



EFEITO DO ATRITO FLUÍDO NO MANCAL DE ROLAMENTO

EFFECT OF FLUID FRICTION ON THE BEARING

Freddy SOMMERFELD^{1,2} Marcio ARNDT² Edineia ROTH¹ Roberli CANTIDIO¹ Amanda PIMENTEL¹ Elson MARTINS¹

¹Faculdade de Tecnologia Assessoritec, Matriz – Rua Marquês de Pombal, 287 – Iriirú, Joinville – SC, 89227-110.

²Faculdade SENAI Joinville – Rua Arno Waldemar Dohler, 921 - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, 89223-001.

Recebido: 15/12/2019 – Aprovado: 20/03/2020

RESUMO

Nos dias de hoje, é muito comum encontrarmos um ou mais rolamentos, praticamente em quase todos os equipamentos das quais transmitem movimentos rotativos. Estes rolamentos tem a função de facilitar esses movimentos. O objetivo deste trabalho tem por fim, analisar o efeito do atrito fluído no mancal de rolamento no desempenho e na vida útil dos rolamentos, utilizando técnicas, dispositivos, instrumentos e métodos de manutenção preditiva, para demonstrar os resultados. A lubrificação é um processo necessário para que um rolamento prolongue seu tempo de vida. Este trabalho permite mostrar os tipos de lubrificantes existentes no mercado, bem como identificar um produto adequado para um processo específico como no mancal de rolamento. Diante do exposto, o presente trabalho apresenta métodos de lubrificação adequado para o processo de lubrificação do rolamento, prologando sua vida útil.

Palavras-chave: Lubrificação; Vida útil; Rolamento.

ABSTRACT

Nowadays, it is very common to find one or more bearings, practically in almost all equipment which transmit rotary movements. These bearings have the function of facilitating these movements. The aim of this work is to analyze the effect of fluid friction in the bearing on the performance and service life of bearings, using predictive maintenance techniques, devices, instruments and methods to demonstrate the results. Lubrication is a necessary process for a bearing to prolong its life. This work allows to show the types of lubricants existing in the market, as well as to identify a suitable product for a specific process such as rolling bearings. Given the above, this work presents lubrication methods suitable for the bearing lubrication process, extending its useful life.

Keywords: Lubrication; Lifespan; Bearing.

1. INTRODUÇÃO

Elementos de máquinas como rolamentos, são indispensáveis para um bom funcionamento e eficácia dos projetos de máquinas utilizadas na indústria moderna, sejam para equipamentos de grande porte ou mesmo de pequeno porte como produtos eletrodomésticos. A variedade de rolamentos existente no mercado é enorme e para as máquinas, porém, existe uma dificuldade em garantir uma vida útil mais prolongada desses elementos de máquinas, não deixando de mencionar a confiabilidade dos equipamentos para onde os mesmos são especificados. Pesquisas desenvolvidas pelos próprios fabricantes de rolamentos, como por exemplo a NACHI e a SKF, afirmam que apenas entre 3 e 10% destes, conseguem chegar ao fim da vida útil especificada nos catálogos, sendo uma das razões principais os problemas relacionados com a lubrificação.

Para este estudo de caso, foi analisado a influência do atrito fluido no processo de lubrificação de um mancal de rolamento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. LUBRIFICAÇÃO

A contaminação do lubrificante por partículas que possam causar endentações nas superfícies do rolamento, levando essas regiões a atuarem como concentradoras de tensão é atualmente a principal causa de dano em aplicações comerciais. (GIRODIN et al 2002, apud NEVES, 2006, p.31).

Lubrificação é o processo de modificar o comportamento de duas superfícies sob carga e em movimento relativo, pela inserção de um material lubrificante entre elas, para que tenhamos um trabalho confiável dos conjuntos rotativos e também em vias deslizantes, reduzindo satisfatoriamente o desgaste prematuro dos elementos de máquinas, evitando assim, quebras, trincas e ruturas de eixos e mancais de forma inesperada. A correta escolha do lubrificante e do método de aplicação para cada tipo de rolamentos por exemplo, é de suma importância para termos a vida útil correta dos mesmos.

