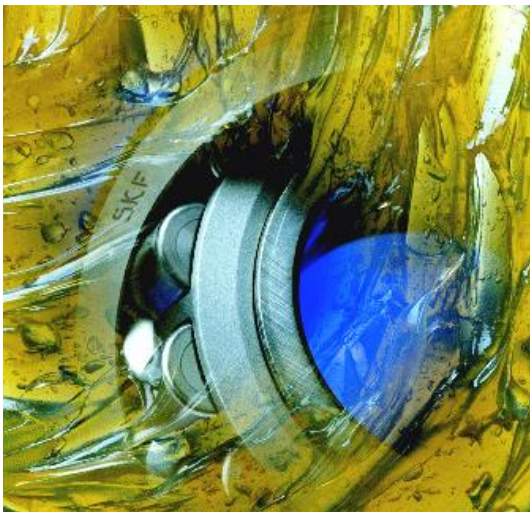
Lubrificação



Por que Lubrificar ?



- Separar as superfícies entre os anéis e os elementos girantes, diminuindo o atrito e o desgaste (contato metal-metal);

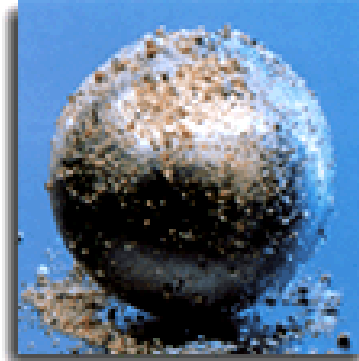


- Proteger o rolamento contra a contaminação e a corrosão;
- Retirar calor

Falhas em Rolamentos



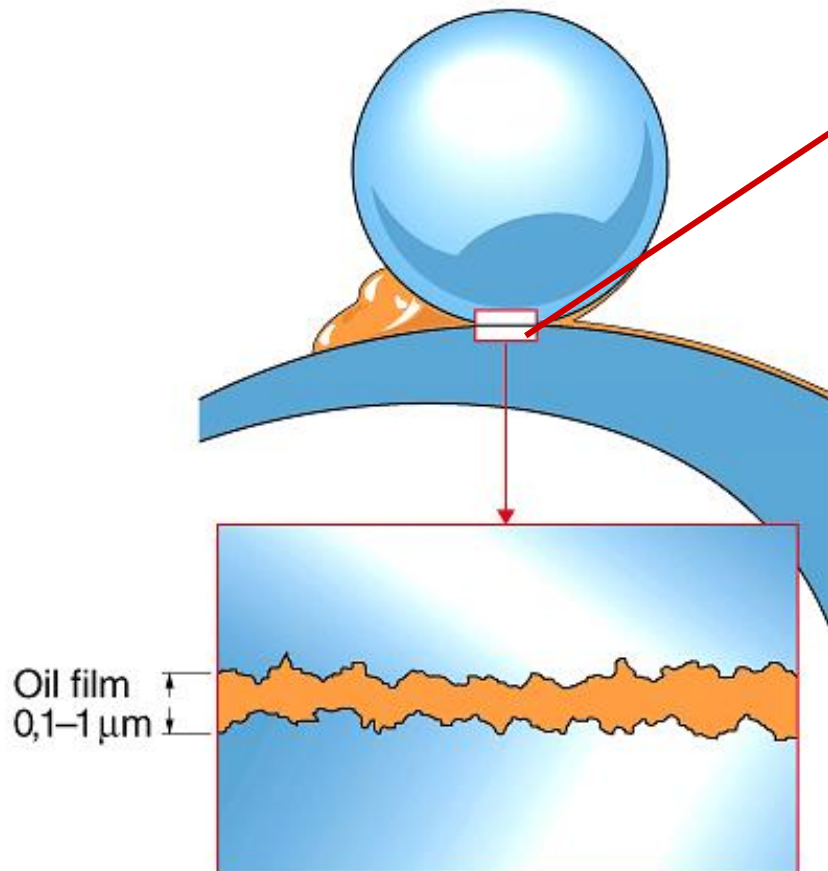
36%
Lubrificação
Inadequada



14%
Contaminação

= 50% das Falhas

Filme Lubrificante



$$E_f = 0,0005 \text{ mm}$$

Ou seja:

200 vezes mais fino que
uma folha de Papel,



Folha de Papel

Parâmetros de Operação de Rolamentos

Parâmetros de operação de rolamentos

Temperatura



M	= Média	-30 a 110 °C
H	= Alta	-20 a 130 °C
L	= Baixa	-50 a 80 °C

Carga



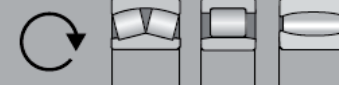
VH	= Muito alta	C/P < 2
H	= Alta	C/P = 2-5
M	= Média	C/P = 5-10
L	= Baixa	C/P > 10

Velocidade para rolamentos de esferas



EH	= Extremamente alta	n.dm até 700 000
VH	= Muito alta	n.dm até 700 000
H	= Alta	n.dm até 500.000
M	= Média	n.dm até 300 000

Velocidade para rolamentos de rolos



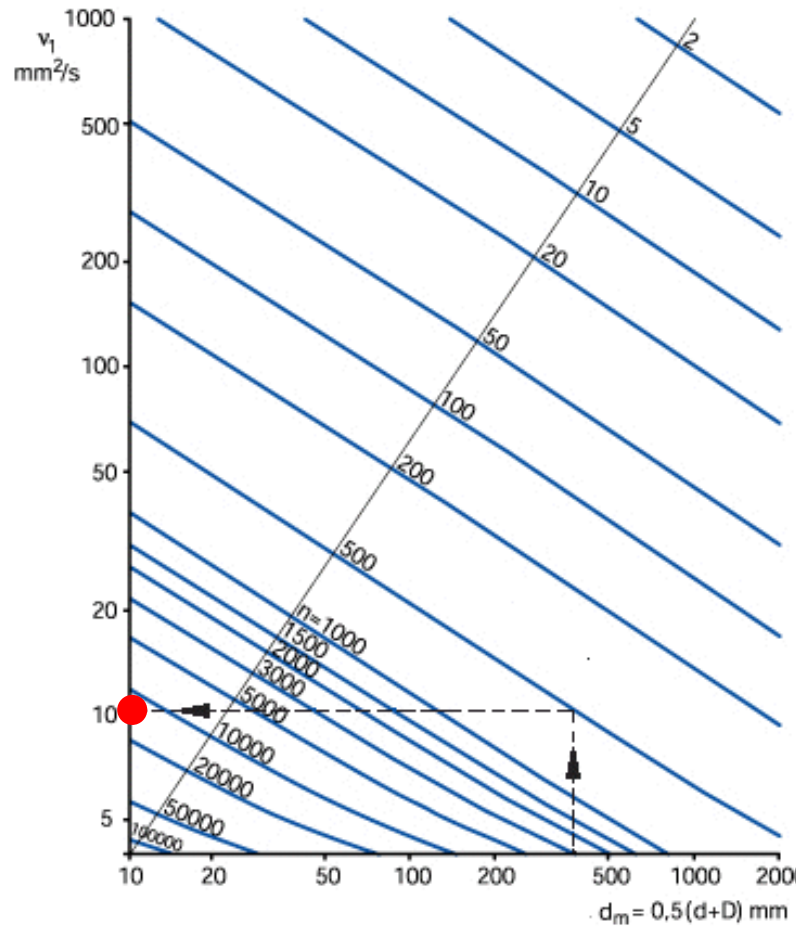
H	= Alta	n.dm acima de 150.000
M	= Média	n.dm até 150.000
L	= Baixa	n.dm até 75.000
VL	= Muito baixa	n.dm abaixo de 30.000

Graxa x Óleo

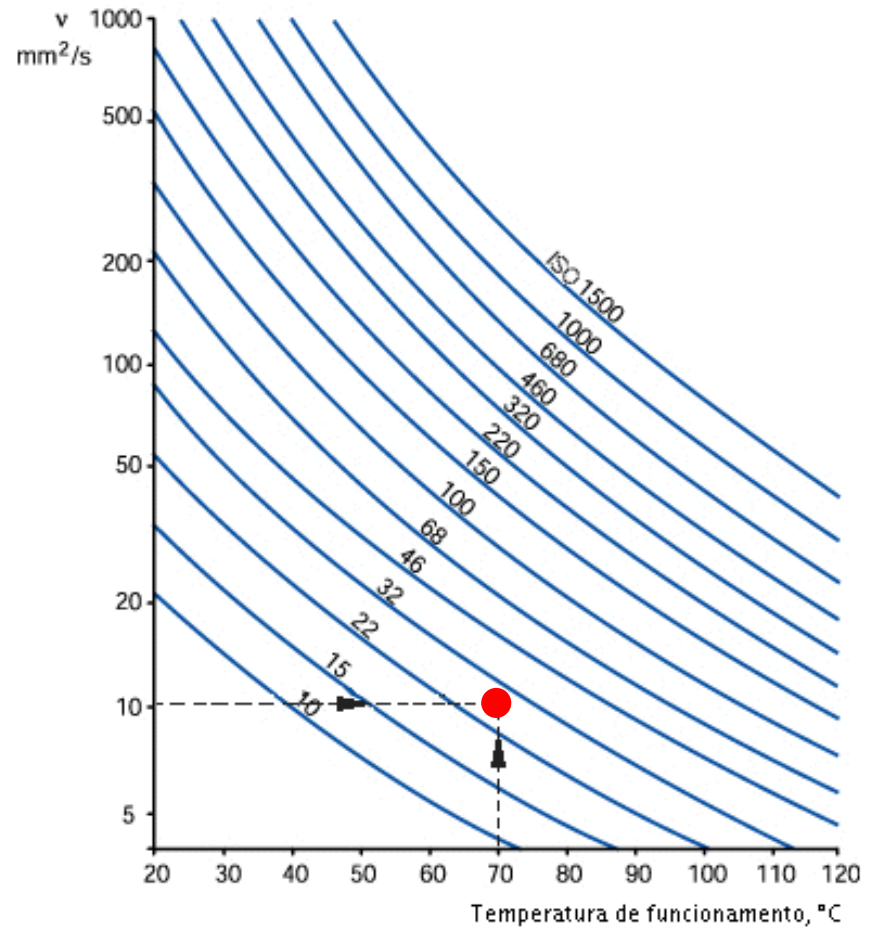
Folha de Papel

Seleção da Viscosidade

Viscosidade requerida na temperatura de funcionamento



Viscosidade na temperatura de funcionamento

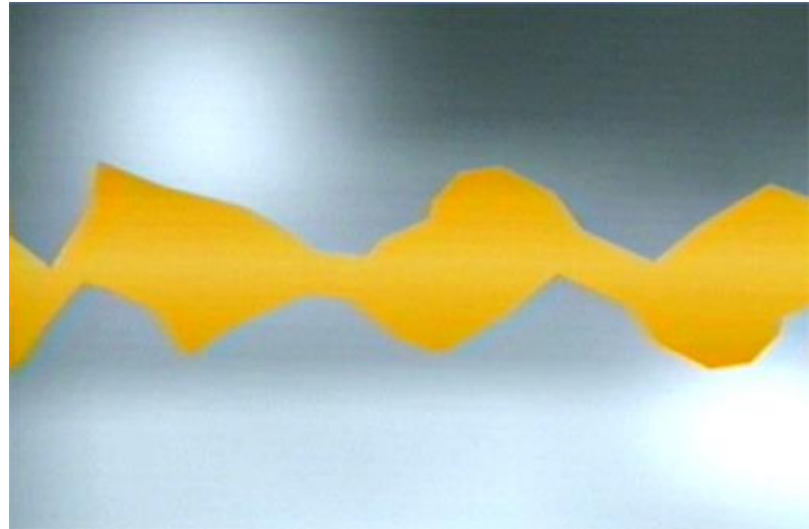


Fator K (Condição de Lubrificação)

$$K = \frac{v}{v_1}$$

v = viscosidade operacional

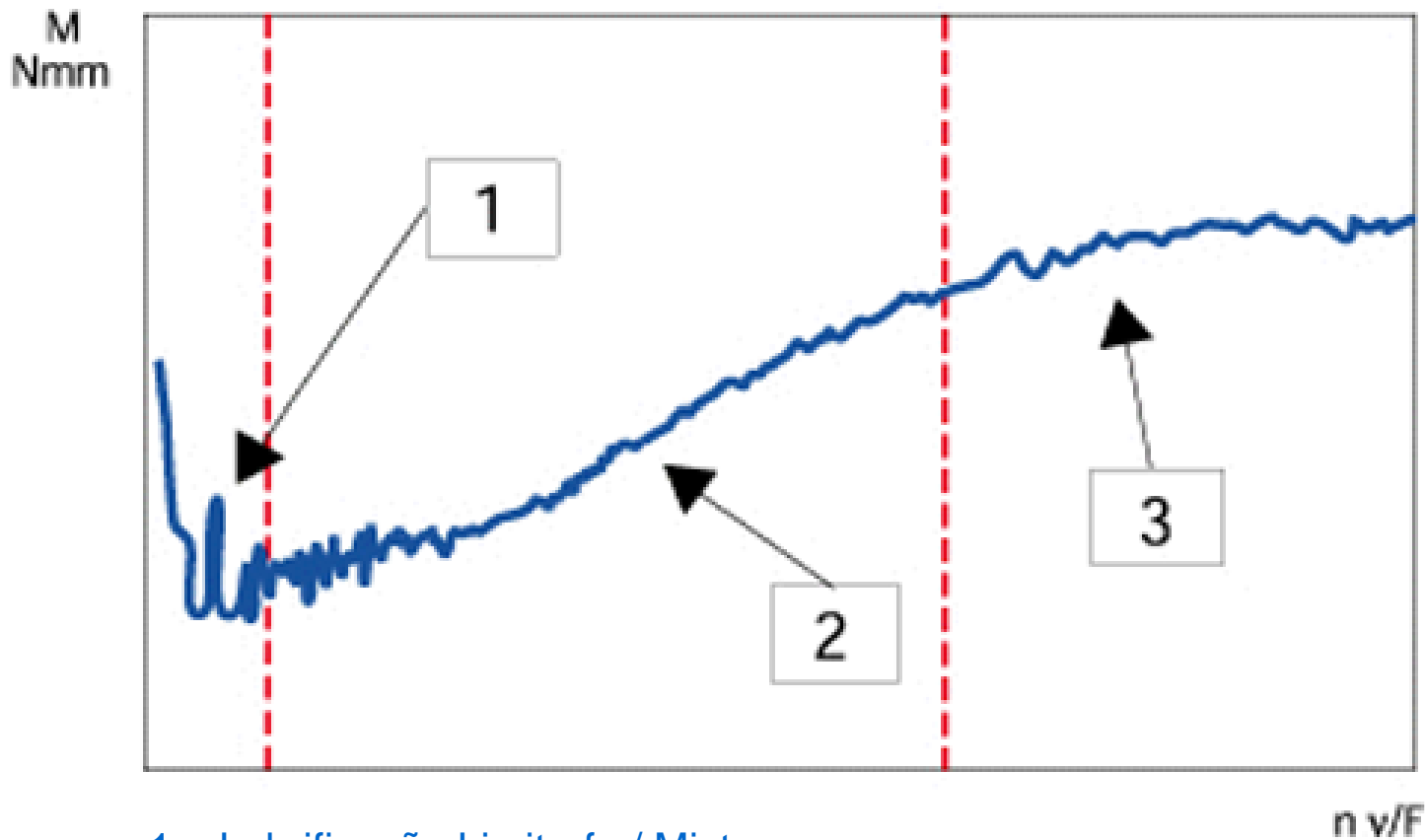
v_1 = viscosidade requerida



Para rolamentos, K deve ser:

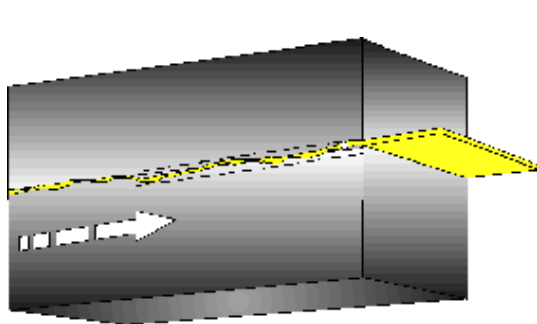
$$2 < K < 4$$

Tipos de Lubrificação

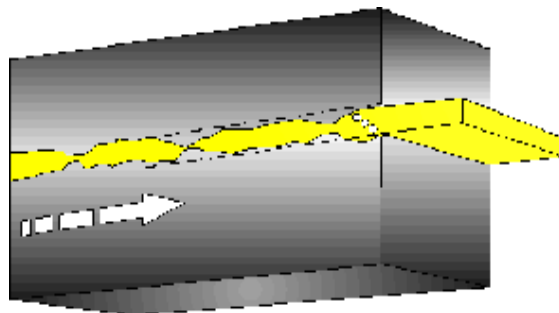


- 1 – Lubrificação Limitrofe / Mista
- 2 – Lubrificação Elastohidrodinâmica (EHL)
- 3 – EHL + Esgotamento Térmico

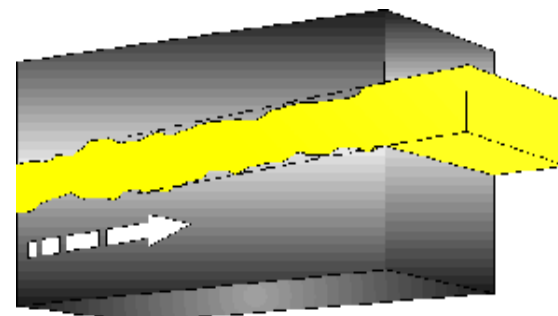
Tipos de Lubrificação



Limítrofe



Mista



Elastohidrodinâmica

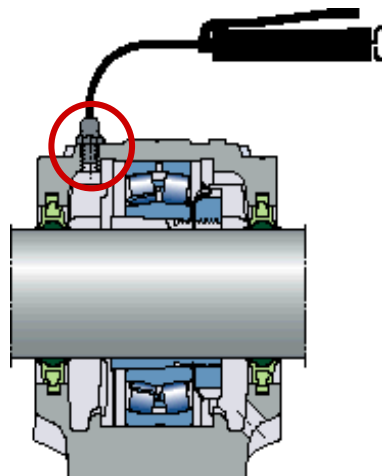
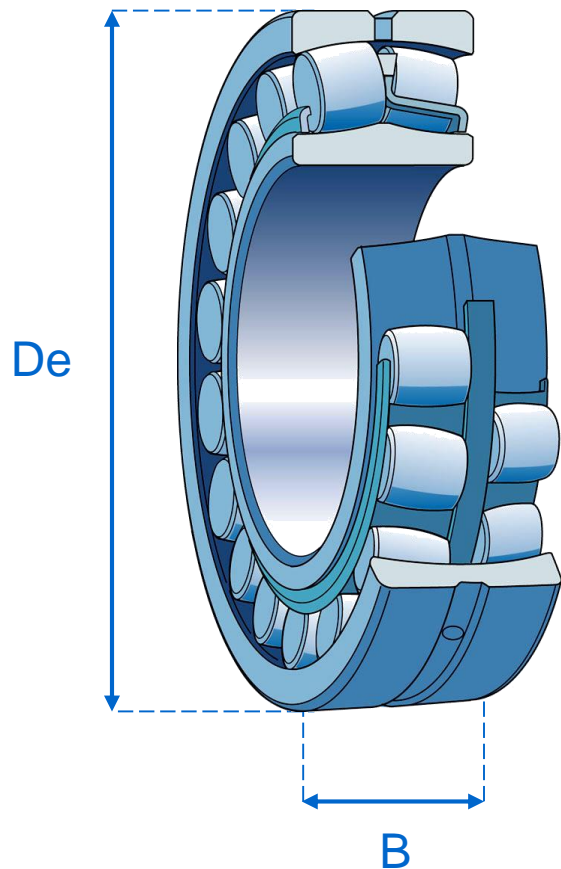
Quantidade de Graxa - Partida



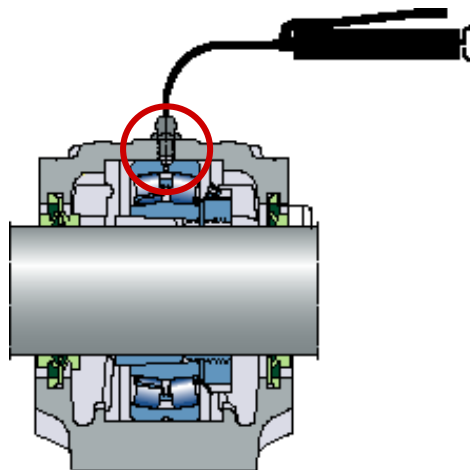
Na partida, o espaço livre do rolamento deverá estar completamente preenchido de graxa.

Os alojamentos devem estar parcialmente preenchidos com graxa.