Figura 1 – Vantagens da lubrificação.



Fonte: Naschi (2018)

A Figura 1, demonstrar todos as vantagens que a lubrificação trás para os rolamentos utilizando os lubrificantes corretos.

2.1.1. Efeitos da Lubrificação

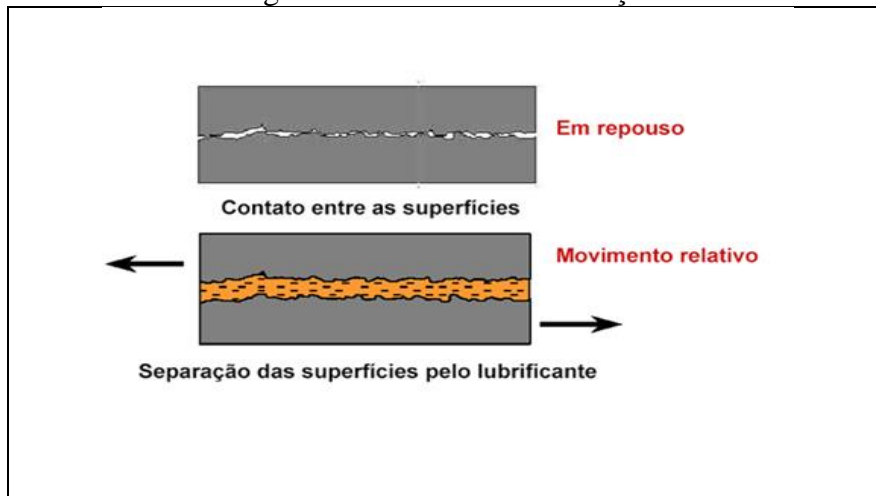
A finalidade da lubrificação é a criação de uma película lubrificante para separar duas superfícies em movimento. A espessura da película lubrificante é um requisito muito importante, assim como o tipo de lubrificante e seus aditivos. Esses parâmetros serão definidos depois que se conheça os tipos de materiais em contato, tipos de carga, temperatura, velocidade e intempéries a que estarão sujeitas.

O lubrificante pode se apresentar de formas diferentes, conforme a seguir:

- Um gás;
- Um sólido;
- Um semissólido ou pastoso;
- Ou o mais comum, um líquido.

A ciência que estuda as superfícies atuantes em movimento relativo e todos os fenômenos daí decorrentes, como por exemplo o atrito, o desgaste, a lubrificação, etc., pode ser definida como tribologia.

Figura 2 - Efeito da Lubrificação



Fonte: Apostila Shell Services (2018).

A Figura 2 acima, tem a função de ilustrar de forma visual o efeito da lubrificação durante o movimento relativo das superfícies quando essas são corretamente lubrificadas.

2.1.2. Desgaste

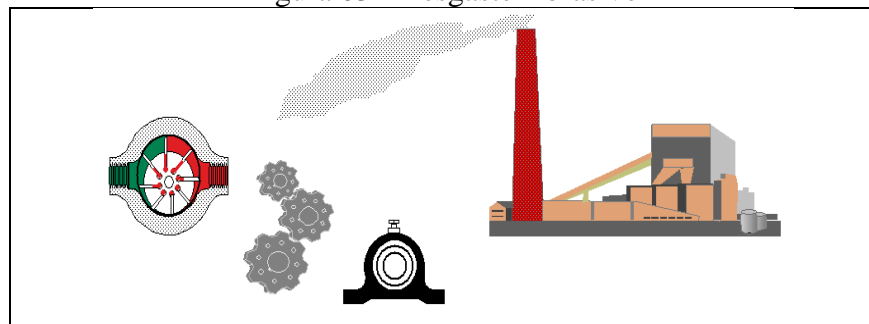
Muito embora o objetivo da lubrificação seja reduzir o atrito, podemos considerar que sua finalidade final seja diminuir o desgaste. Os tipos de desgastes podem ser:

- Abrasivo;
- Corrosivo;
- Adesivo;
- Por fadiga.

2.1.3. Desgaste Abrasivo

É causado por partículas abrasivas de contaminação externa ou interna, de natureza muito dura, assim como do desgaste das próprias peças metálicas dos conjuntos mecânicos, conforme ilustrado abaixo na Figura 3.

Figura 03 - Desgaste Abrasivo



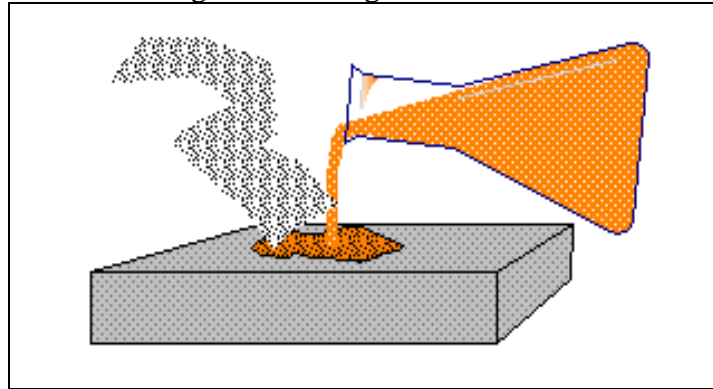
Fonte: Engelubri (2010).

No caso dos rolamentos por exemplo, a contaminação do lubrificante causa 17% dos danos que reduzem a sua vida útil em horas.

2.1.4. Desgaste Corrosivo

É causado pela ação química de produtos ácidos ou corrosivos, que associados com o atrito entre as superfícies, as riscam e as corroem conforme ilustrado a seguir.

Figura 04 - Desgaste Corrosivo



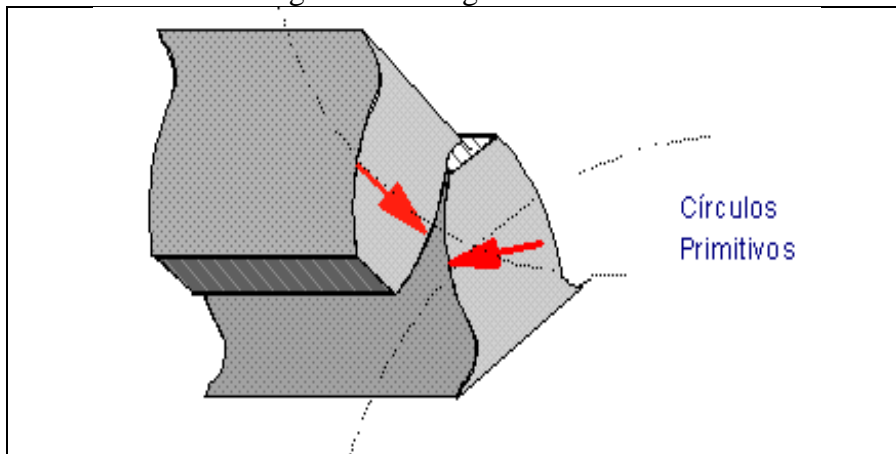
Fonte: Apostila ENGELUBRI (2010).

O desgaste corrosivo ocorre com frequência durante o processo de limpeza de máquinas e equipamentos, quando o produto de limpeza é utilizado sem os devidos cuidados, ou quando os equipamentos são instalados próximos a fontes corrosivas, como linhas de decapagem, sem a devida proteção.

2.1.5. Desgaste Adesivo

Este resulta quando nas condições de velocidade, carga e temperatura, a película lubrificante fica tão fina que permite o contato de metal com metal, provocando a retirada de material das superfícies e conseqüentemente, a fadiga das peças, conforme ilustrado a seguir.