Quantidade de Graxa - Relubrificação

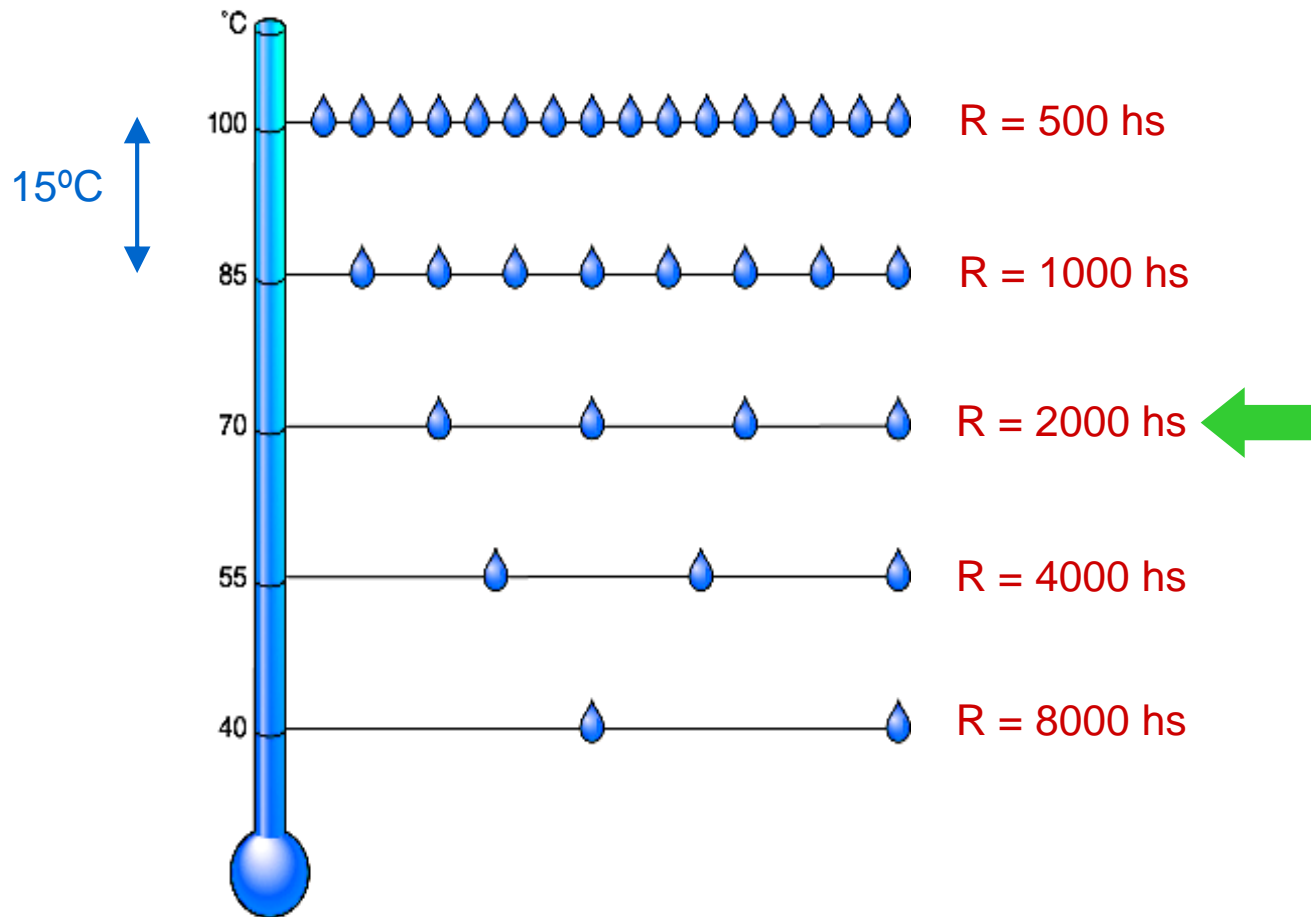


$$Q_L = 0,005 \times De \times B$$

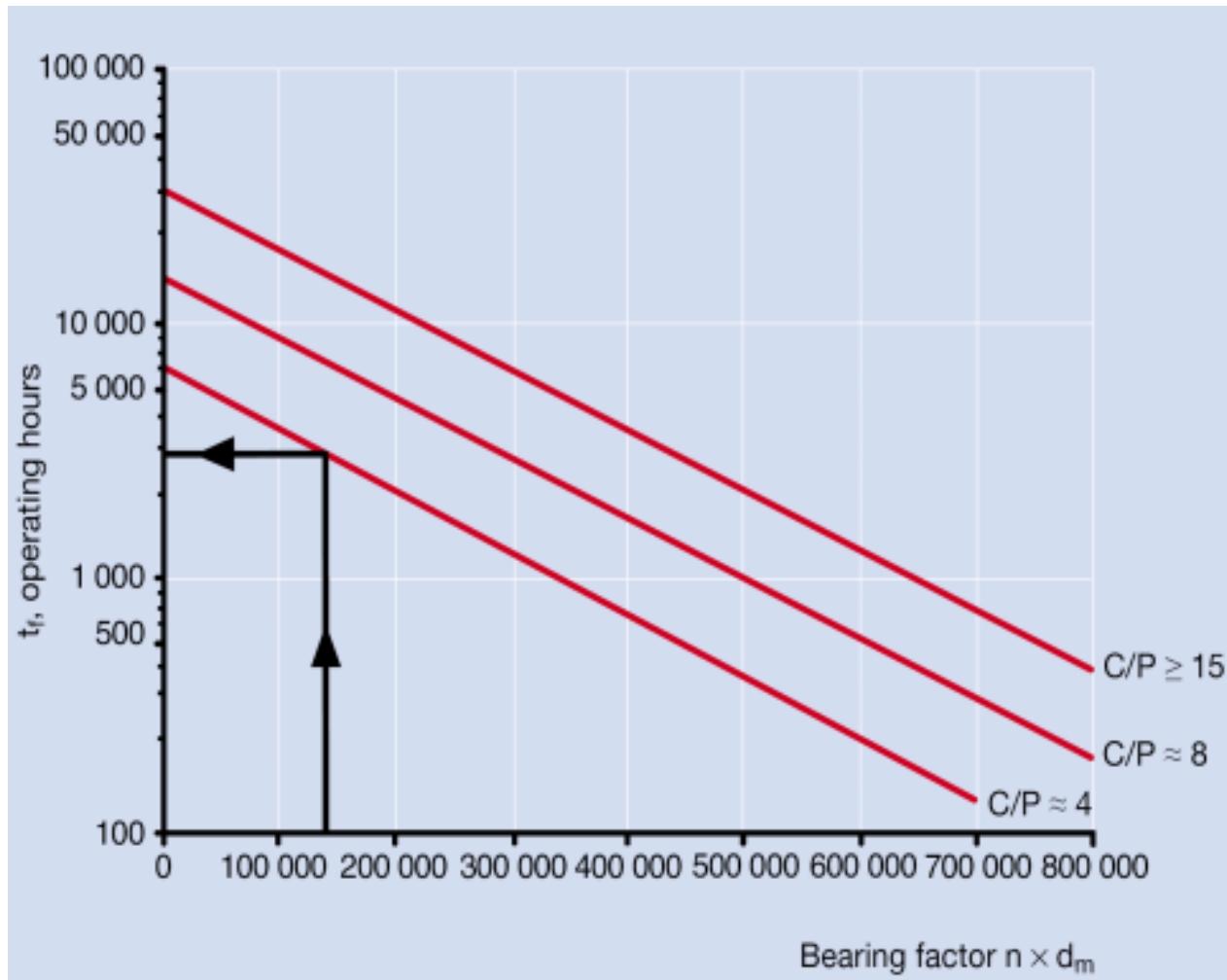


$$Q_A = 0,002 \times De \times B$$

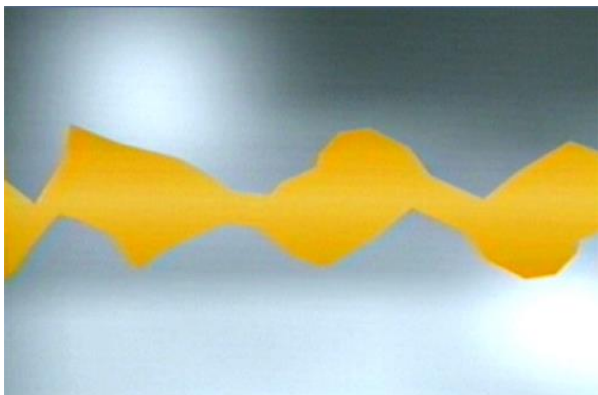
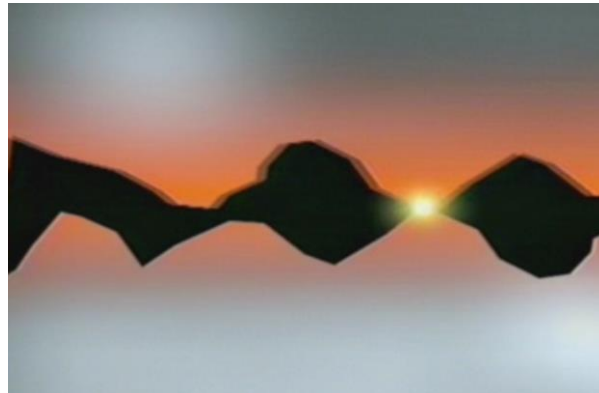
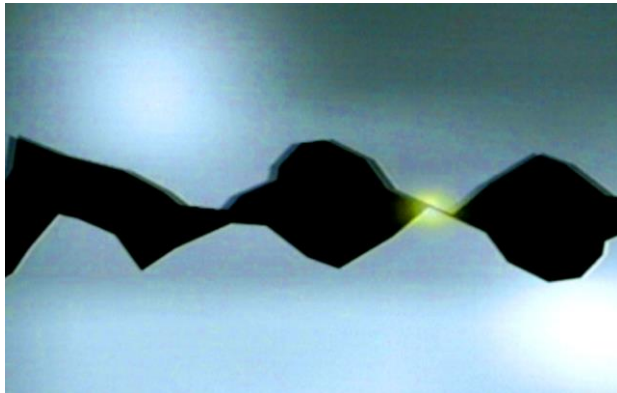
Intervalo de Relubrificação



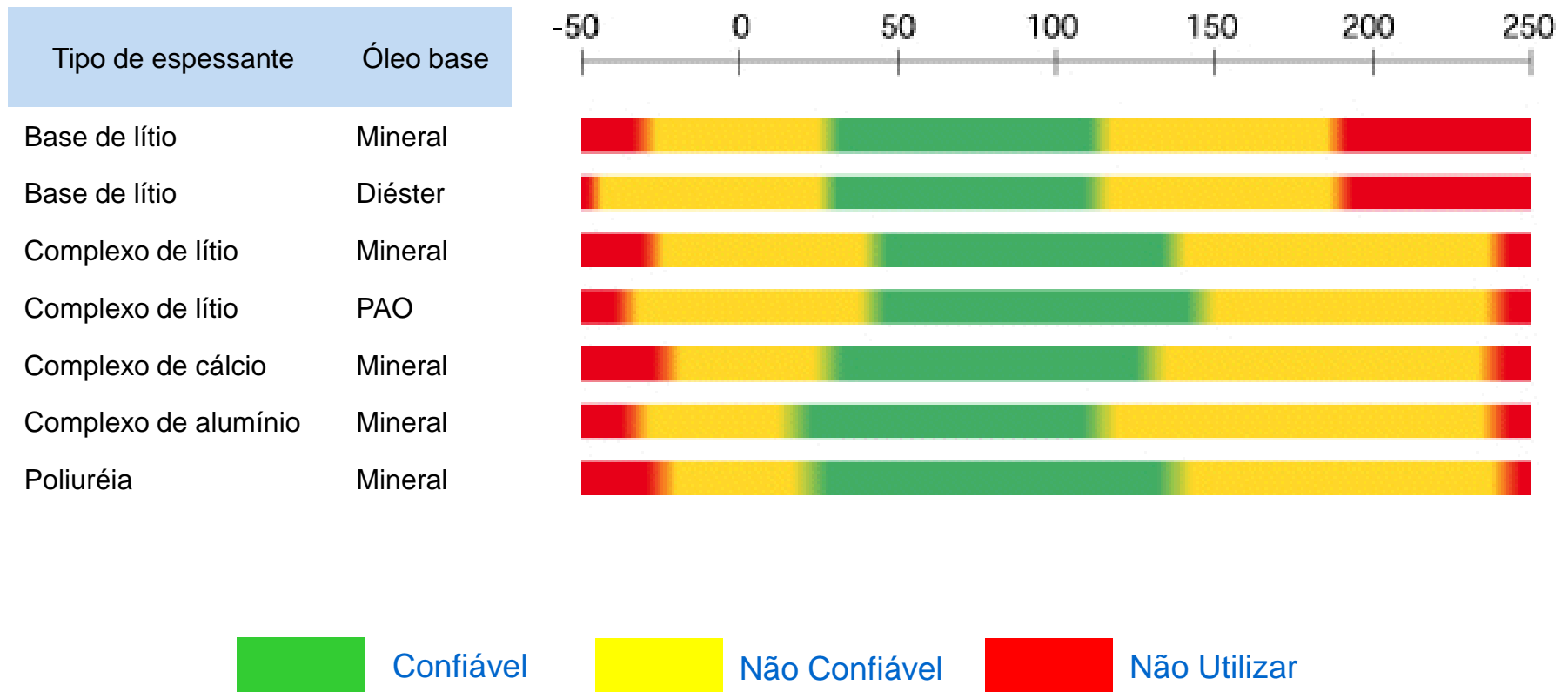
Intervalo de Relubrificação



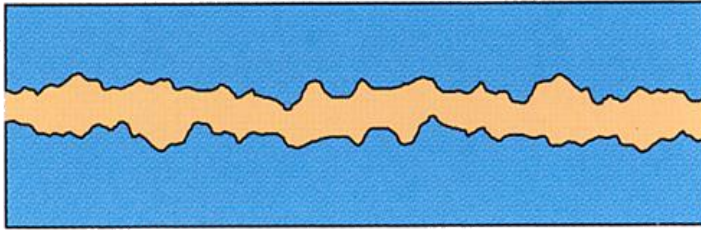
Tipos de Lubrificação



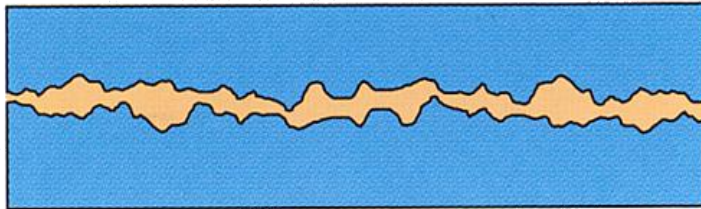
Graxas – Faixa de Temperatura



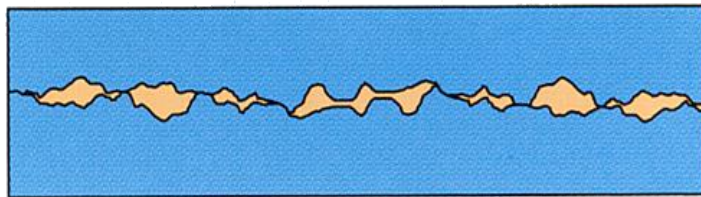
Tipos de Lubrificação



full lubrication



mixed lubrication



ν = Operating viscosity

ν_1 = Required viscosity

$$\lambda > 4$$

Full film
lubrication

$$\lambda = 1 - 4$$

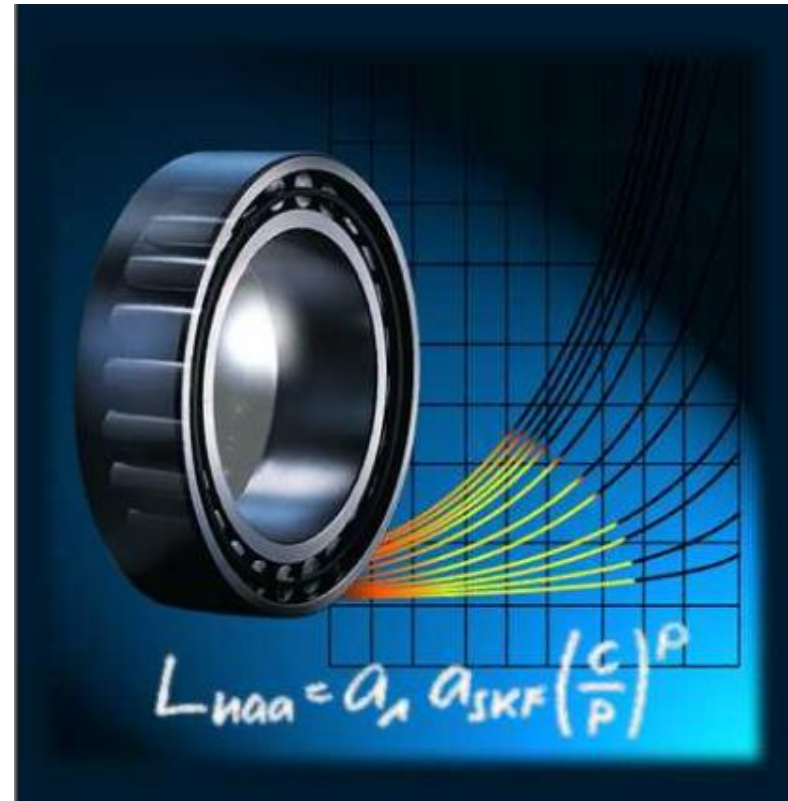
Mixed
lubrication

$$\lambda < 1$$

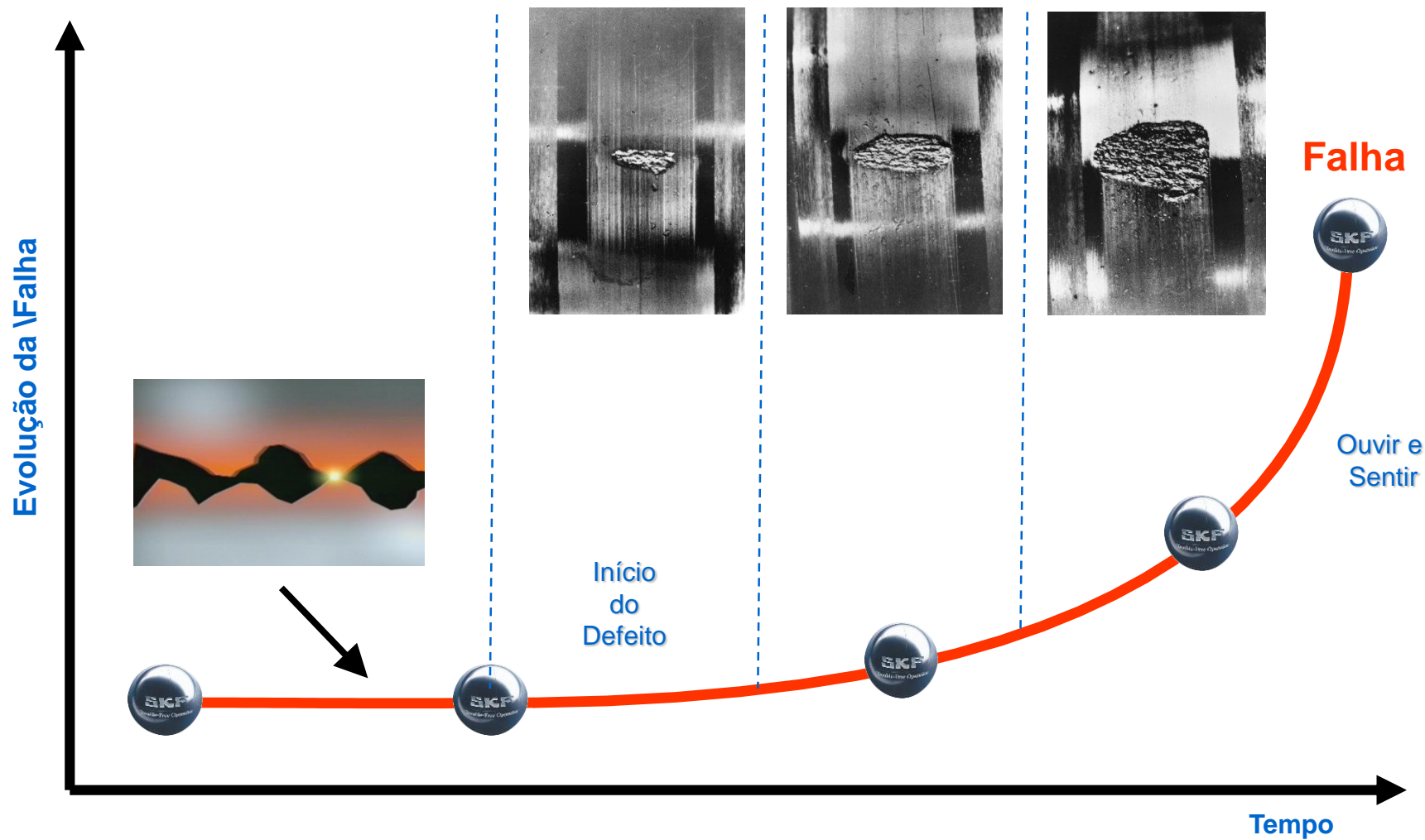
Boundary
lubrication

4

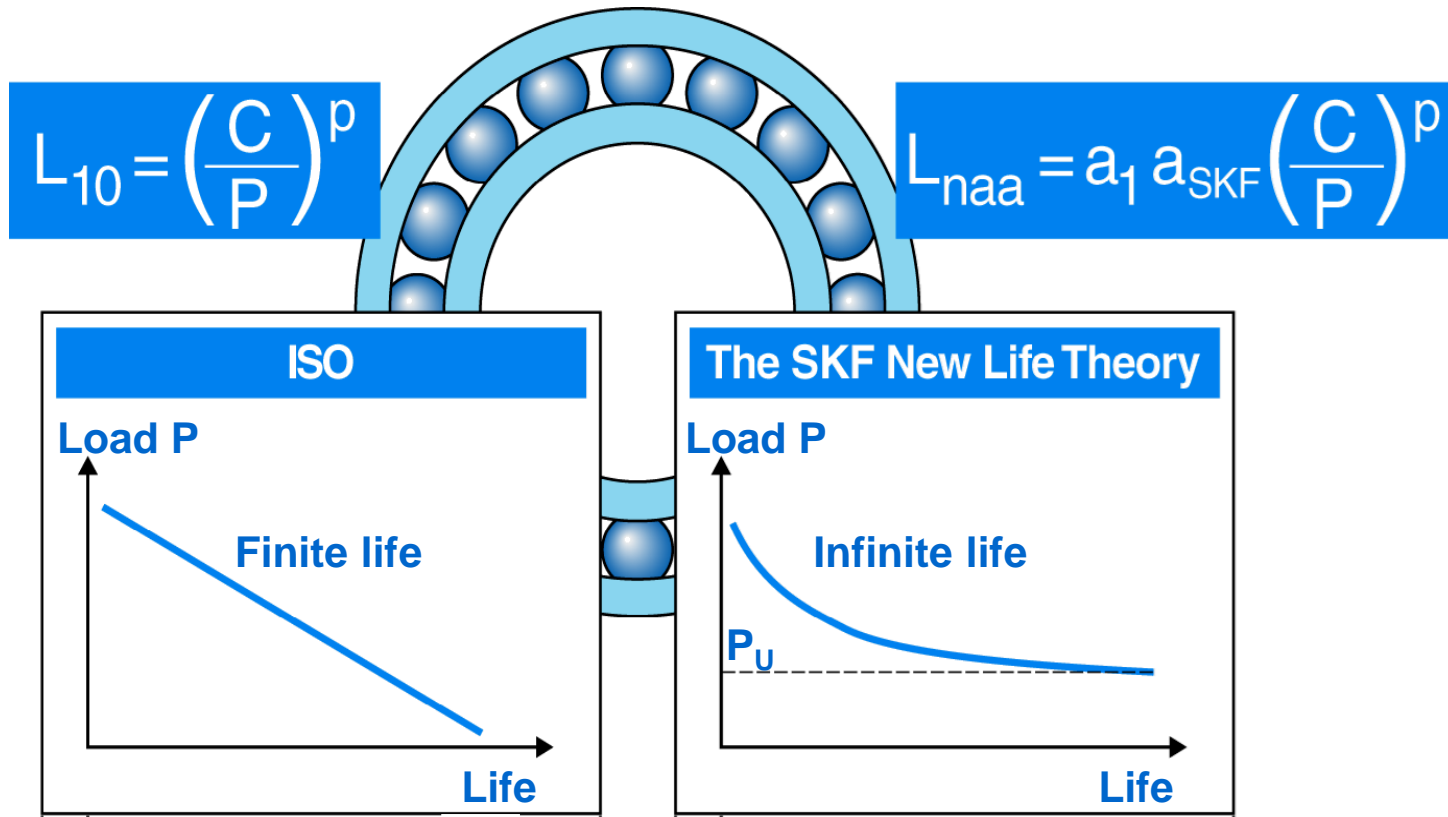
Vida Útil



Curva de Falha

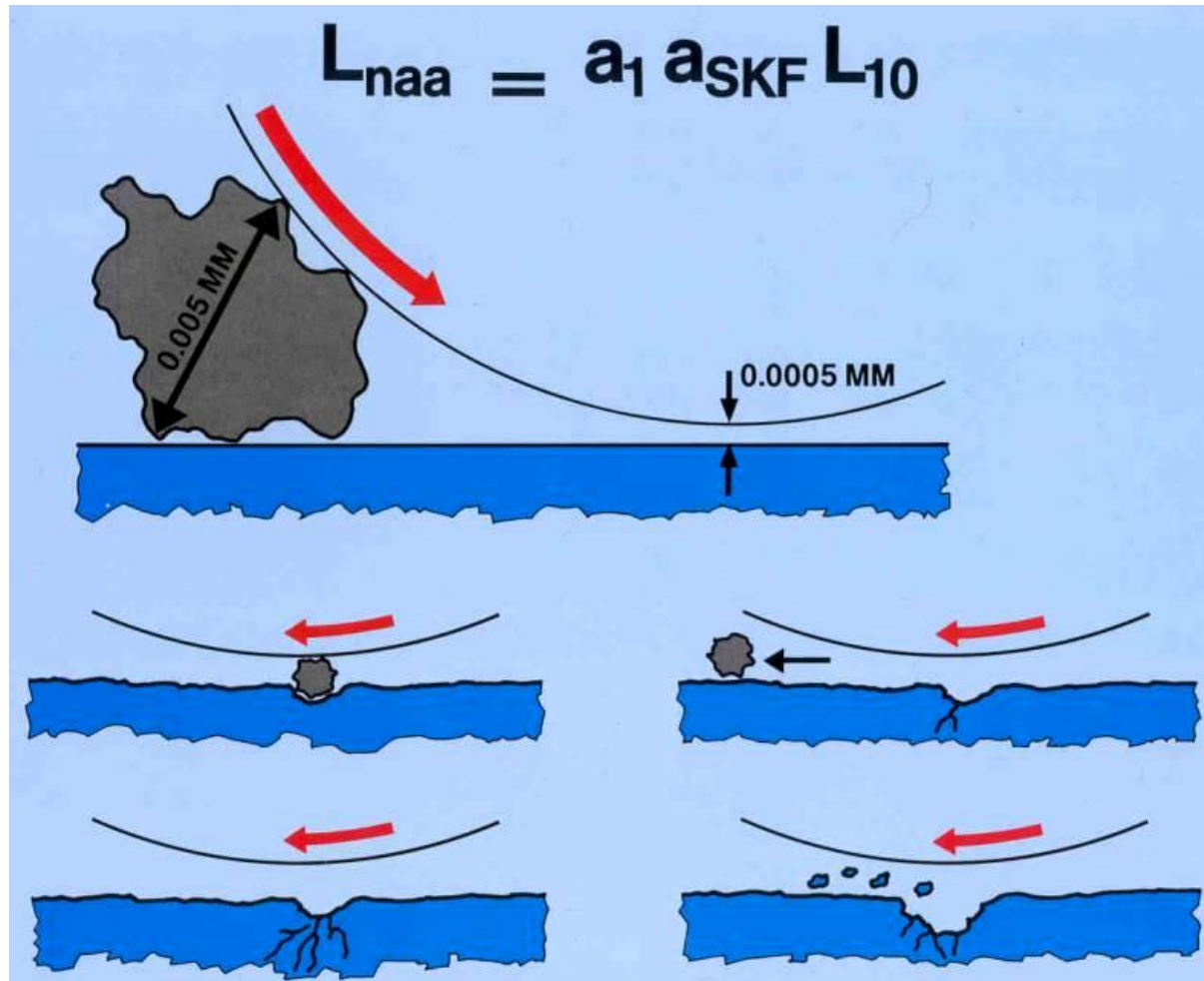


Teoria SKF



Vida Infinita é possível dentro de determinadas condições

Contaminantes



Falhas em Rolamentos



22%
Montagem
Incorreta



36%
Lubrificação
Inadequada

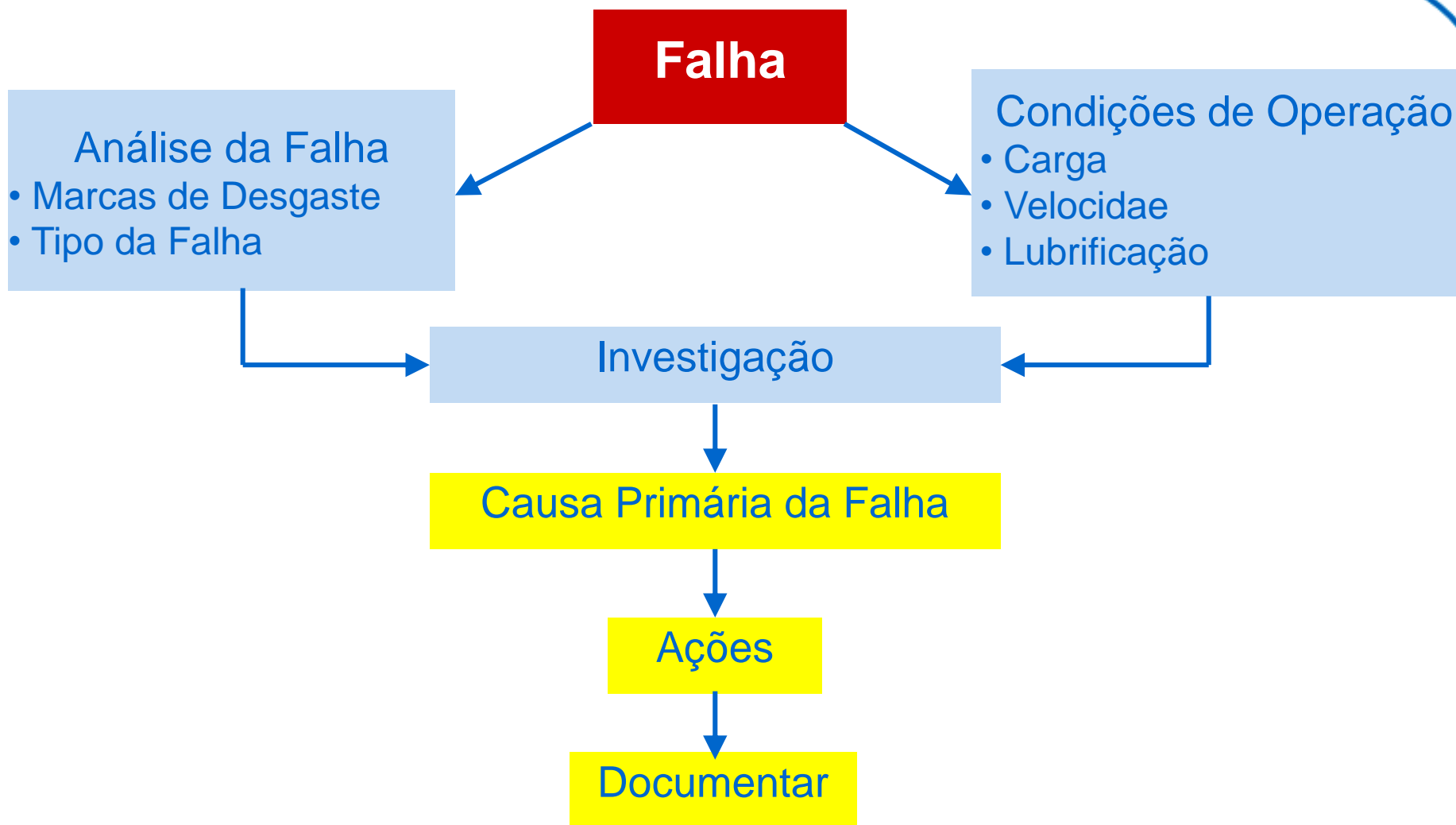


14%
Contaminação

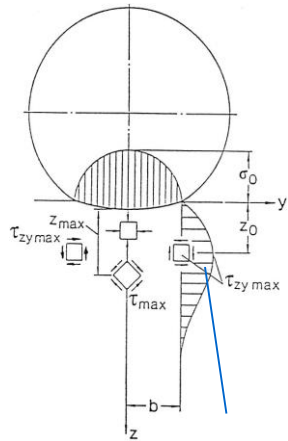


28%
Fadiga

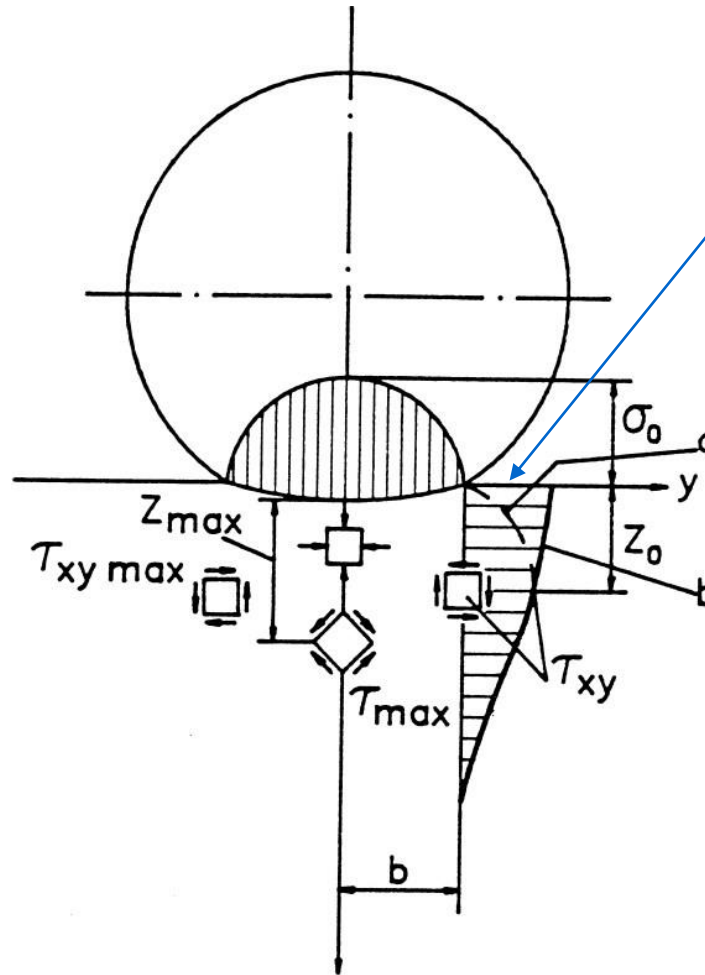
Análise da Causa Raiz (RCA)



Stress distribution in a bearing without adequate lubrication



A well-lubricated bearing has the highest stress below the surface

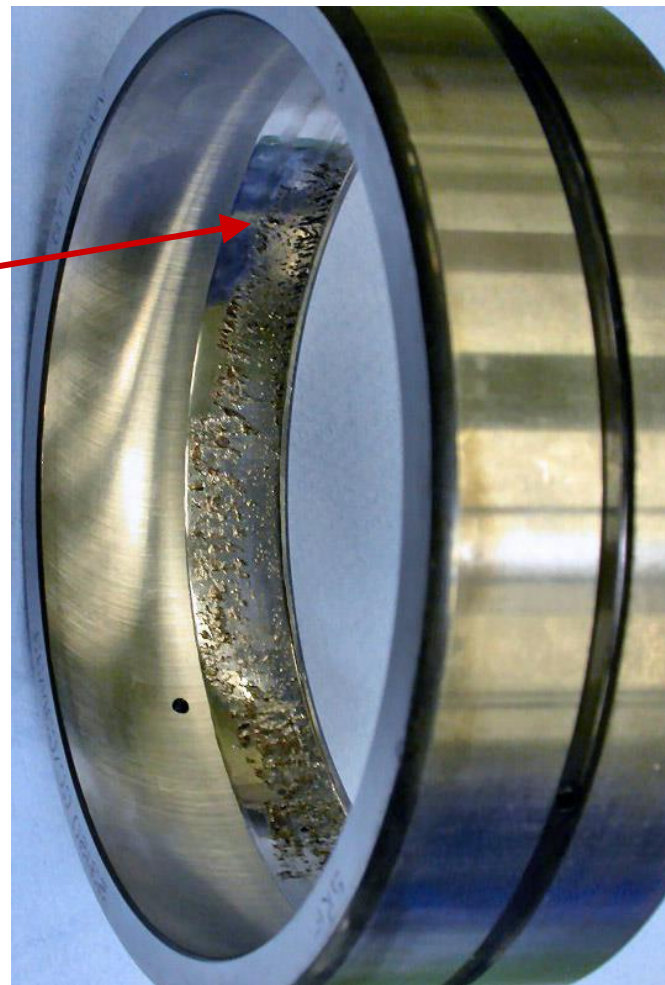
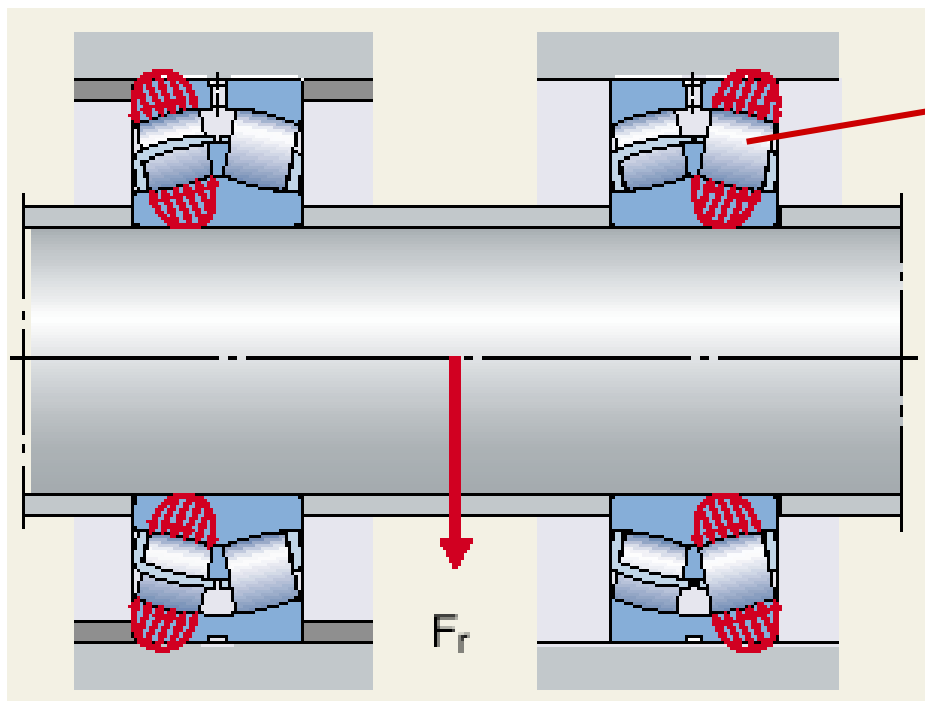


Highest stress on the surface for bearings without adequate lubrication

Poor lubrication can give:

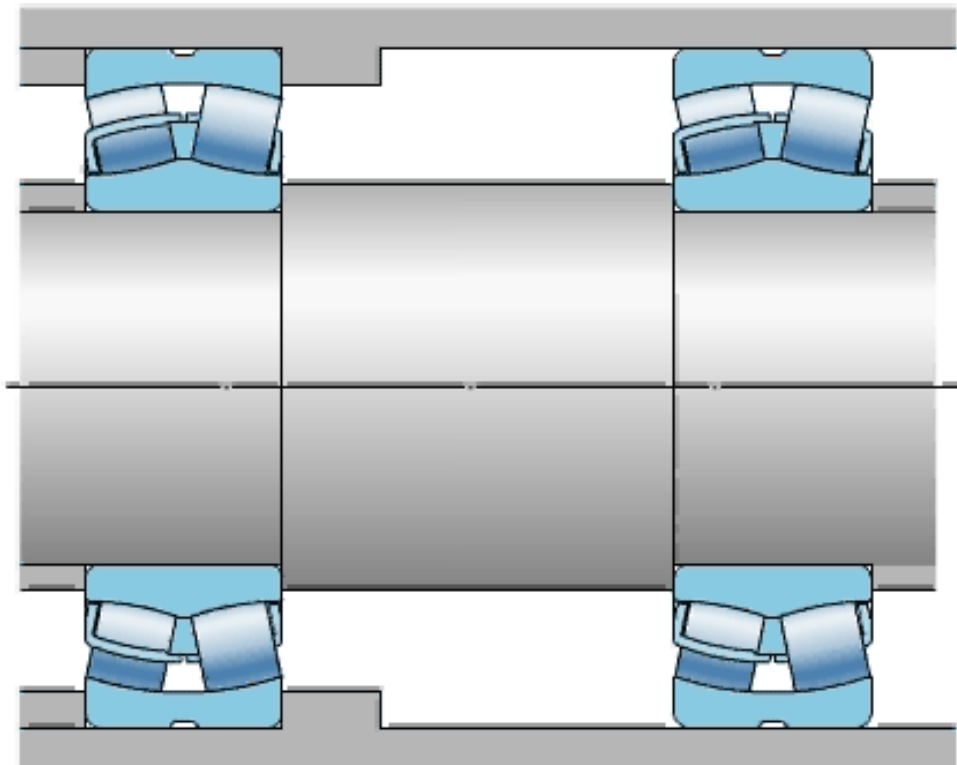
- Polishing wear
- Wear because of lubricant starvation
- Surface distress
- Smearing
- Abrasive wear

Marcas de Superfície



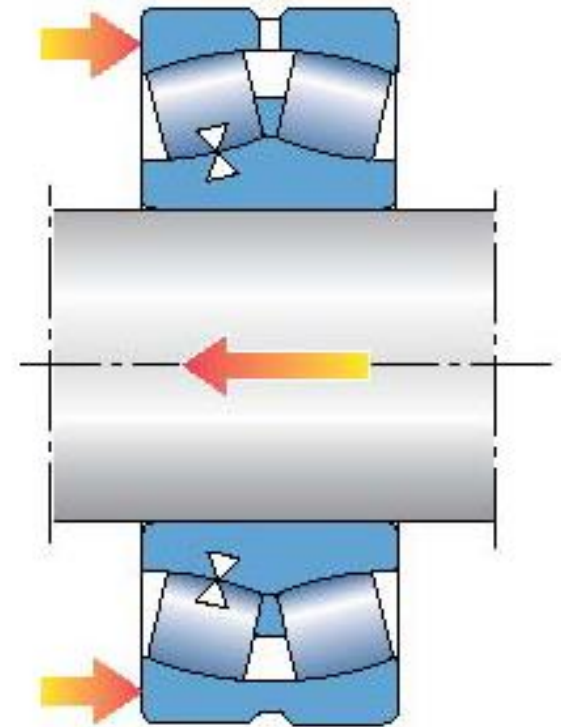
Dilatação Térmica nos Eixos

SKF

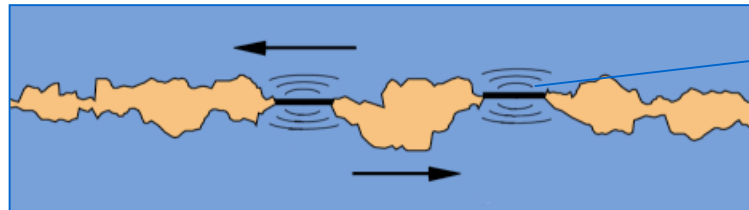


Lado Bloqueado

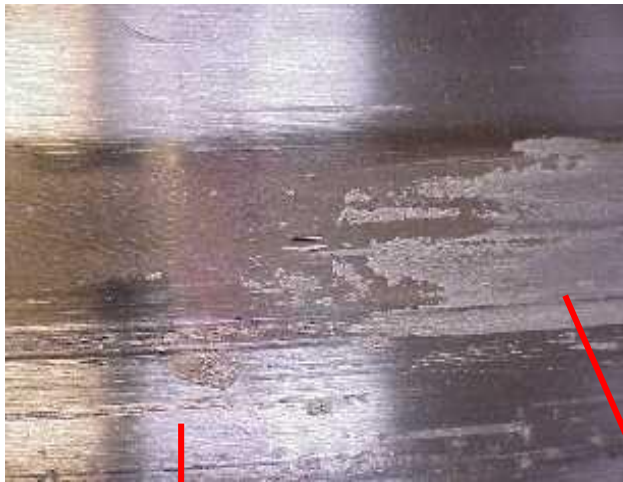
Lado Livre



How the smearing damage develops



Welded material



Smearing

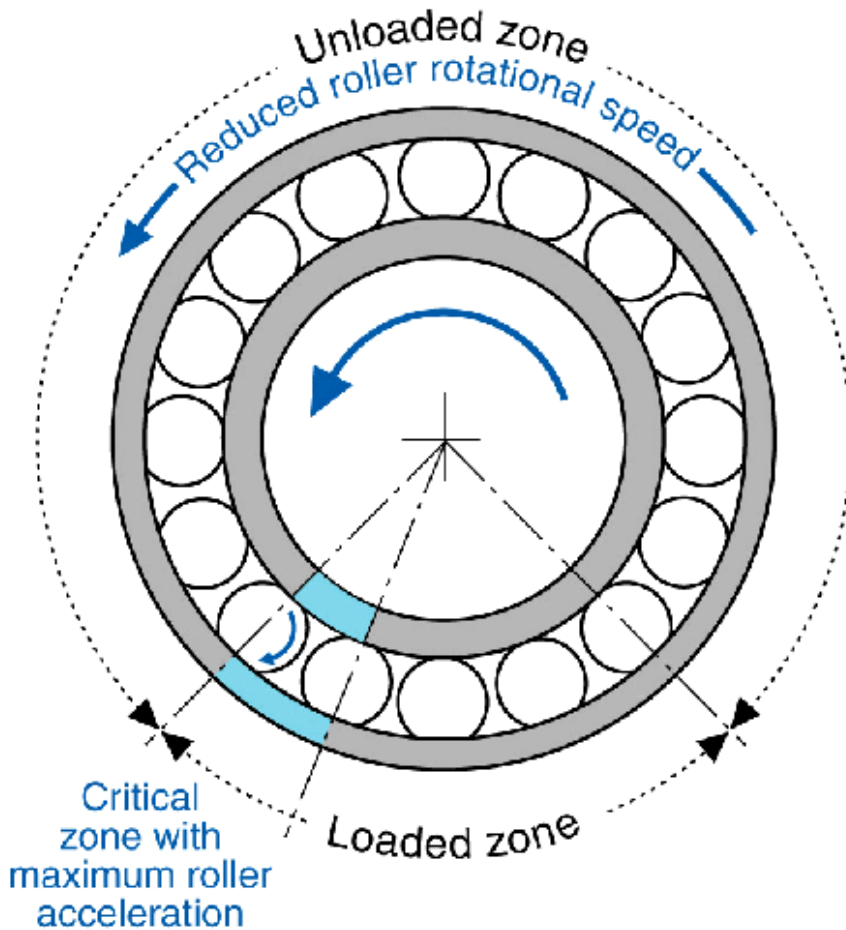


Surface distress

Spalling

The consequence is a production stop and change of roll

Variação das Cargas nos Rolamentos

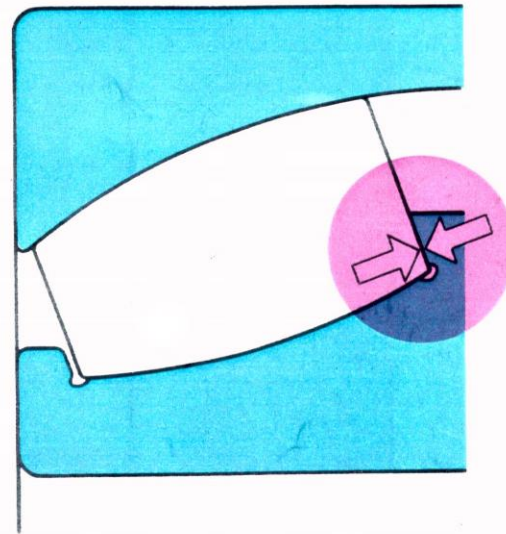
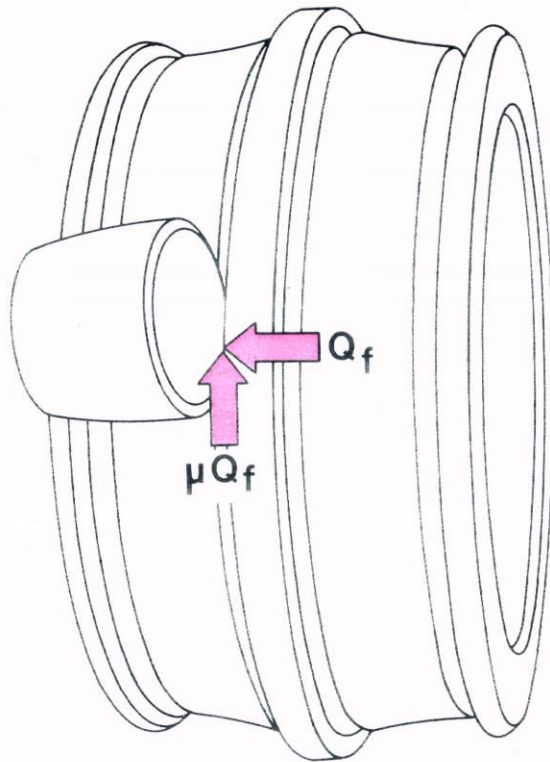


Why problems?