Figura 05 - Desgaste Adesivo.



Fonte: Englubri (2010)

Isto ocorre com frequência quando o plano de lubrificação não contempla o lubrificante apropriado. São aplicados lubrificantes multipurpose, sem aditivos de extrema pressão e anti desgaste.

2.1.6. Aditivos

Aditivo normalmente é formado por um conjunto de produtos químicos, que são adicionados ao óleo básico em pequenas quantidades, para melhorar as propriedades do lubrificante. Os aditivos podem ser classificados de acordo com a função que eles exercem. Abaixo segue apresentando as principais funções dos aditivos:

- Aprimorar uma característica já existente no óleo, como por exemplo, o aumento da resistência à oxidação e do índice de viscosidade;
- Fornecer ao lubrificante uma nova característica, como por exemplo a proteção antimicrobiana.

2.1.7. Aditivos Extrema Pressão

Os aditivos EP trabalham combinando-se com o metal das superfícies atritantes e formam uma capa superficial que evita a soldagem proveniente do calor causado por pressões elevadas que conseqüentemente reduz o desgaste entre as peças dos conjuntos. Os aditivos de extrema pressão - EP mais utilizados são:

- Enxofre;
- Fósforo;
- Cloro;
- Combinação destes elementos.

2.1.8. Reação dos Agentes Extrema Pressão

Os compostos de cloro, enxofre e fósforo, reagem quimicamente com os metais e formam películas finíssimas de sulfetos, cloretos e fosfatos aderentes ao metal.

2.1.9. Ação dos Agentes Extrema Pressão

Os agentes de extrema pressão agem de forma diferente quando colocados em carga, por esse motivo devem ser selecionados e desenvolvidos para a aplicação do lubrificante, conforme segue:

- O enxofre é de ação lenta e residual;
- O cloro é de pronta ação e curta duração;
- O fosforo forma fosfatos com o metal. Esses fosfatos ao sofrerem atrito provocam o polimento das partes em contato.

2.2. POR QUE LUBRIFICAR?

A aplicação de uma lubrificação organizada e eficaz proporcionará uma série de vantagens. Conforme

apresentado nas pesquisas dos principais fornecedores de lubrificantes, como por exemplo a da empresa Naschi (2020), um programa de lubrificação bem elaborado poderá apresentar as seguintes vantagens:

- Um aumento na vida útil dos equipamentos de até 10 vezes;
- A reduz no consumo de energia de até 20%;
- A reduz nos custos de manutenção de até 35%;
- A reduz no consumo de lubrificantes de até 50%;
- E a reduz das manutenções corretivas em até 80%.

Conforme pesquisas realizadas por entidades como a ABRAMAN, por exemplo, um plano de lubrificação bem elaborado, reduz a ocorrência das manutenções corretivas entre 50% e 80%. Esta redução dependerá de vários fatores que deverão ser observados durante a elaboração do plano, como carga, velocidade, temperatura, ajustes recomendados, etc.

2.2.1. Características dos Lubrificantes

Os lubrificantes apresentam várias características que devem ser conhecidas para atingir melhores resultados na aplicação dos lubrificantes. Quando falamos em lubrificação de conjuntos mecânicos as mais importantes são a viscosidade e o índice de viscosidade, pois são afetadas pelo aquecimento dos conjuntos em movimento causado pelo atrito. A seguir vemos a lista com as principais características dos lubrificantes. Conforme o Catálogo NASCHI rolamentos (2020):

- Viscosidade e índice de viscosidade;
- Densidade;
- Ponto de fulgor e fluidez;
- Propriedades anti-desgaste;
- Estabilidade a oxidação;
- Acidez e alcalinidade;
- Demissibilidade e emulsibilidade;

2.2.2. Viscosidade

É a resistência de um fluido ao seu escoamento e é a propriedade mais importante do óleo lubrificante, não quantifica sua qualidade e é uma função de desempenho.

2.2.3. Classificação da Viscosidade

A viscosidade é normatizada segundo a norma ISO VG 3448. A Norma SAE que assegura a viscosidade de um lubrificante em altas ou baixas temperaturas (item importante em lubrificantes automotivos, previsto na norma SAE J-300 para a linha automotiva e pela norma SAE J-306 para óleos de engrenagens industriais).

2.2.4. Classificação da Viscosidade Conforme Norma ISO-3448

Na Figura 6, pode-se observar a classificação da viscosidade dos lubrificantes conforme norma ISO VG 3448. Conforme aplicação, os lubrificantes devem possuir uma viscosidade adequada.




Figura 06 - Classificação de Viscosidade ISO-3448.

Grau de viscosidade ISO VG	Viscosidade média em cSt a 40°C	Limite de viscosidade cinemática em cSt a 40°C		Grau de viscosidade ISO VG	Viscosidade média em cSt a 40°C	Limite de viscosidade cinemática em cSt a 40°C	
		Mínimo	Máximo			Mínimo	Máximo
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42	ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52	ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06	ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48	ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 10	10	9,00	11,0	ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 15	15	13,5	16,5	ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 22	22	19,8	24,2	ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 32	32	28,8	35,2	ISO VG 1000	1000	900	1100
ISO VG 46	46	41,4	50,6	ISO VG 1500	1500	1350	1650

Fonte: Apostila Shell Services (2018).

Ao selecionar um lubrificante devemos observar algumas regras básicas conforme descrito no quadro a seguir:

Figura 7 - Regras para Selecionar Lubrificantes

Maior Velocidade.....	Menor Viscosidade	
Menor Velocidade.....	Maior Viscosidade	
Maior Temperatura.....	Maior Viscosidade	
Menor Temperatura.....	Menor Viscosidade	
Maior Carga.....	Maior Viscosidade	
Menor Carga.....	Menor Viscosidade	

Fonte: Engelubri (2010).

As normas internacionais dividem os lubrificantes em dois grupos. Os lubrificantes industriais e os automotivos. A classificação DIN 51502 por exemplo, definem as duas características principais dos lubrificantes: a viscosidade e o desempenho (ou carga de aditivos) que aparecem na especificação em forma de letras. Veja exemplos a seguir:

- HL: recomendados para unidades de conservação (Lubrifil);
- CLP: recomendados para caixas de engrenagens industriais e redutores em geral;
- CGLP: recomendados para barramentos e guias;
- Q: óleos para sistemas de transferência de calor;
- V: óleos para compressores de ar rotativos, de palhetas e de parafusos;
- J: óleos para transformadores elétricos;
- KPK: graxas para mancais em geral e sistemas centralizados de lubrificação.

Figura 8 -Viscosidade Recomendada

Viscosidade	Aplicação
ISO 100	Usada para altas velocidades > 3600 rpm, baixas cargas, baixas temperaturas
ISO 150/220	Velocidades Moderadas até 3600 rpm, e altas cargas, típica graxa multi-purpose
ISO 460	Maiores cargas que ISO 150/220, maior resistência a água
ISO 1500	Baixas Velocidades < 100 rpm, Altíssimas cargas, Resistência a água.

Fonte: Engelubri (2010).

As informações contidas na Figura 8, podem ser utilizadas de forma orientativa para a seleção do lubrificante, até que se faça um estudo mais detalhado do processo de trabalho e das solicitações aplicadas aos conjuntos dos equipamentos.