At low load or at sudden variations of load and speed:

- Uncontrolled rotation of rollers
- Sliding
- Oil film collapse
- Metal-to-metal contact
- Micro welding and severe wear

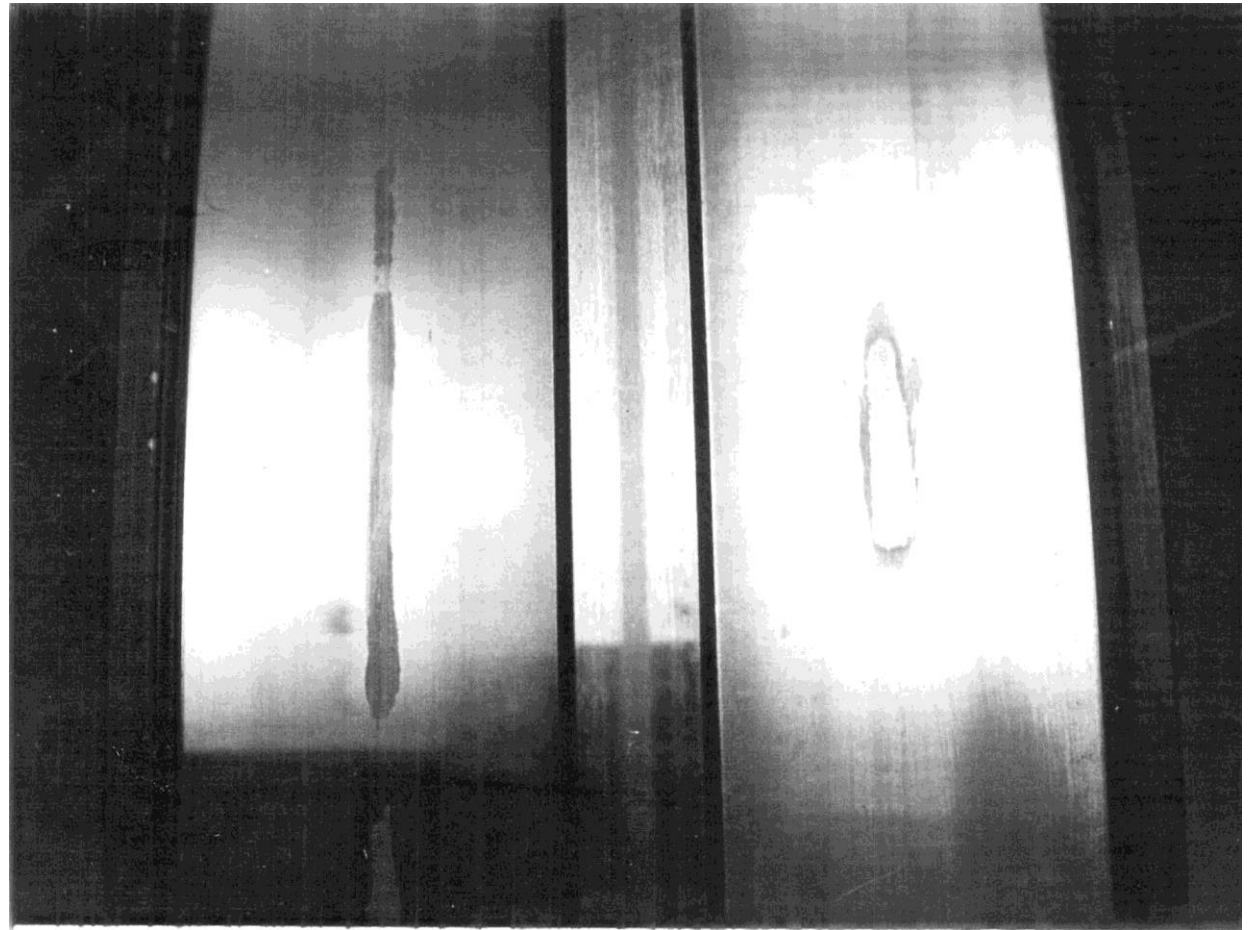
Central integral flange creates smearing problems



SKF doesn't manufacture such bearings

Smearing in lightly loaded fan application

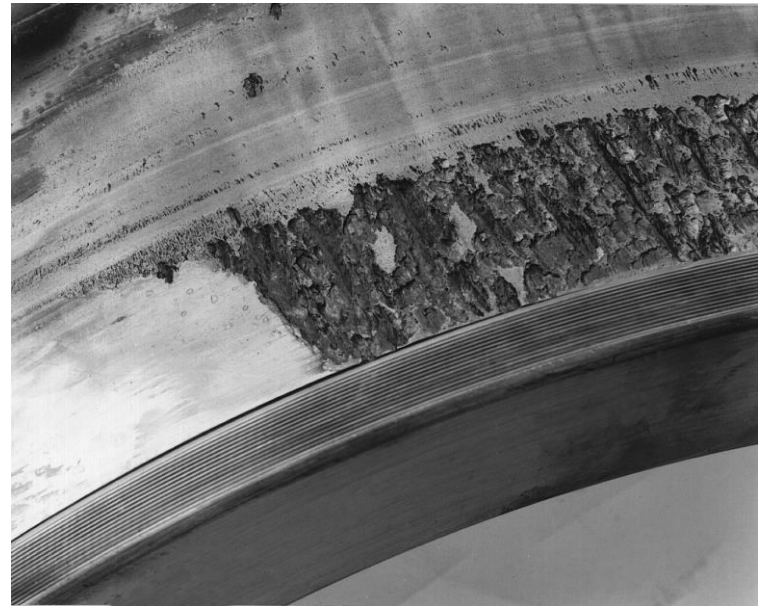
Smearing
because of
too light load



Poor lubrication giving smearing

Actions at normal and heavy loads:

- Never use bearings with central integral flange
- Increase oil film thickness
- Use lubricant with efficient EP additives
- Check the lubricant water content (Max. 200 ppm)
- Use NoWear bearings



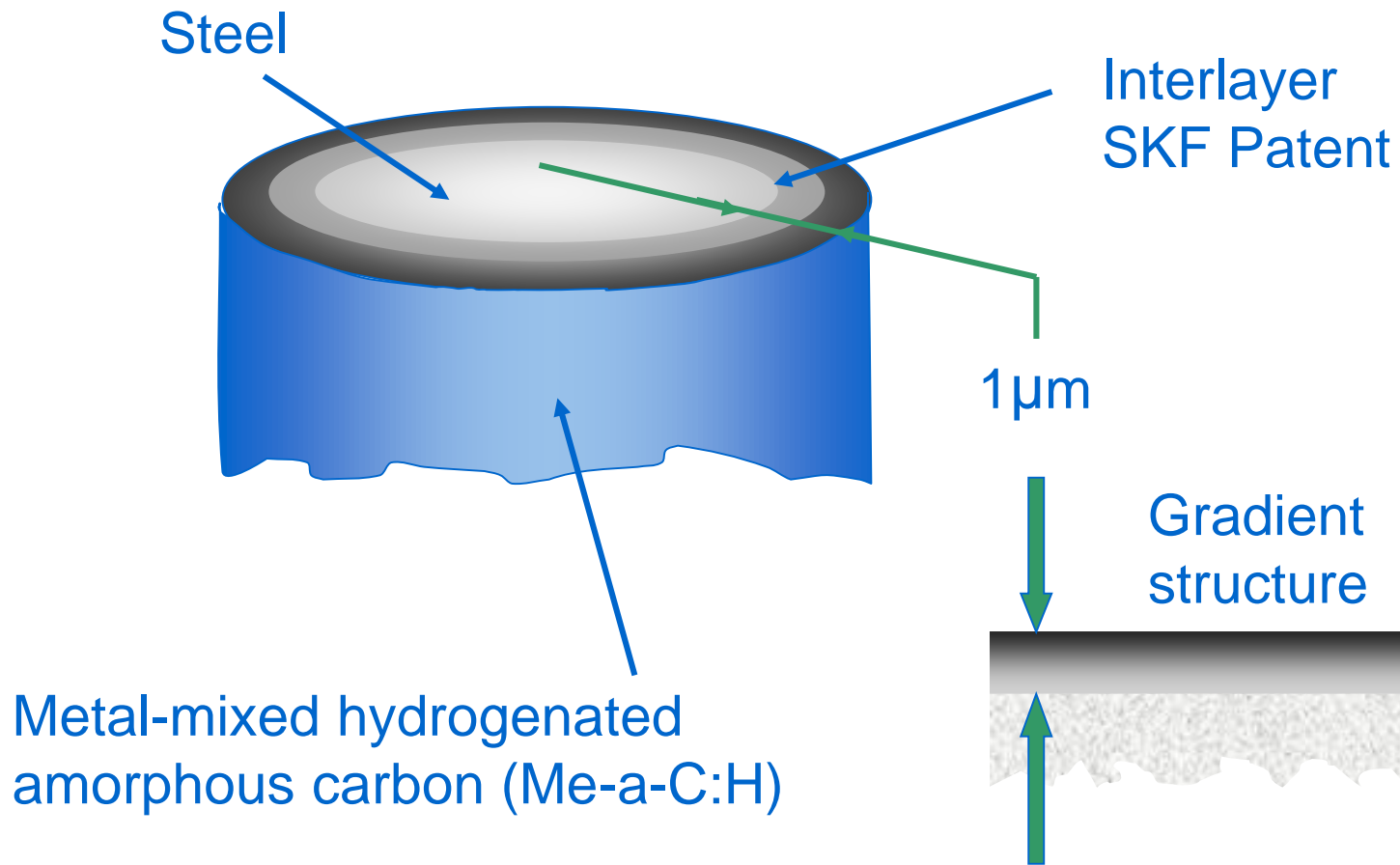
Actions at very light loads:

- Use NoWear bearings

The NoWear™ solution



What is NoWear™ ?

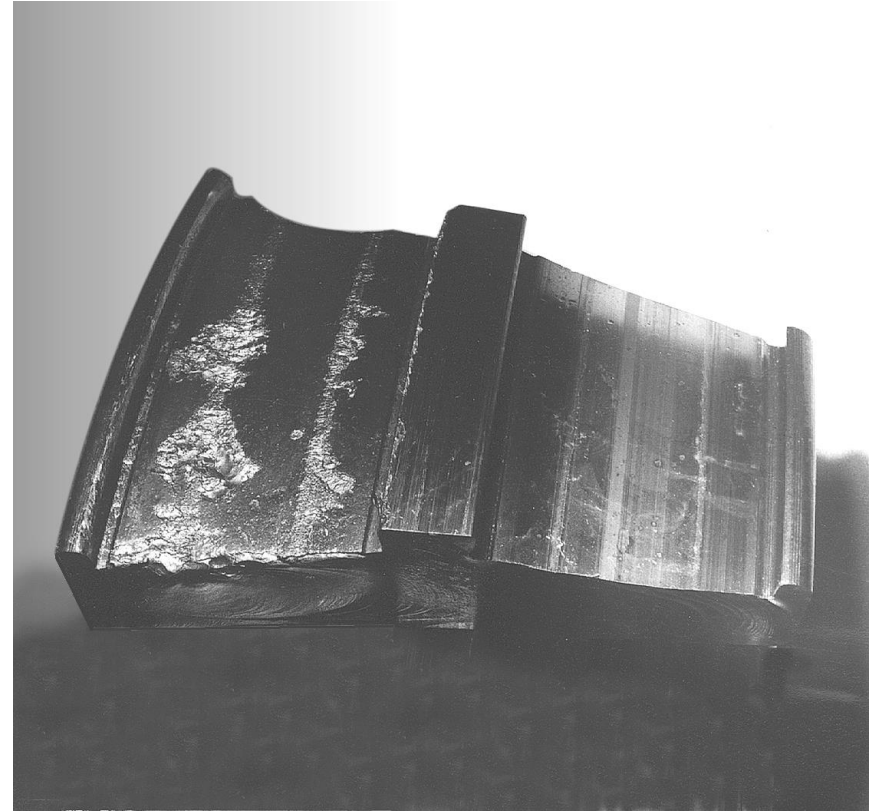


Poor lubrication giving abrasive wear

- Abrasive wear giving spallings is caused by two mating surfaces sliding in relation to each other without adequate lubrication.
- Not very common in pulp and paper machines applications

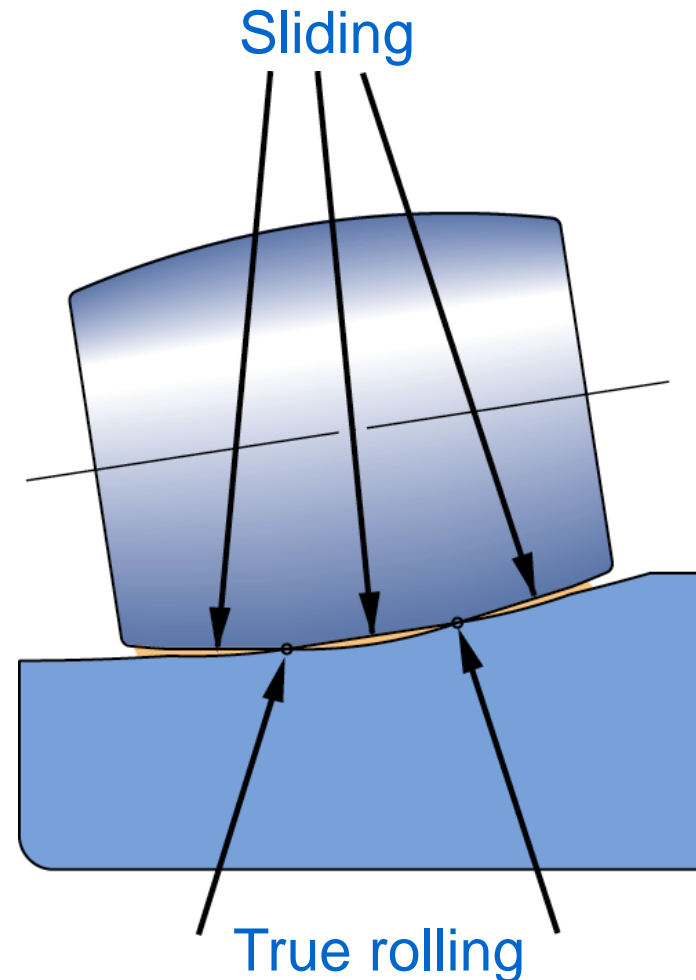
Actions:

- Increase oil film thickness
- Improve cleanliness
- Use lubricant with good AW (AntiWear) properties



Why sliding in a normal operating SRB?

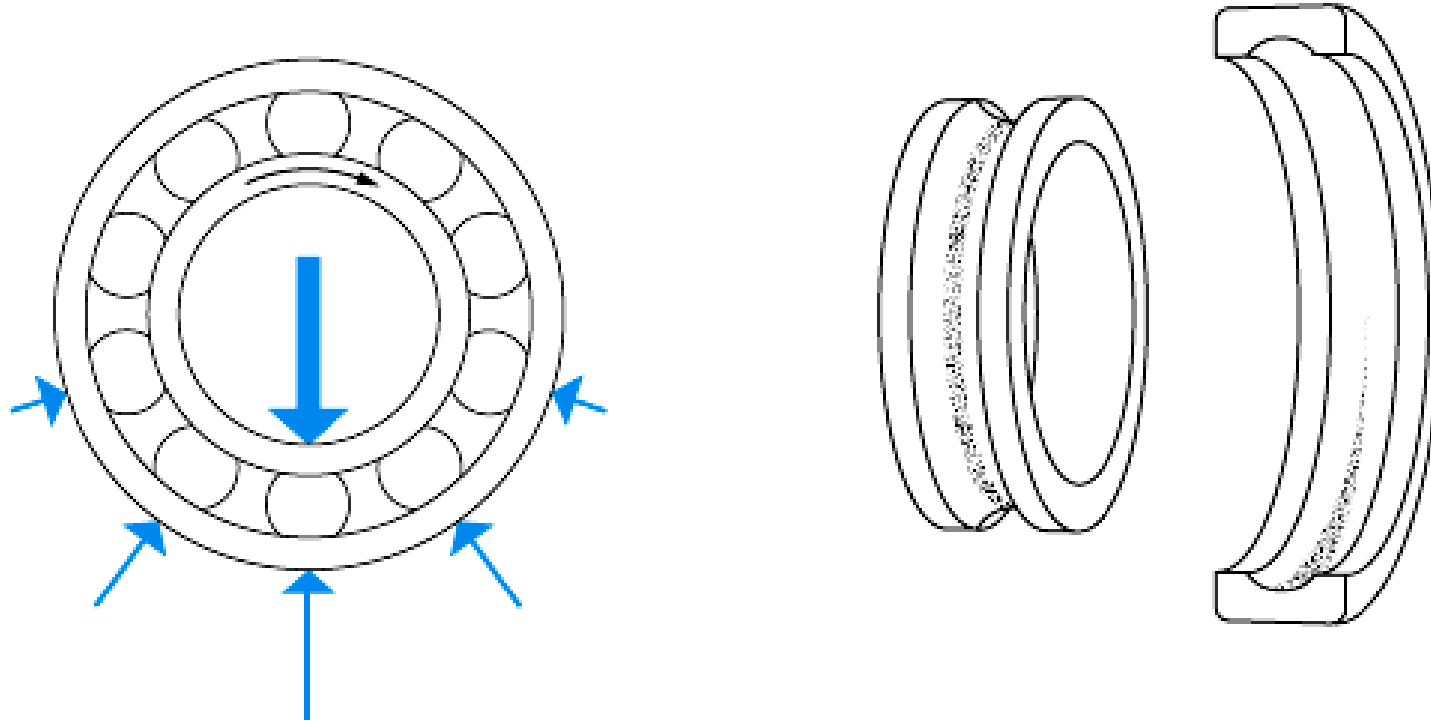
- Roller surface speed is highest at the middle of the roller (biggest diameter)
- Roller surface speed is lowest at both ends of the roller (smallest diameters)
- True rolling only at two points / ridges
- Due to the differences in surface speed at the rest of the loaded contact area sliding occurs (slip)



5

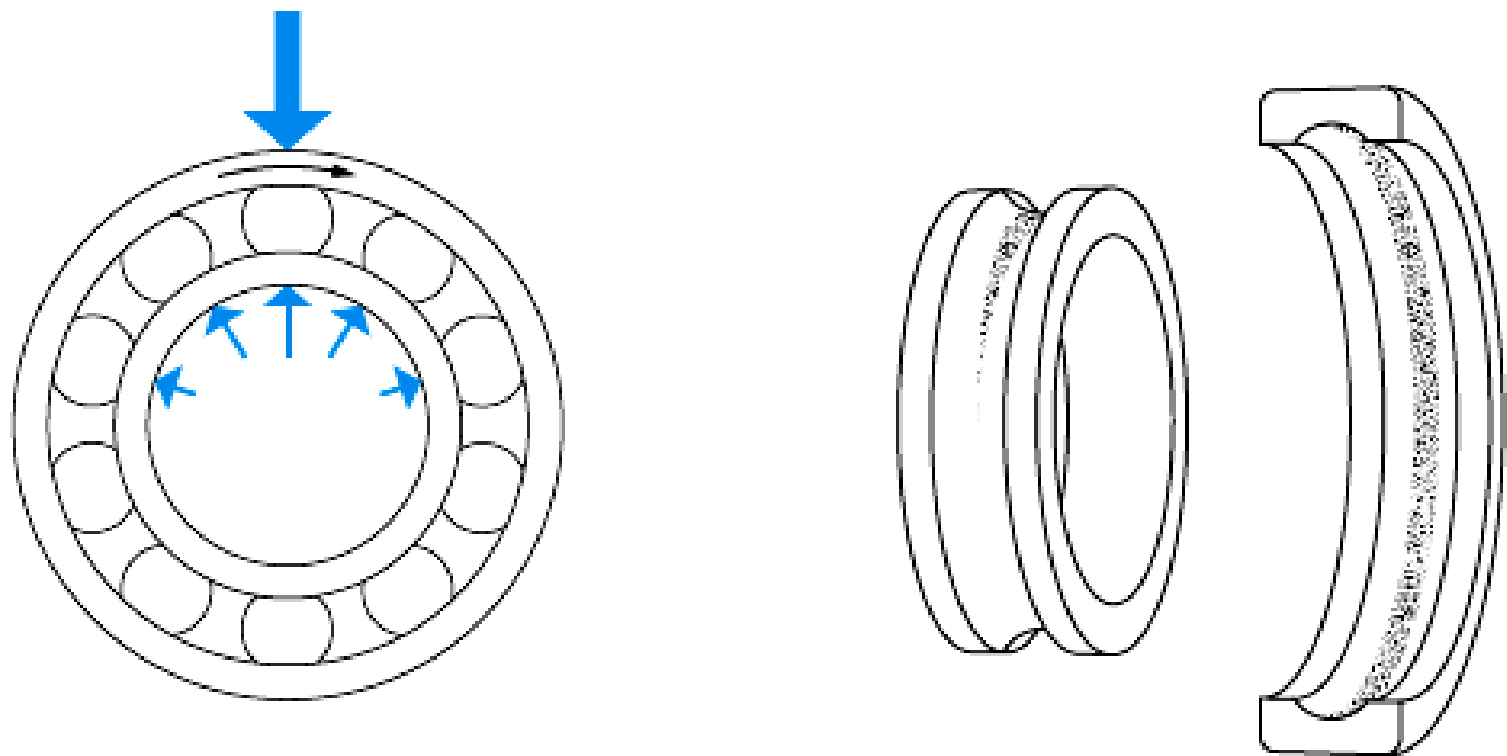
Análise das Marcas de Superfície nos Rolamentos

Marcas de Superfície



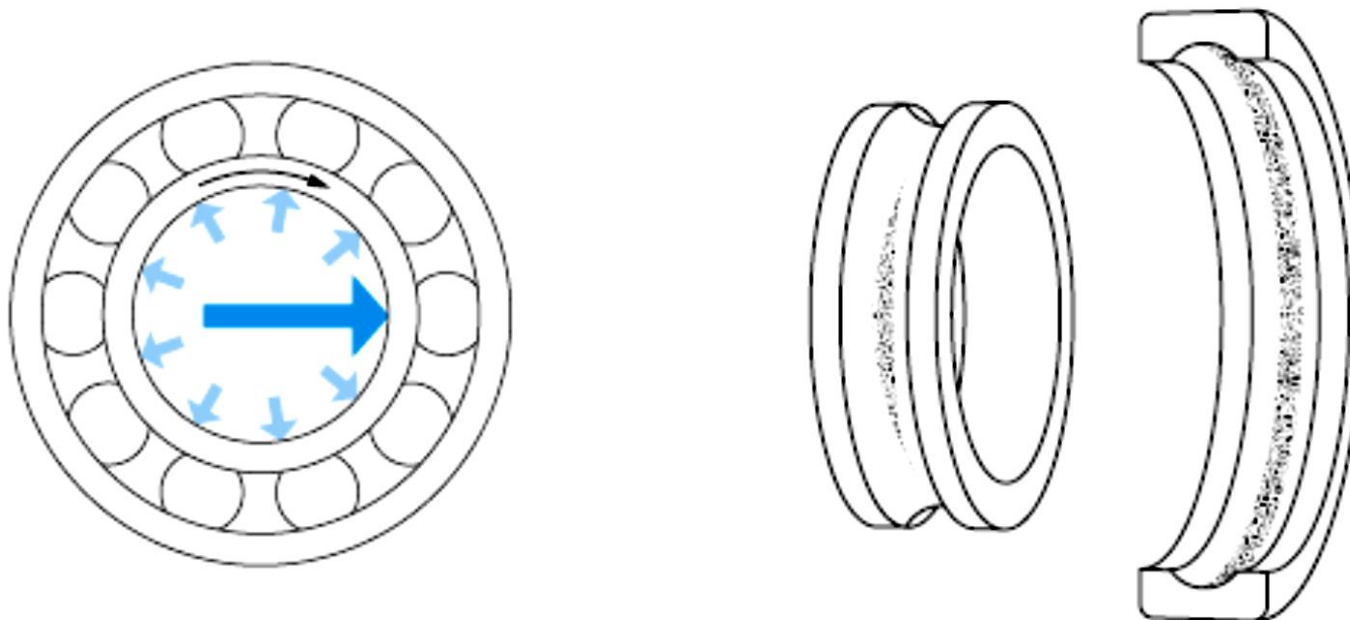
Carga Radial com Rotação do Anel Interno