2.2.5. Formulação de Óleos Lubrificantes

Os óleos básicos podem ser vegetais, minerais ou sintéticos. São estes que efetivamente fazem a lubrificação. O óleo básico mais utilizado é o mineral que é derivado do petróleo cru. O óleo de petróleo cru é o resultado da decomposição de animais e vegetais em camadas profundas da Terra. $0,75 < P < 0,95$. Possui a cor preta ou opaco, variando entre avermelhada e verde escura sob luz refletida. Também apresenta odor em geral igual ao da gasolina, quando rico em voláteis. A composição básica do petróleo bruto (ou cru) é de:

- Carbono (C): 80%-90%
- Hidrogênio (H): 10%-15%
- Presentes em pequenas quantidades de O, N e S

Os lubrificantes são formados por uma composição de óleo básico mais a adição de compostos denominados de aditivos. Estes, conferem propriedades especiais ao óleo para que possam suportar cargas

elevadas, temperaturas baixas e elevadas, altas velocidades, e outros ainda.

2.2.6. Óleos Sintéticos

Os óleos sintéticos não são derivados do petróleo (sintetizados em laboratório) e conferem melhores características e qualidade ao lubrificante, mas possuem sérias incompatibilidades com alguns materiais. Os mais utilizados são:

- Polialfaolefinas (PAO): hidrocarbonetos sintéticos, $IV=135$, para altas ou baixas temperaturas, muito utilizado pelo custo-benefício;
- Diésteres: para temperaturas $<-50^{\circ}\text{C}$, incompatíveis com vedações;
- Poliésteres: também incompatíveis, mas excelente estabilidade térmica e hidrolítica. São utilizados em jatos;
- Silicones: quimicamente inertes, com $IV>300$, utilizados em graxas para altas temperaturas e fluidos de freio. Não reagem bem com aditivos e não formam uma boa película lubrificante.

2.2.7. Tipos de Lubrificação

Os tipos de lubrificação citados abaixo fornecido pelo catálogo NASCHI rolamentos são: hidrodinâmica, limítrofe e hidrostática. Na lubrificação hidrodinâmica a espessura da película de lubrificante é maior que a altura da rugosidade quando observada no microscópio. Nos conjuntos que optam pela lubrificação limítrofe encontramos uma espessura de película lubrificante igual à altura da rugosidade das superfícies em contato.

Quando o equipamento possui um sistema de lubrificação hidrostático, o lubrificante é injetado no espaço entre as superfícies por um processo de bombeamento, antes do início da rotação, evitando o atrito na partida do equipamento entre as superfícies em contato.

2.2.8. Lubrificação em Rolamentos

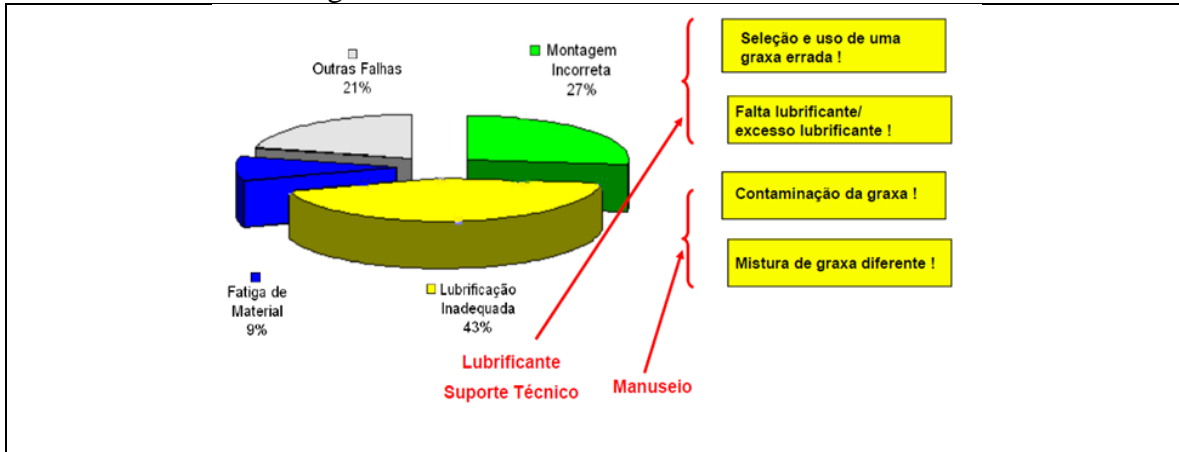
Para os rolamentos terem uma vida útil conforme determinado pelos fabricantes, é necessário que sejam lubrificados adequadamente, para evitar o desgaste dos elementos rolantes, pistas e gaiola.