Marcas de Superfície



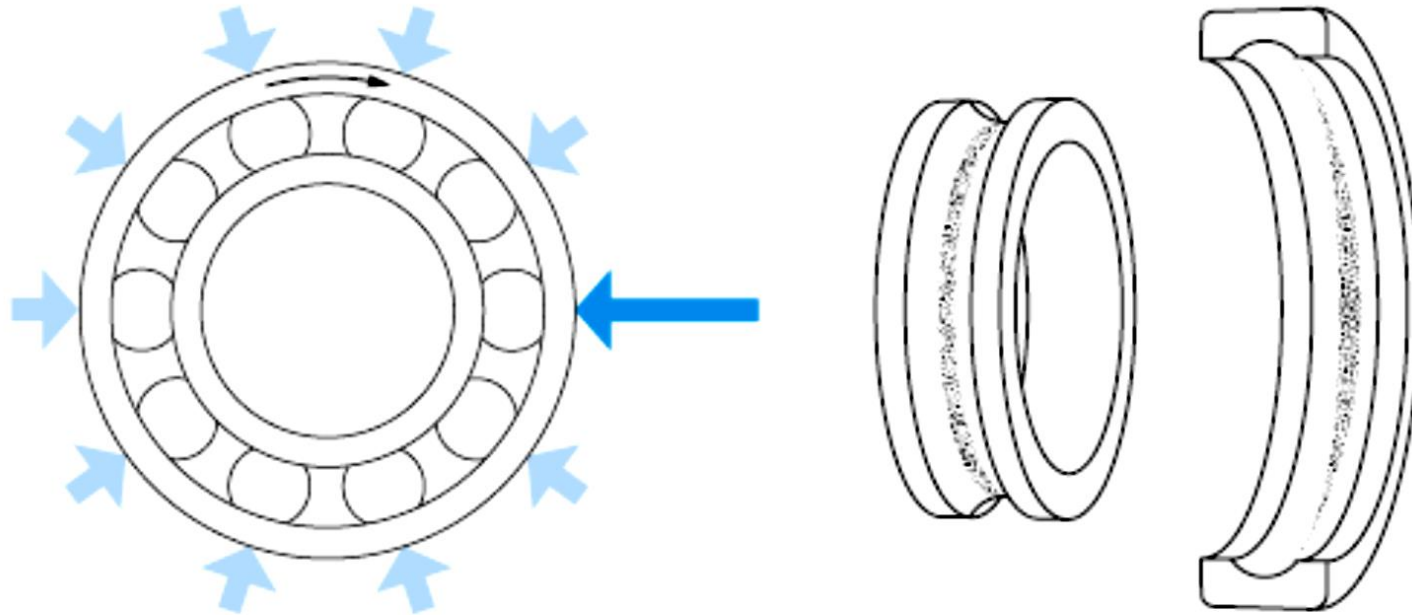
Carga Radial com Anel Externo Girante

Marcas de Superfície



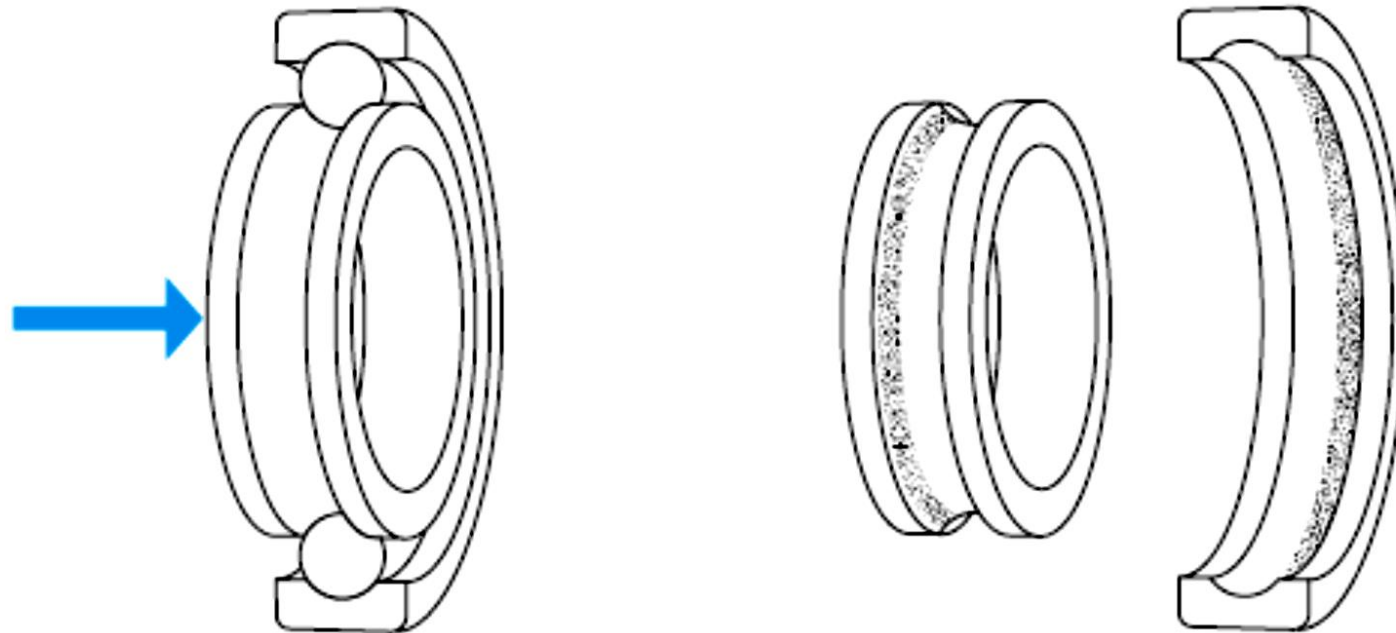
Carga Radial em fase com o com Anel Interno Girante

Marcas de Superfície



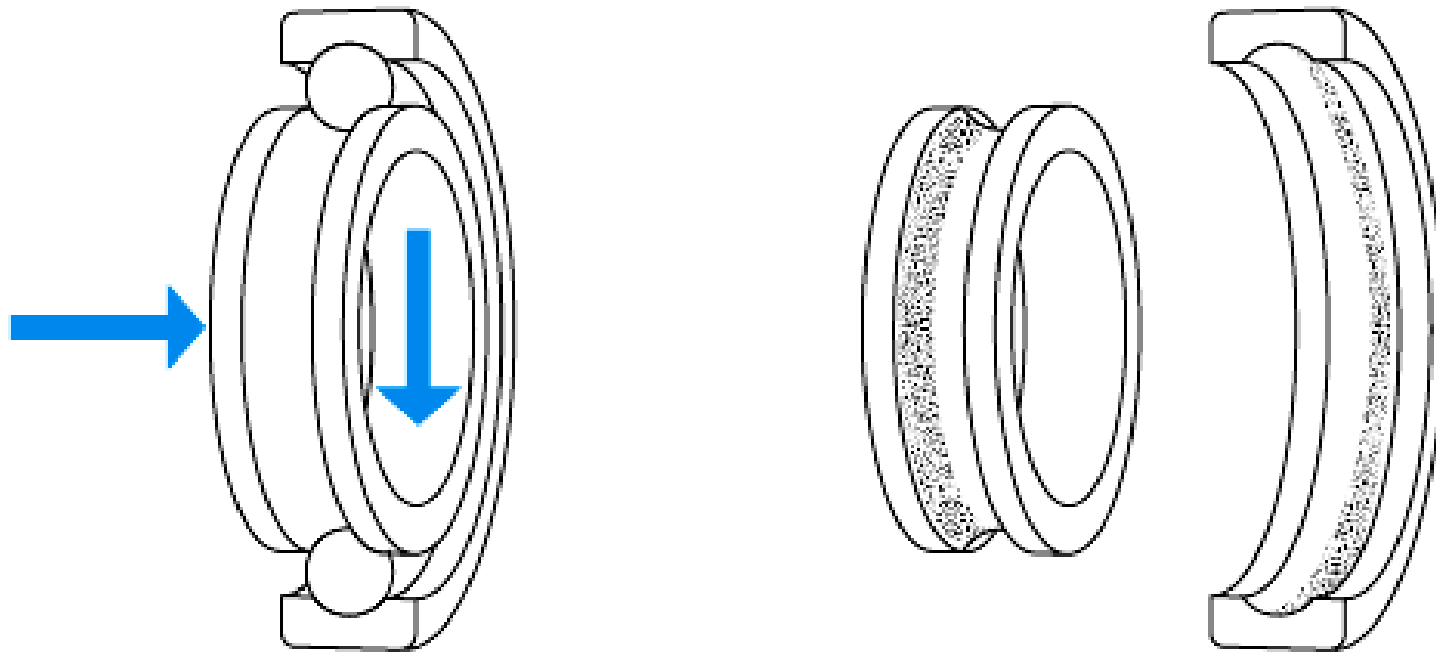
**Carga Radial em fase com o com Anel Externo
Girante**

Marcas de Superfície



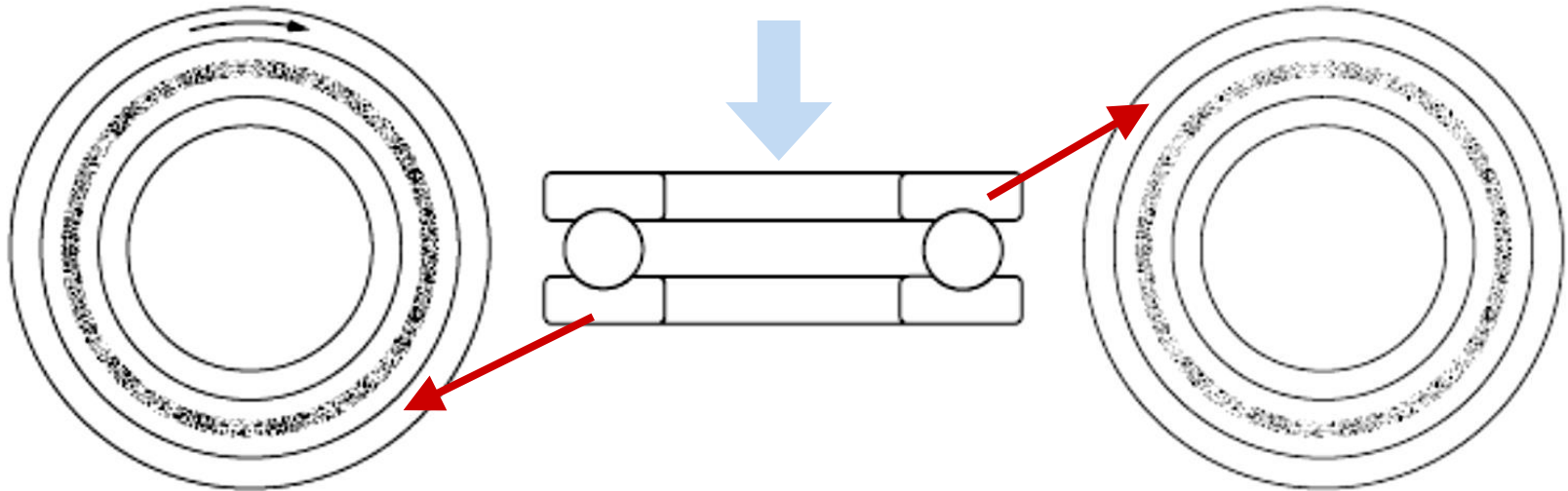
Carga Axial Unidirecional com rotação do Anel Interno ou Externo

Marcas de Superfície



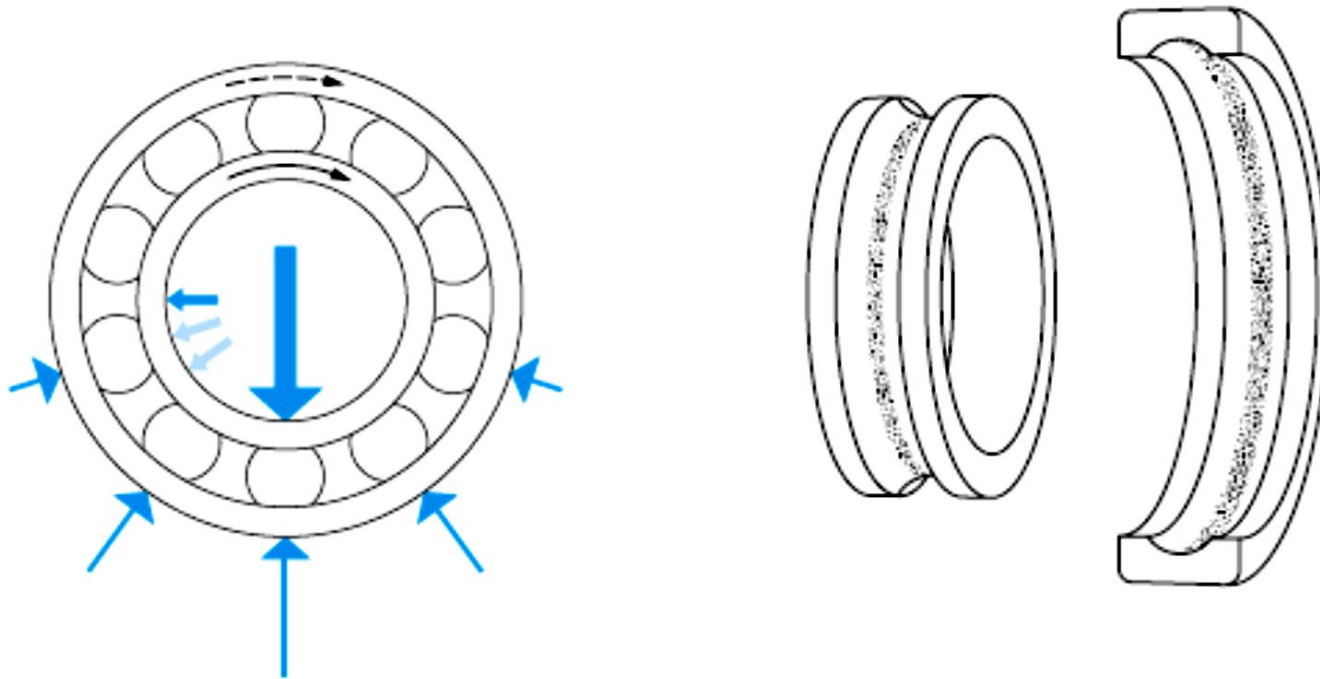
Carga Estacionária Combinada com rotação do Anel Interno

Marcas de Superfície



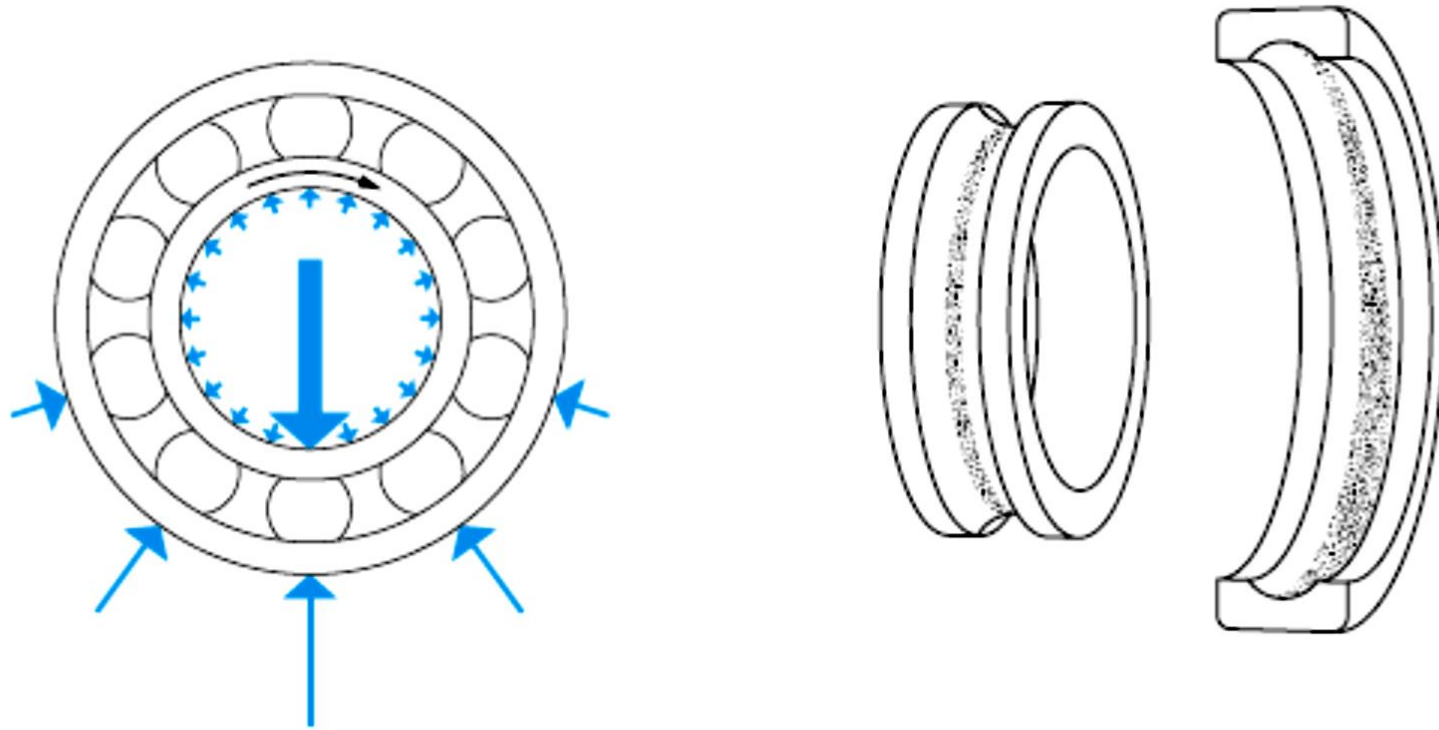
Carga Axial com rotação do Anel Interno ou Externo

Marcas de Superfície



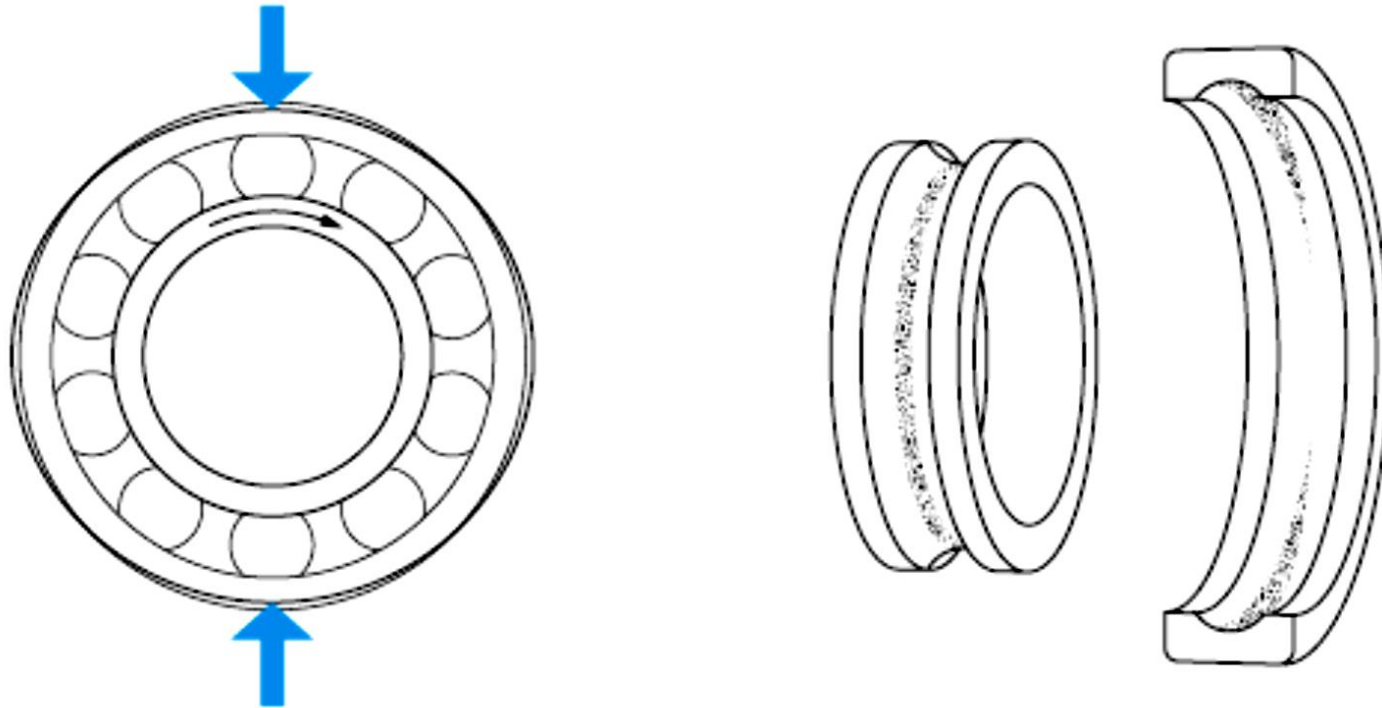
**Carga Radial com rotação do Anel Interno,
Desbalanceamento e escorregamento do Anel Externo**

Marcas de Superfície



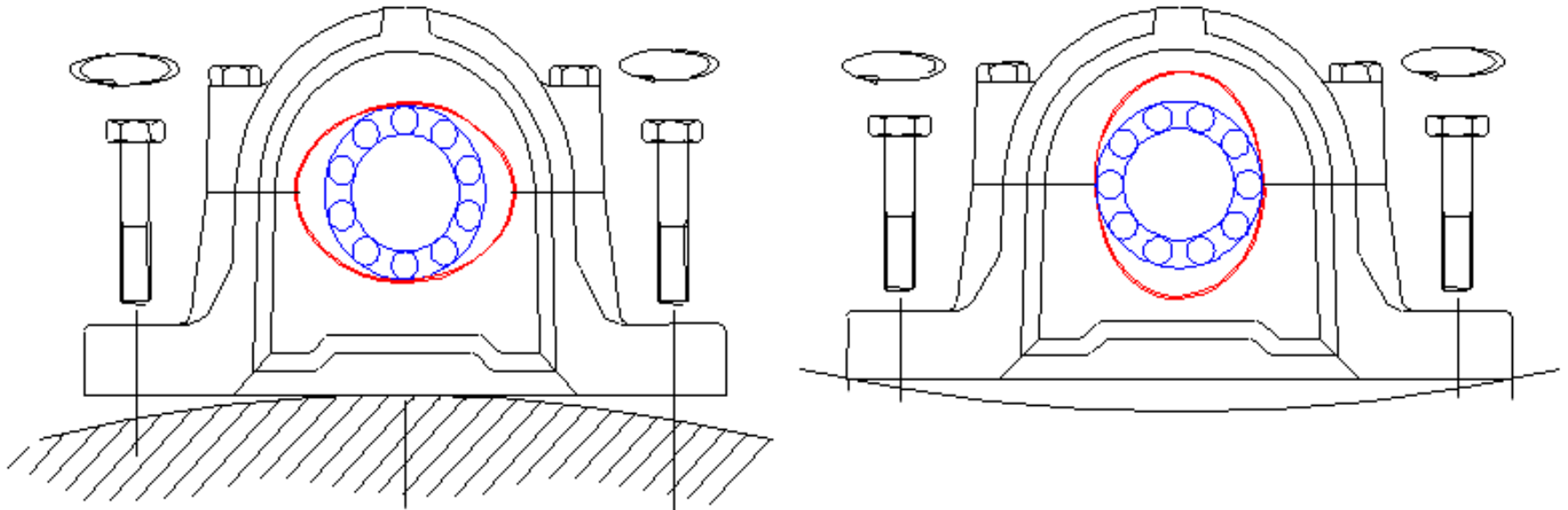
Carga Radial com rotação do Anel Interno com aperto excessivo

Marcas de Superfície



Carga Radial com rotação do Anel Interno e Ovalização do Alojamento

Alojamento Ovalizado

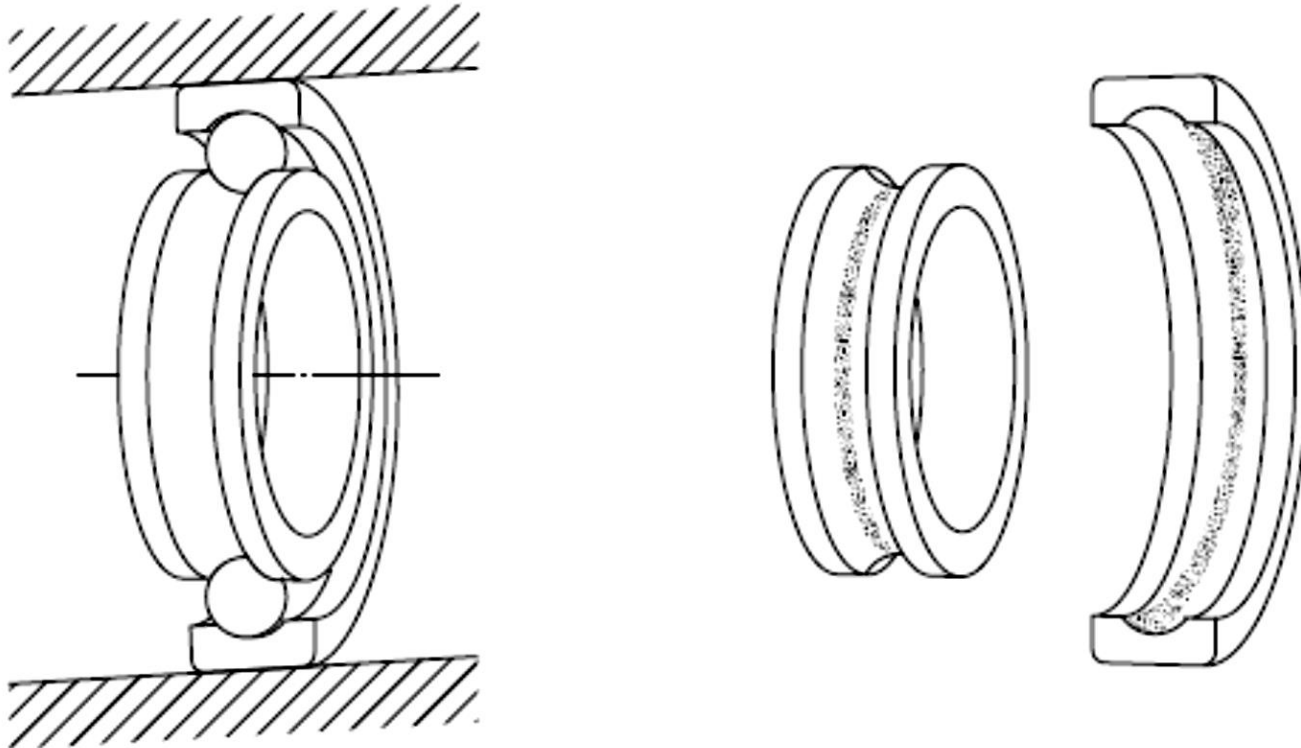


Ajustes:

IT 7

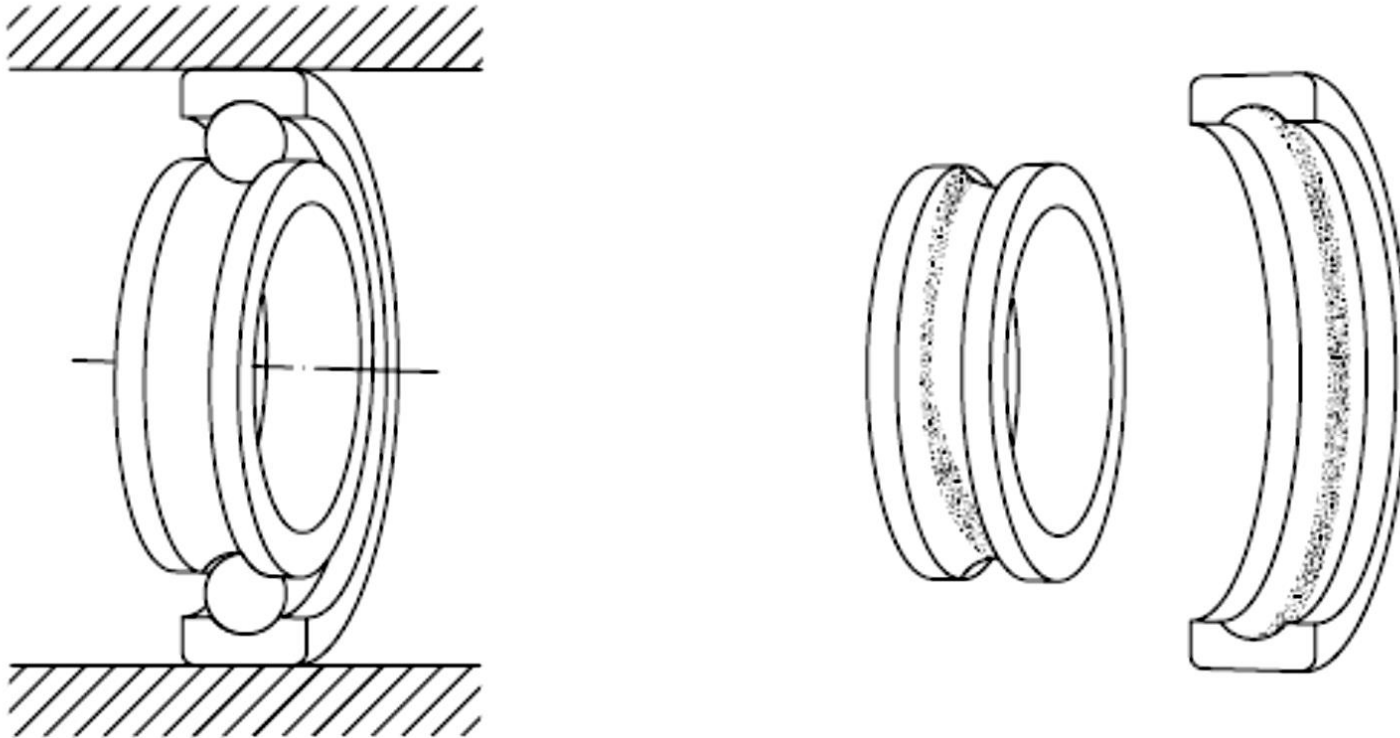
Rugosidade de Superfície: Ra 12.5

Marcas de Superfície



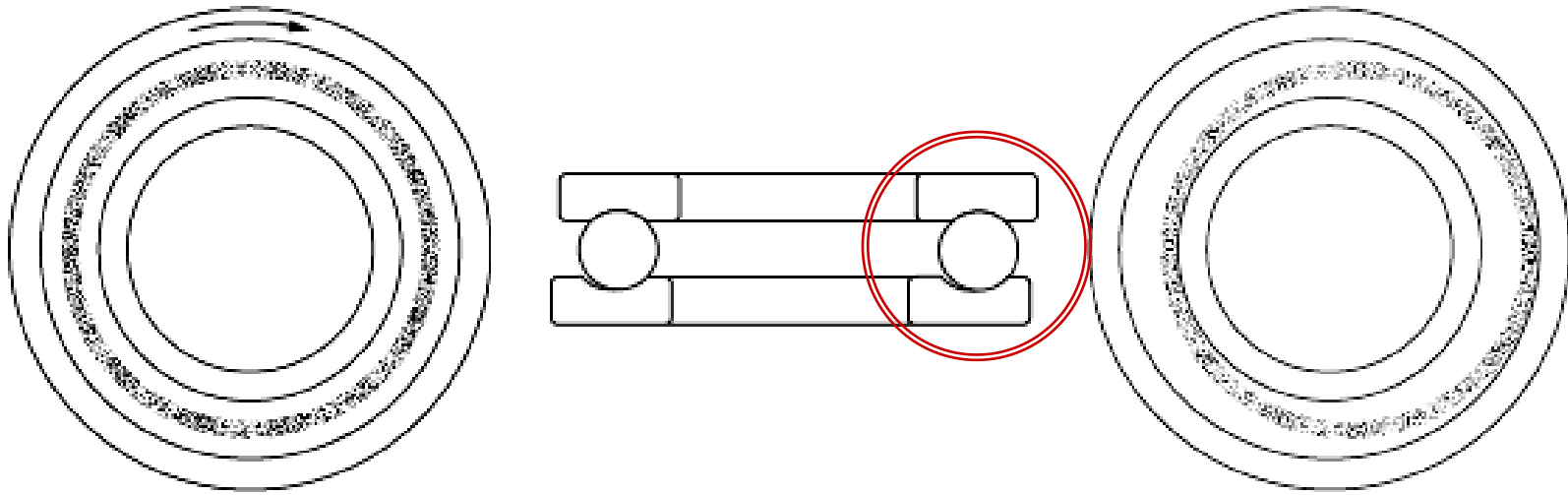
Carga Radial com Desalinhamento do Anel Externo

Marcas de Superfície



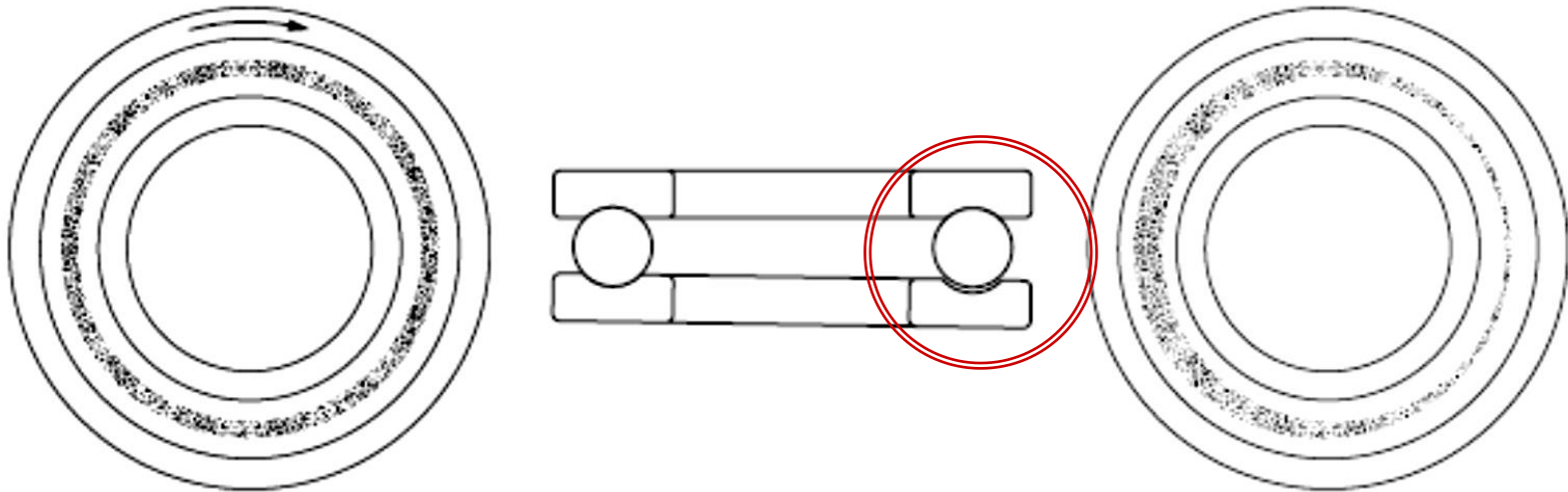
Carga Radial com Desalinhamento do Anel Interno

Marcas de Superfície



Carga Axial com Posicionamento Excêntrico na Montagem

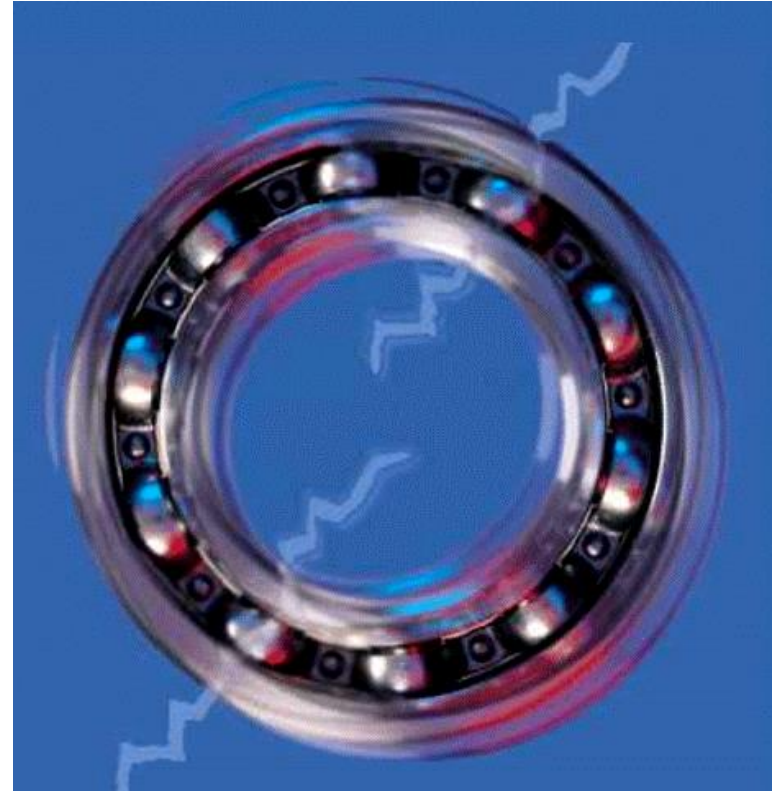
Marcas de Superfície



**Carga Axial com
Desalinhamento**

3

Falhas em Rolamentos



Classificação das Falhas

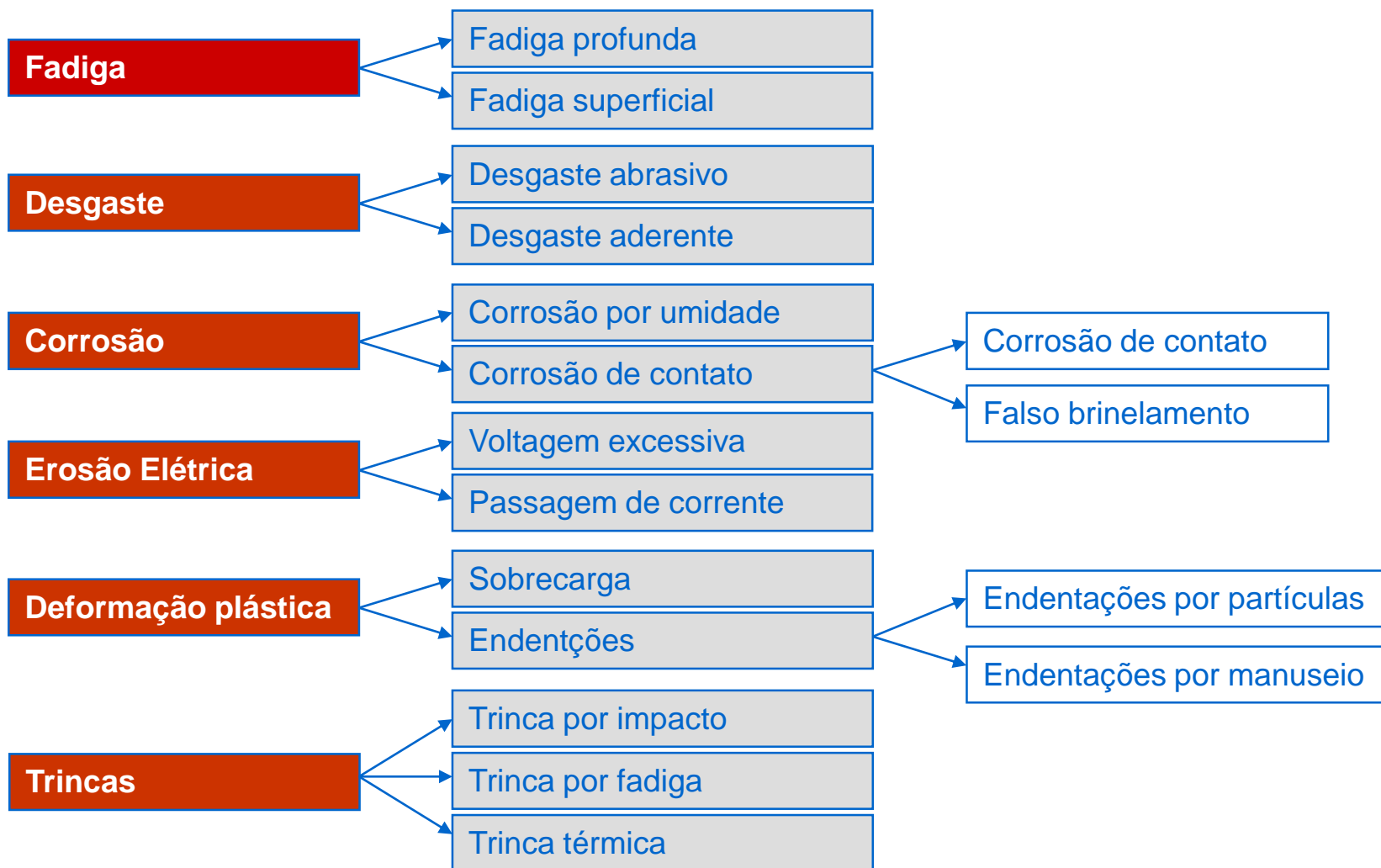
Primárias

- Desgaste
- Indentações
- Escorregamento
- Fadiga de Superfície
- Erosão Elétrica
- Corrosão

Secundárias

- Descascamento
- Trincas

Classificação das Falhas – Norma ISO



Fadiga de Superfície

Fadiga

Desgaste

Corrosão

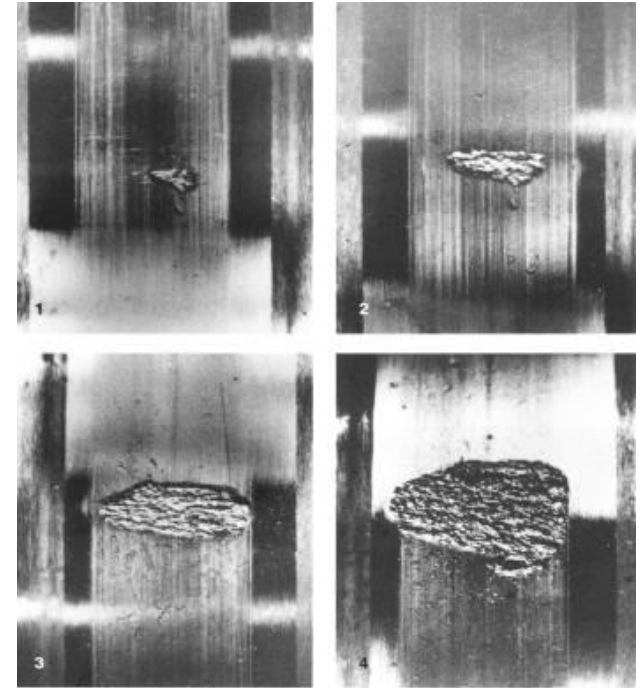
Erosão Elétrica

Deformação
Plástica

Trincas

Fadiga de superfície

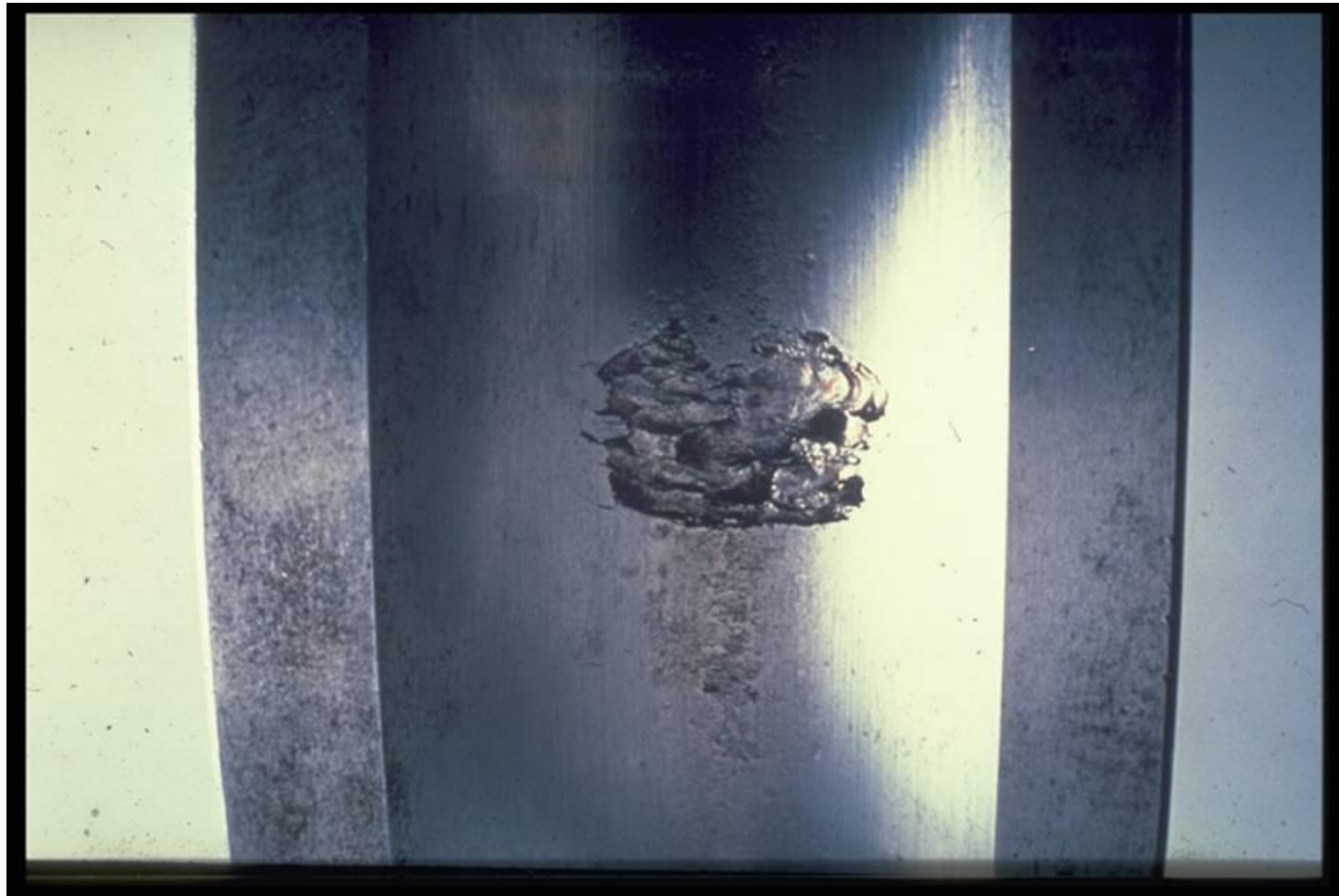
Fadiga de superfície
inicial



- Stress de superfície
- Micro trincas abaixo da superfície
- Propagação da trinca

- Alterações na estrutura do material
- Descascamento e trincas

Trincas Superficiais



Carga de Canto



Brinelamento



Fadiga de superfície inicial

Fadiga

Desgaste

Corrosão

Erosão Elétrica

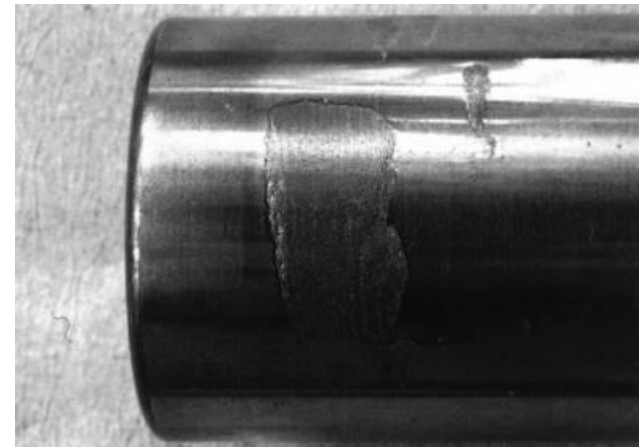
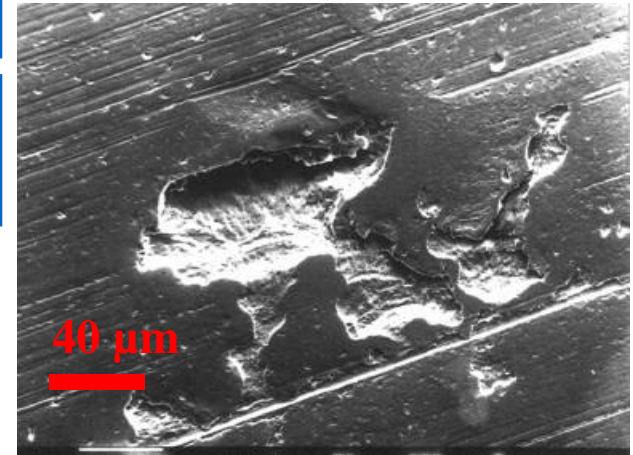
Deformação
Plástica

Trincas

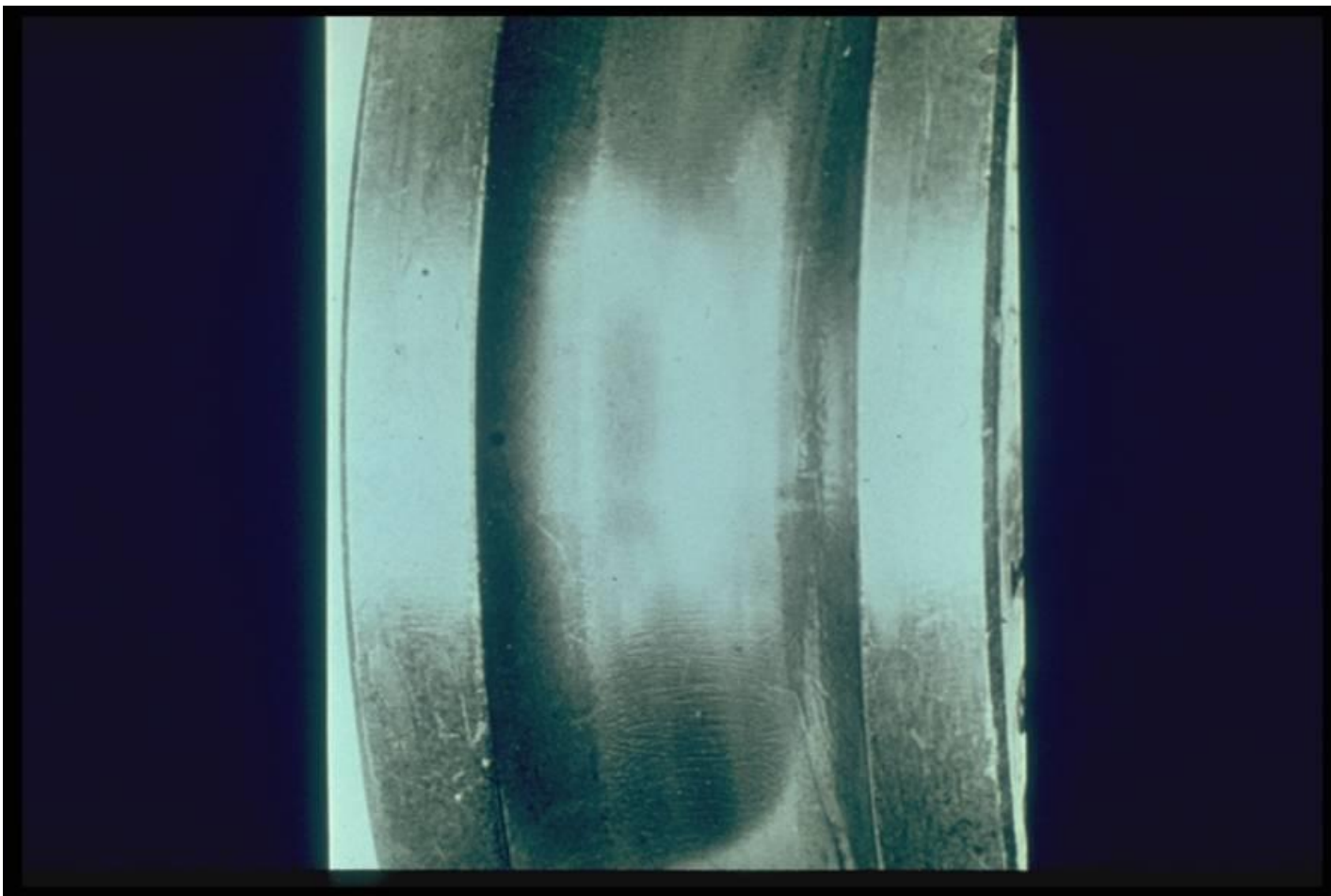
Fadiga de superfície

Fadiga de superfície
inicial

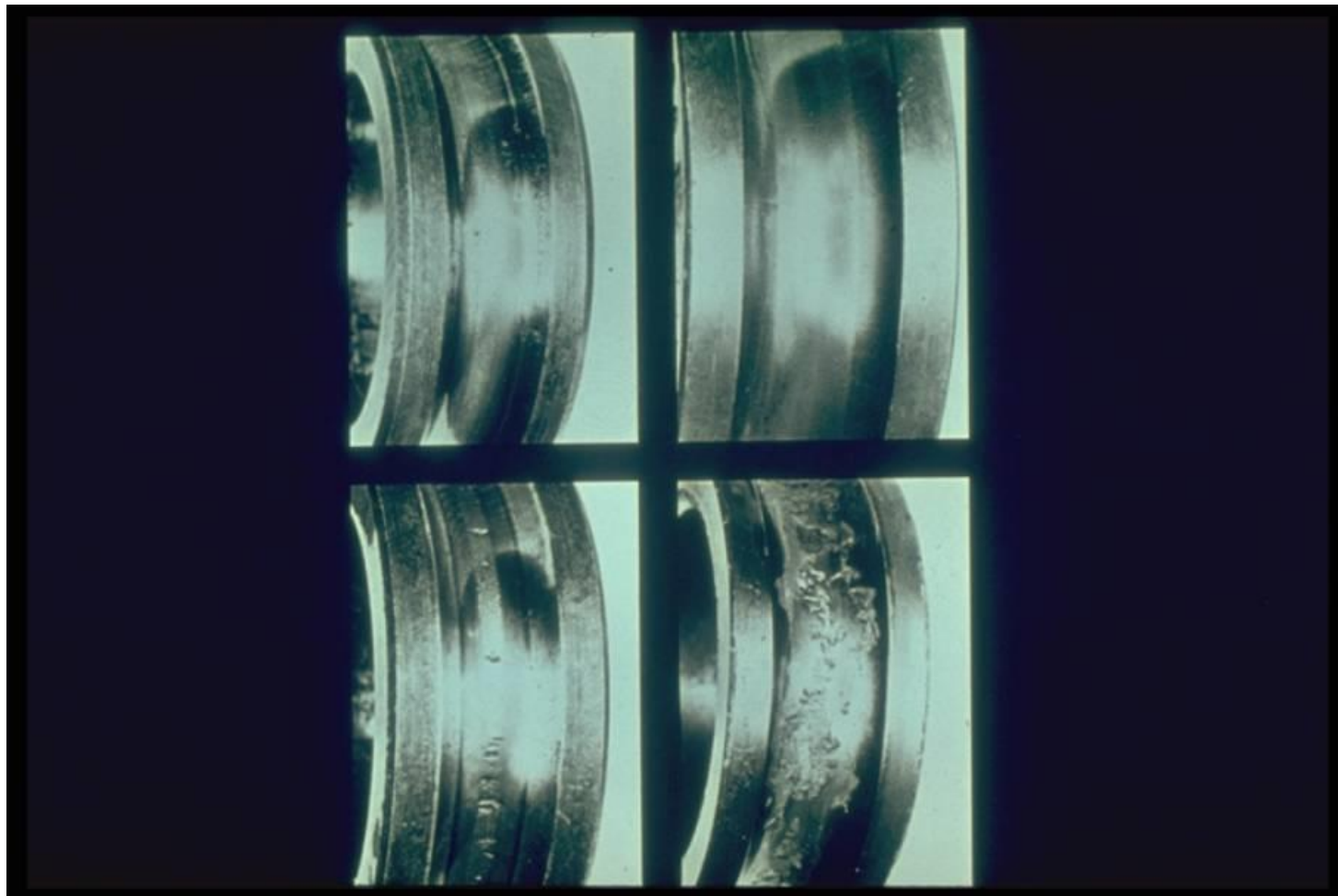
- Deterioração de superfície
- Redução da Lubrificação
- Escorregamento
- Polimento
- Pequenas trincas
- Trincas subsuperficiais



Lubrificação Inadequada



Progressão da Lubrificação Inadequada



Desgaste Abrasivo

Fadiga

Desgaste

Corrosão

Erosão Elétrica

Deformação
Plástica

Trincas

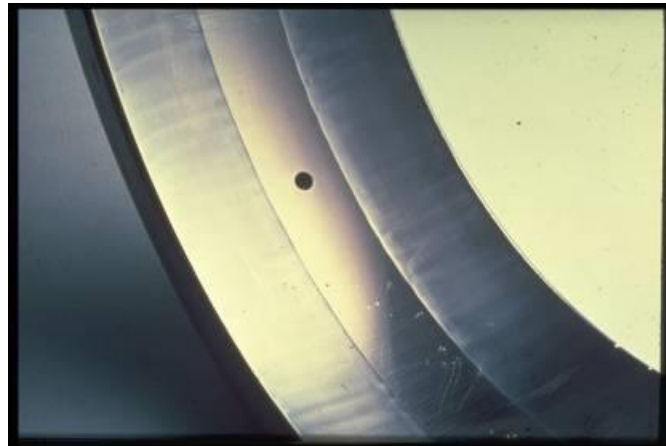
Desgaste Abrasivo

Desgaste Adesivo



- Aumento da remoção de material
- Aceleração
- Lubrificação Inadequada
- Ingresso de partículas contaminantes

Desgaste por Polimento



Desgaste Adesivo

Fadiga

Desgaste

Corrosão

Erosão Elétrica

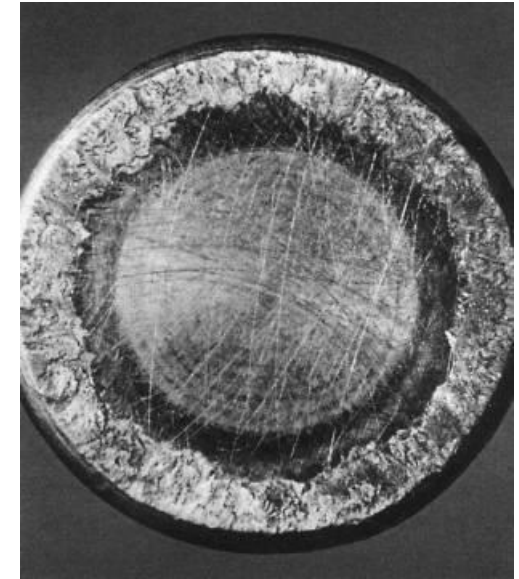
Deformação Plástica

Trincas

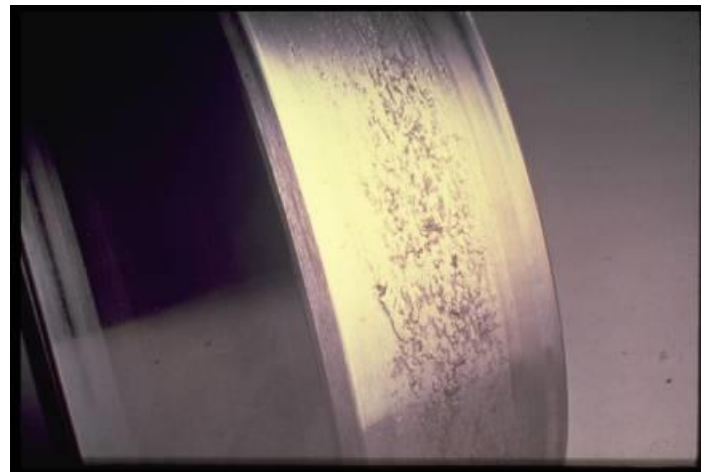
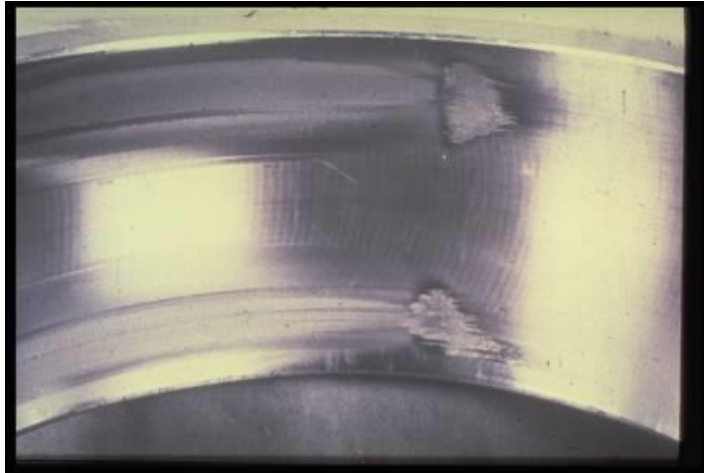
Desgaste Abrasivo

Desgaste Adesivo






- Corrosão / Escorregamento / Escoriação
- Transferência de material / Aquecimento por fricção
- Têmpera / Reendurecimento com deterioração de superfície com trincas e descascamento
- Baixa carga
- Aceleração



Arranhamento por escorregamento



Mudança de cor pela Temperatura

	150° - 177° C
	177° - 205° C
	205° - 260° C
	+ 260° C
	+ 540° C



- Rolamentos SKF podem ser utilizados em temperaturas até 125°C
- Altas temperatura podem causar perda de dureza
- A redução de 2-4 pontos na DurezaRockwell reduz a vida em 50%

Corrosão

Fadiga

Desgaste

Corrosão

Erosão Elétrica

Deformação Plástica

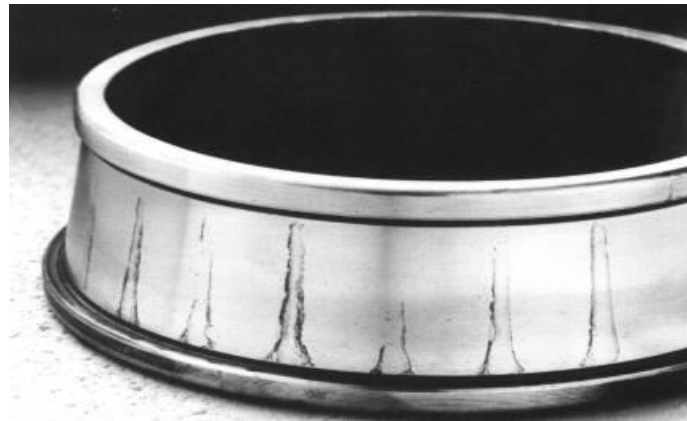
Trincas

Corrosão por impurezas

Corrosão por fricção

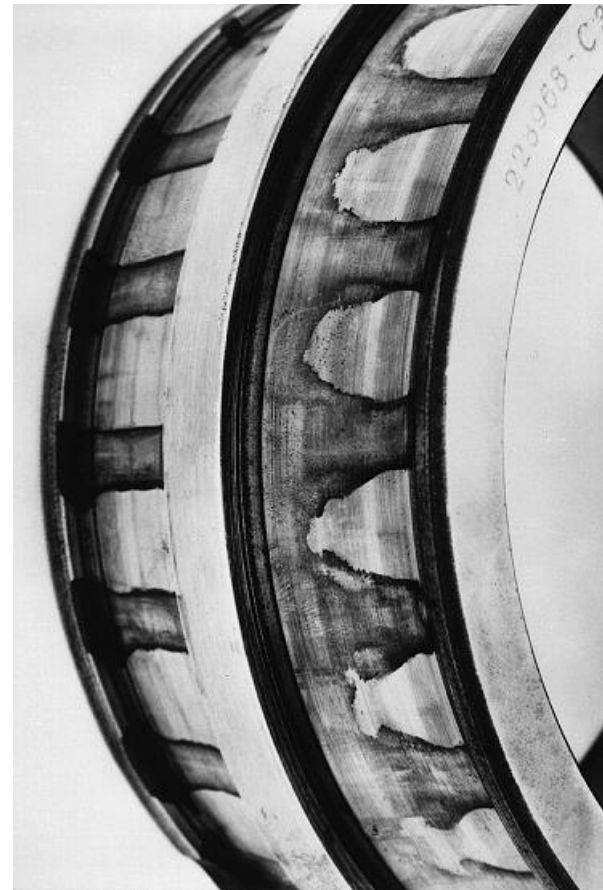
Corrosão por contato

Falso Brinell



- Oxidação / ferrugem
- Reação Química
- Pontos de oxidação / descascamento
- Extensa corrosão (água / óleo sujo)

Vedação Ineficiente



Corrosão por Contato

Fadiga

Desgaste

Corrosão

Erosão Elétrica

Deformação Plástica

Trincas

Corrosão por produtos químicos

Corrosão por fricção

Corrosão por contato

Falso Brinell

- Movimento relativo entre anel e eixo ou caixa
- Oxidação profunda
- Poeira e ferrugem
- Perda de material
- Ocorre aderência entre as superfícies



Corrosão por Contato



Ajuste Incorreto

Corrosão Avançada



Falso Brinell

Fadiga

Desgaste

Corrosão

Erosão Elétrica

Deformação
Plástica

Trincas

Corrosão por
contaminação

Corrosão por fricção

Corrosão por contato

Falso Brinell

- Corpos rolantes / pista
- Micro movimentos / deformação elástica
- Vibrações
- Corrosão / desgaste: espelhado ou marcas avermelhadas
- Estacionário: Marcas escuras coincidindo com o espaçamento dos corpos rolantes
- Rotação: Aparecimento de estrias flutuantes



Falso Brinell



Falhas por Vibração

Vibração



Erosão Elétrica

- Corrente alta = incitar
- Aquecimento localizado instantâneo como um arco elétrico de solda
- Crateras de até 100 μm

Fadiga

Desgaste

Corrosão

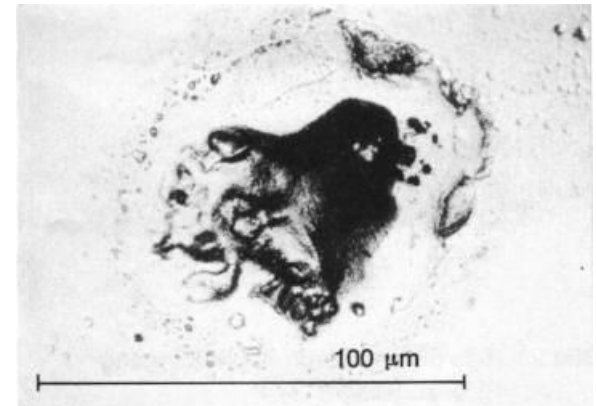
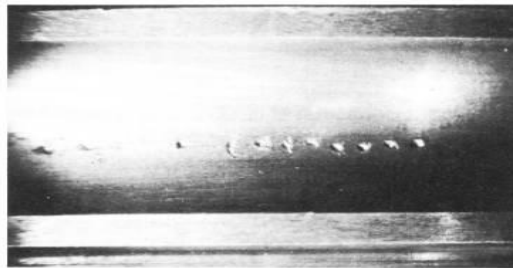
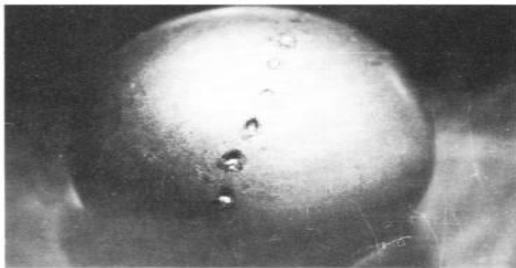
Erosão Elétrica

Deformação Plástica

Trincas

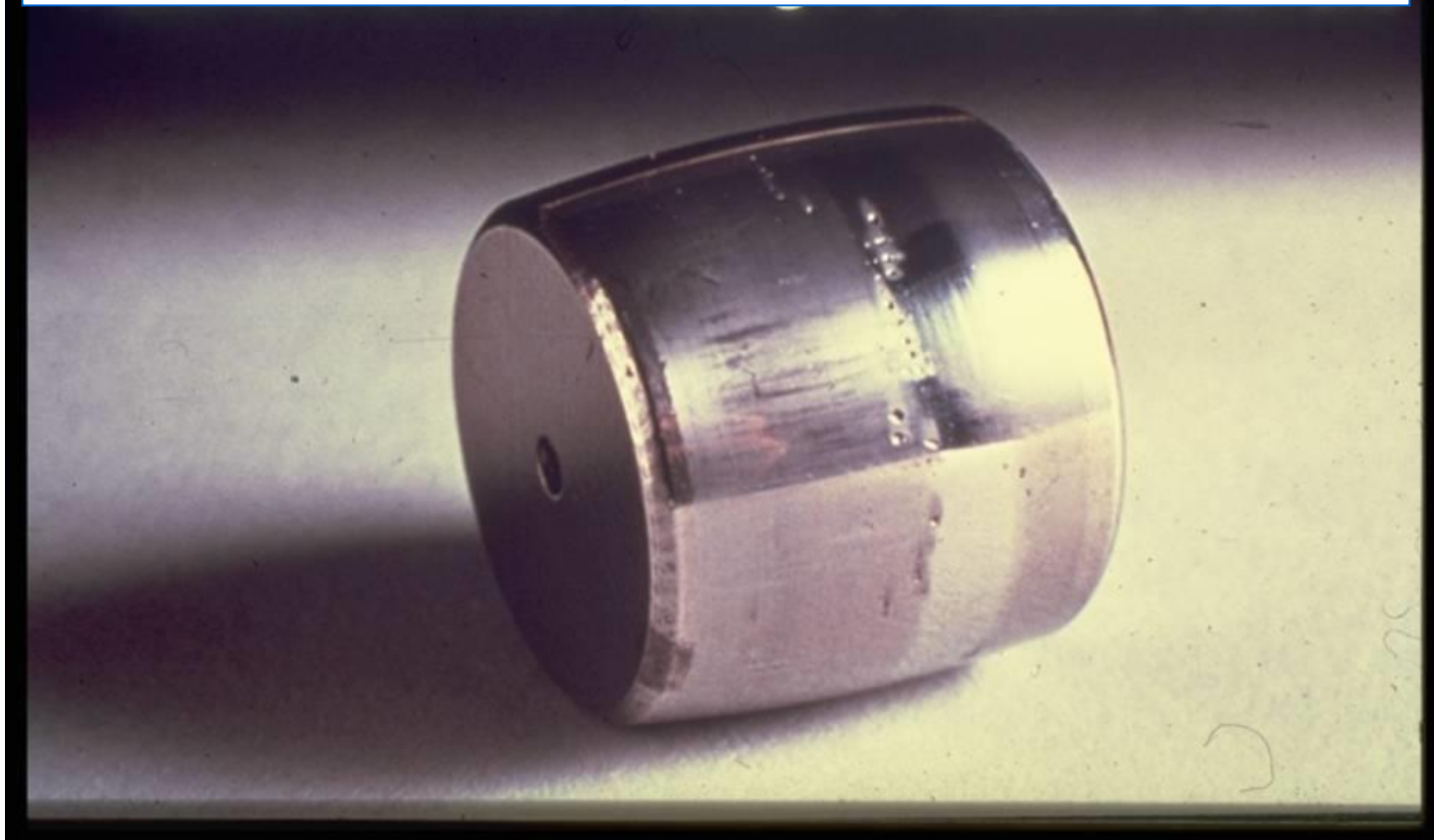
Alta voltagem

Fuga de corrente



Erosão Elétrica – Alta Voltagem

Falha por passagem de corrente elétrica



Erosão Elétrica

Fadiga

Desgaste

Corrosão

Erosão Elétrica

Deformação
Plástica

Trincas

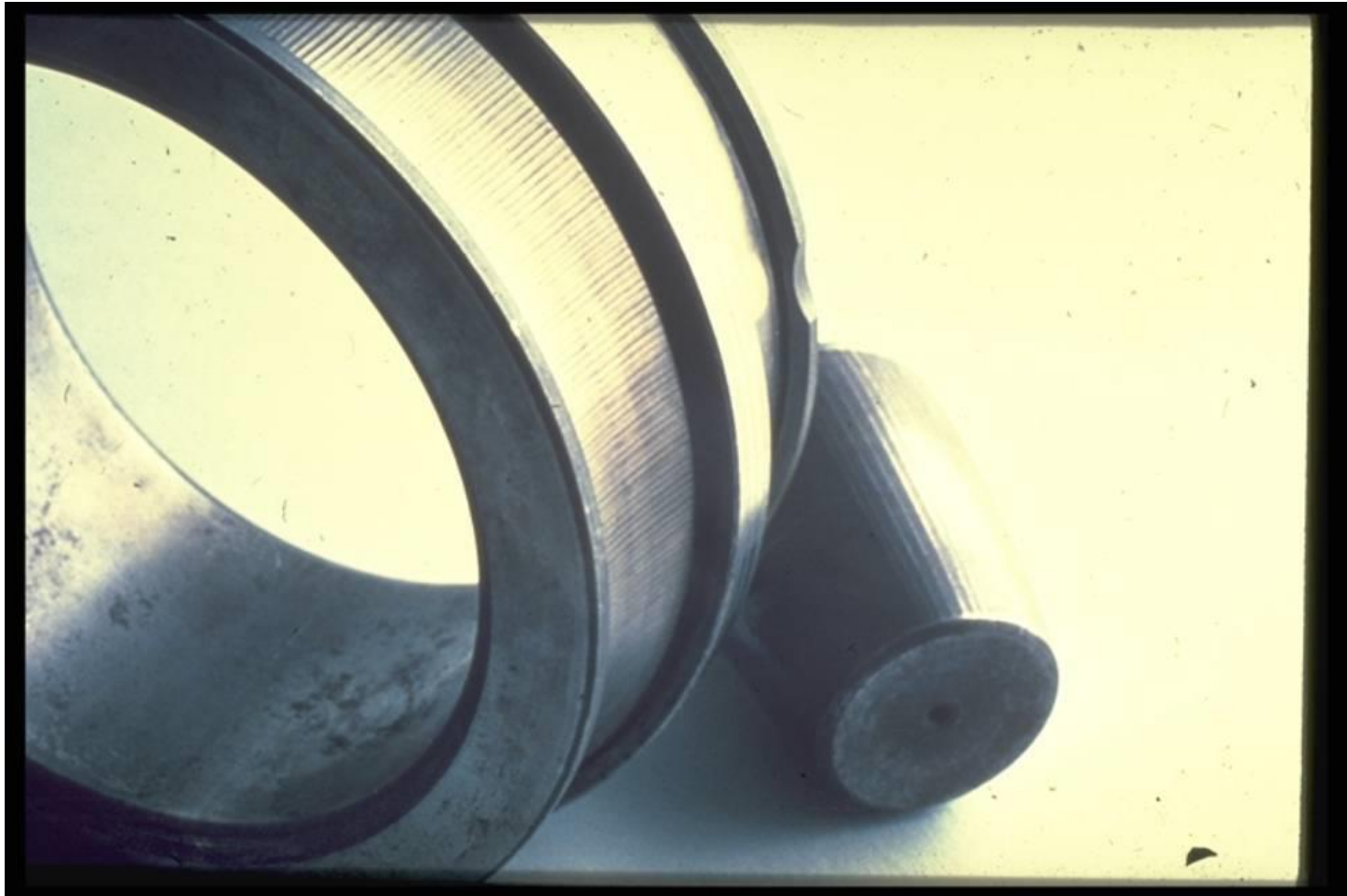
Alta voltagem

Fuga de corrente

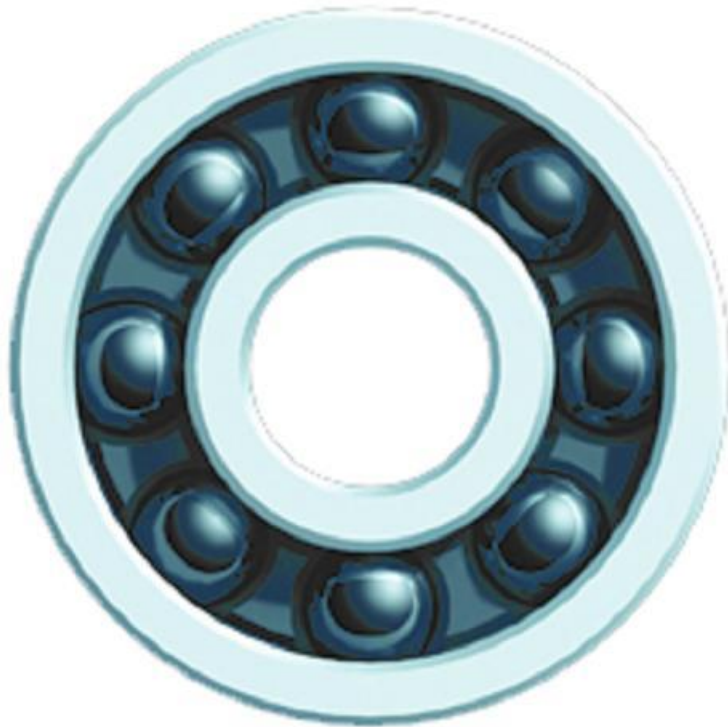


- Corrente de baixa intensidade
- Abertura de crateras superficiais
- Desenvolvimento de estrias nas pistas e corpos rolantes, paralelo ao eixo do rolo
- Coloração marrom-escuro ou preto cinza

Fuga de Corrente



Soluções para passagem de corrente elétrica



Rolamentos DGBB Híbrido



Insocoat

Sobre carga

Fadiga

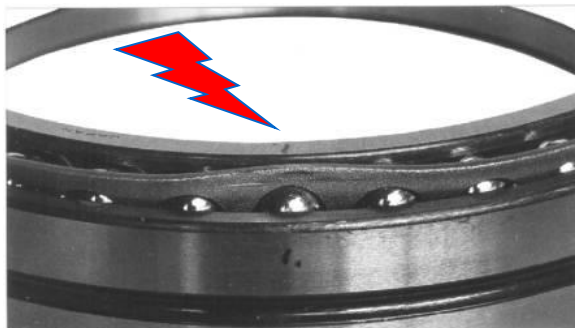
Desgaste

Corrosão

Erosão
Elétrica

Deformação
Plástica

Trincas



Sobre carga

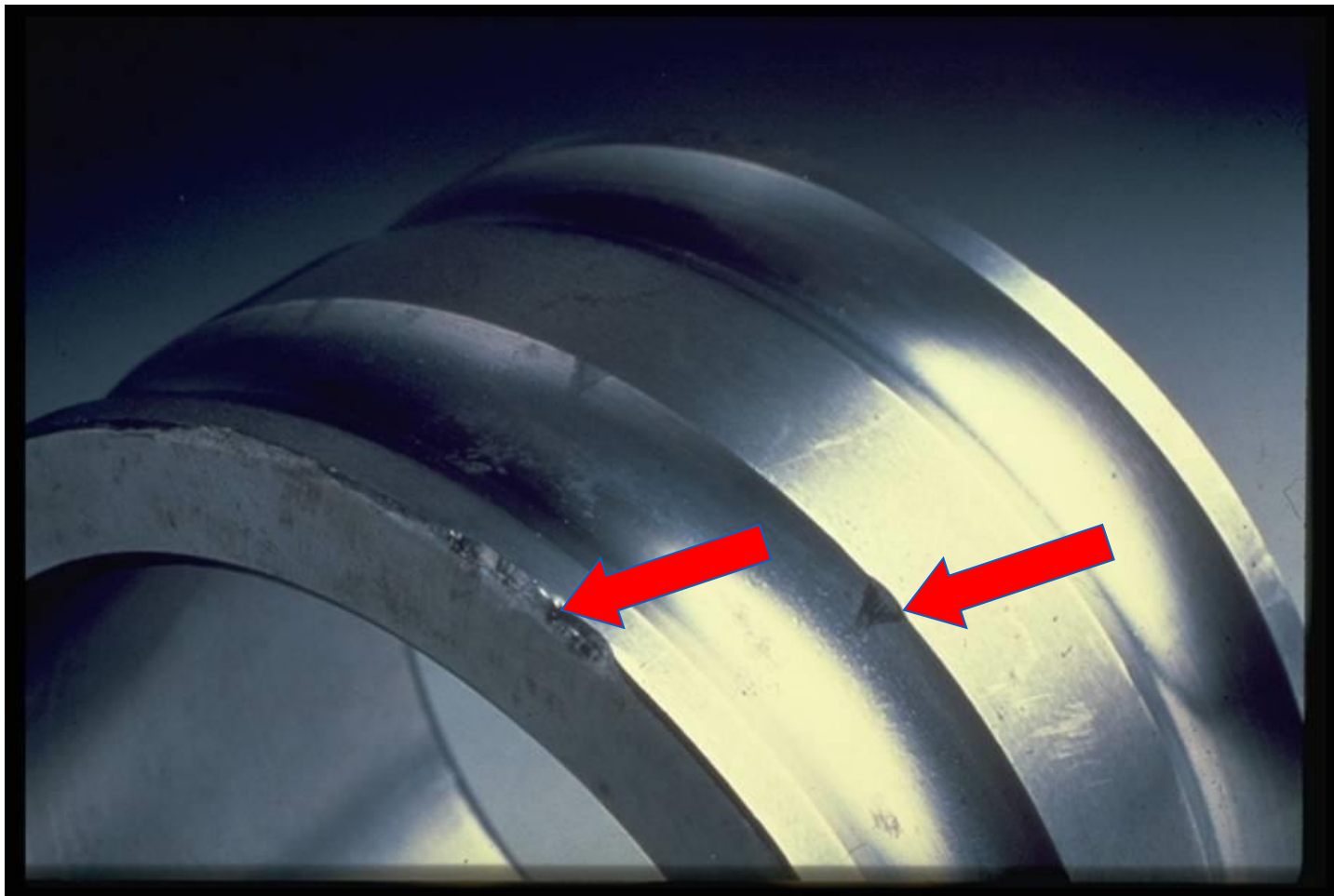
Endentação

Endentação
por limas e
rebarbas

Endentação
por manuseio

- Cargas estáticas ou de choque
- Deformações plásticas
- Marcas equidistantes
- Manuseio

Montagem



Endentações

- Sobre carga localizada
- Marcas sobre o rolo = endentações
- Causado por material mole / aço endurecido / partículas minerais sólidas

Fadiga

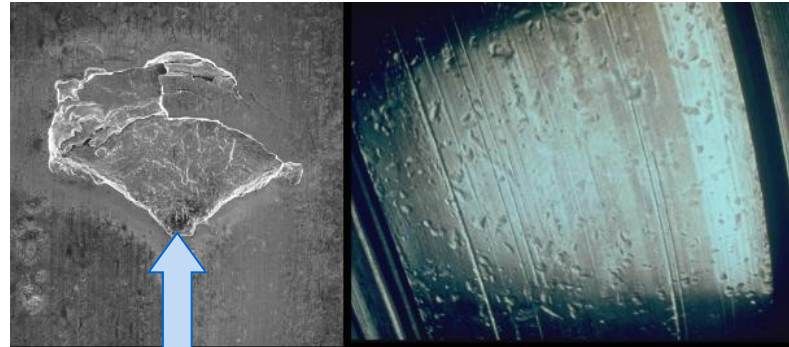
Desgaste

Corrosão

Erosão Elétrica

Deformação Plástica

Trincas



Sobre carga

Endentação

Endentação por
limalhas e rebarbas

Endentação por
manuseio

Manuseio

- Sobre carga localizada
- Marcas causadas por objetos rígidos e endurecidos

Fadiga

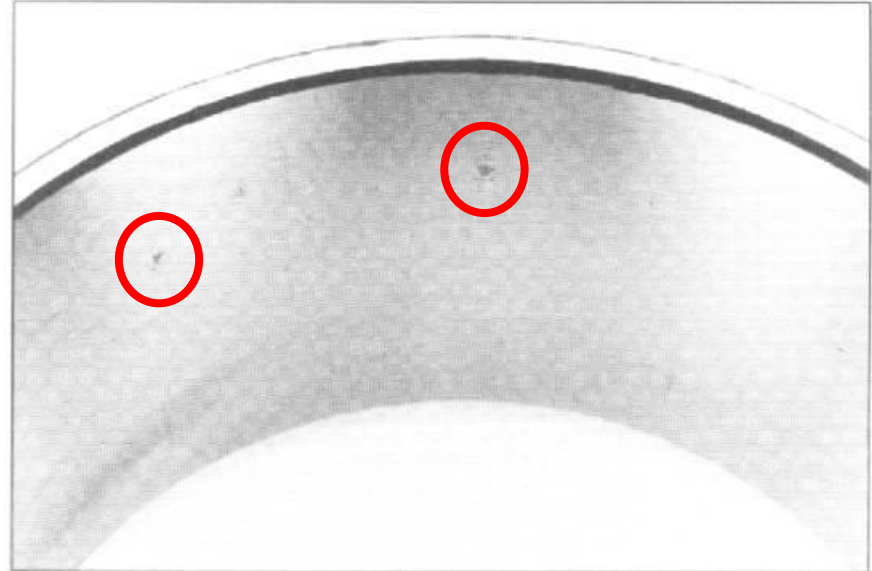
Desgaste

Corrosão

Erosão Elétrica

Deformação Plástica

Trincas



Sobre carga

Endentação

Endentação por limalhas e rebarbas

Endentação por manuseio

Manuseio



CRB

Falha por manuseio incorreto



Trinca

- Tensão excessiva no anel
- Impacto / concentração de tensão

Fadiga

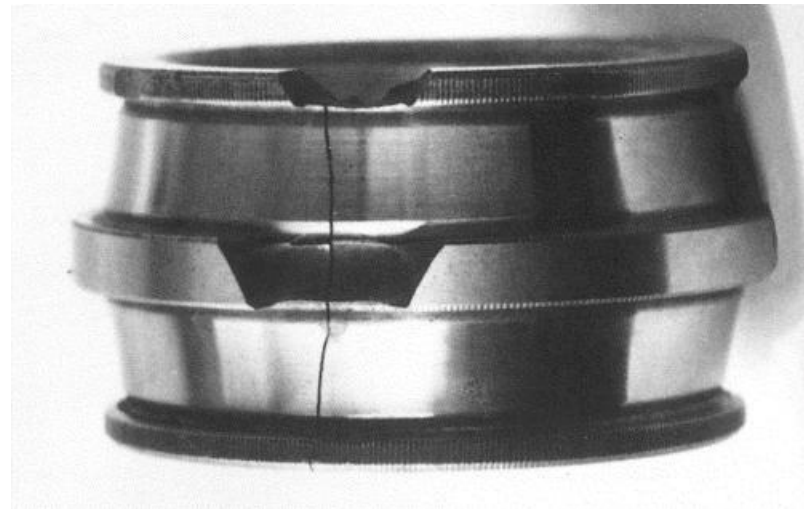
Desgaste

Corrosão

Erosão Elétrica

Deformação
Plástica

Trincas



Trinca de montagem

Trinca por fadiga

Trinca por temperatura

Fratura



Interferência
excessiva

Trinca

Fadiga

Desgaste

Corrosão

Erosão Elétrica

Deformação
Plástica

Trinca



Trinca de Montagem

Trinca por Fadiga

Trinca por Temperatura

- Trinca por interferência muito alta
- Início da trinca / propagação
- Final da trinca de montagem
- Anéis e caixas

Trinca por Temperatura

Fadiga

Desgaste

Corrosão

Erosão Elétrica

Deformação
Plástica

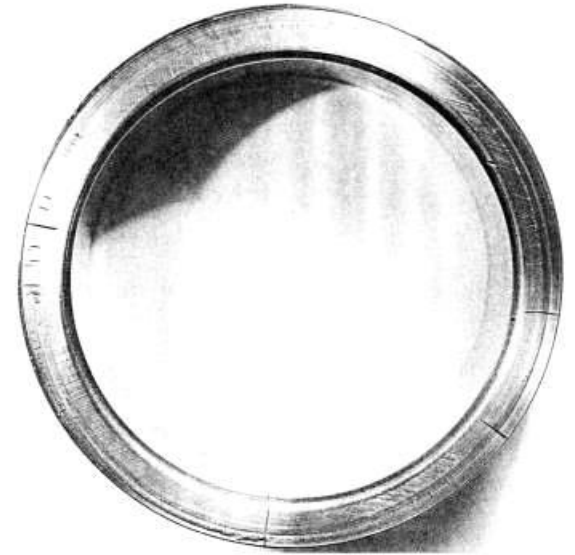
Trinca

- Escorregamento e / ou lubrificação insuficiente
- Aquecimento por fricção
- Fratura transversal ao escorregamento

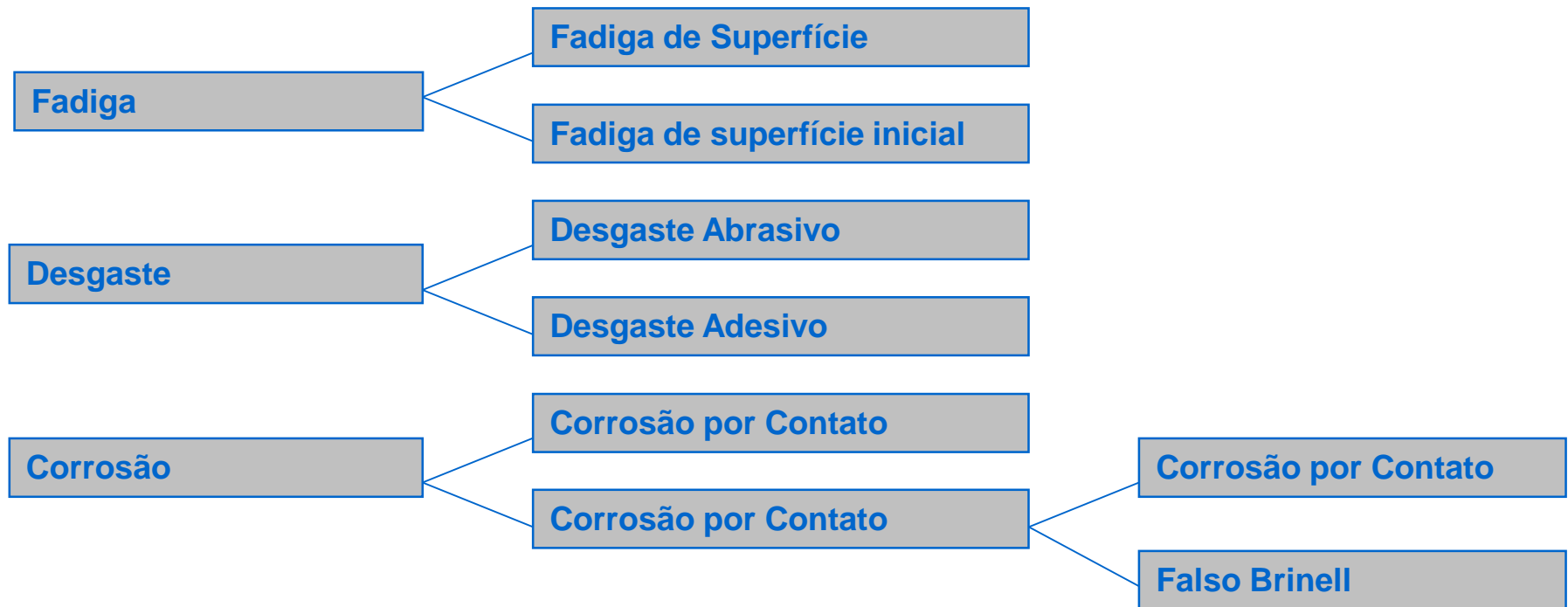
Trinca de Montagem

Trinca por Fadiga

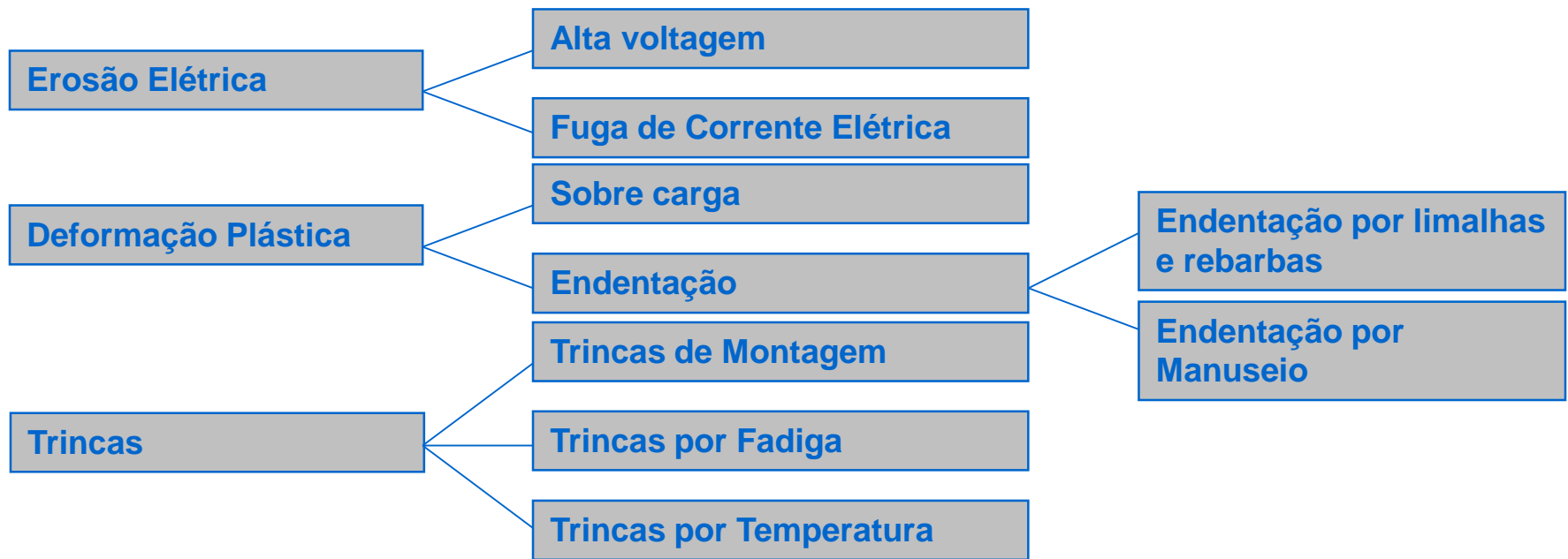
Trinca por
Temperatura



Tipos de Falhas



Tipos de Falhas



11

Conclusão

How to get a long bearing service life

- Hands-on training for all people working with bearings
- Use proper tools
- Use high-quality bearings
- Never use bearings with a central solid flange on the inner ring
- Use high-quality lubricants with adequate viscosity and additives
- Protect the bearing from contamination and water

SKF