Girodin et al (2002), da SNR Roulements, publicam trabalho abordando a tolerância de alguns materiais à endentação causada por contaminante no lubrificante. Segundo os autores, a contaminação do lubrificante por partículas que possam causar endentações nas superfícies do rolamento, levando essas regiões a atuarem como concentradoras de tensão é atualmente a principal causa de dano em aplicações comerciais. (GIRODIN et al 2002, apud NEVES, 2006, p.31).

Um fator de grande importância na gestão da manutenção é análise de falhas dos componentes de máquinas e equipamentos. Através desta análise é possível descobrir a causa raiz da falha e traçar as corretivas e

preventivas eficazes. Na Figura 9 a seguir podemos ver o resultado da análise de falhas em rolamentos.

Figura 9 - Estatística de Falha em Rolamentos



Fonte: KLUBER LUBRICATION (2014).

Como é possível observar na Figura 6 acima, 43% das falhas em rolamentos é causada por falhas no programa de lubrificação, envolvendo conhecimento técnico ou suporte técnico e manuseio incorreto.

Assim como a falta ou a falha no processo de lubrificação causa fadiga prematura dos rolamentos, o excesso também é prejudicial. O excesso de graxa nos rolamentos, por exemplo, promove:

- Superaquecimento;
- Aumento de atrito;
- Redução na vida útil;
- Falhas no rolamento.

Para determinar a quantidade adequada de graxa lubrificante podemos utilizar a tabela 2 abaixo. Através do cálculo do fator de rotação podemos descobrir o percentual de graxa que deverá ocupar os espaços livre no interior do rolamento.

Figura 10 - Fator de Rotação.

Velocidade	Fator $D_m \cdot n$	Quantidade de Graxa
Baixa	$D_m \cdot n < 150000$	50% - 80%
Média	$150000 < D_m \cdot n < 500000$	30% - 50%
Alta	$D_m \cdot n > 500000$	10% - 30%

D_m = Diâmetro médio

$$Fn = \frac{d + D}{2} \cdot n$$

d → Diâmetro do furo interno (d)
 D → Diâmetro do anel externo (D)
 n → Rotação (em RPM)

Fonte: Apostila de treinamento da NACHI (2013).

Para compreender a aplicação da tabela 10, iremos determinar a quantidade de lubrificante de um rolamento auto compensador de rolos 22208exw33kc3. Este rolamento possui furo de 40 mm e diâmetro externo de 80 mm e gira a uma rotação de 3000 rpm.

$$Fn = \frac{d + D}{2} \cdot n \qquad Fn = \frac{40 + 80}{2} \cdot 3000$$

$$Fn = 180000$$

Utilizando a tabela 3 a seguir, podemos observar que a quantidade de lubrificante adequada é de 30% do espaço livre do rolamento, podendo chegar no máximo a 40%. A partir de 50% terá início o atrito fluido, gerando aquecimento, dilatação e com isso provocará danos ao rolamento.

Figura 11 - Fator de Rotação - Fn

Velocidade	Fator $D_m \cdot n$	Quantidade de Graxa
Baixa	$D_m \cdot n < 150000$	50% < Q < 80%
Média	$150000 < D_m \cdot n < 500000$	30% < Q < 50%
Alta	$D_m \cdot n > 500000$	10% < Q < 30%

$Fn = 180000$

Fonte: Apostila de treinamento da NACHI (2013).

É importante relembrar que o excesso de graxa é tão prejudicial quanto a falta. Outra fórmula para calcular a quantidade de lubrificante, é a fórmula da SKF:

$$G = 0,005 \times D \times B$$

Onde:

- **G** = quantidade de graxa em gramas,
- **D** = Ø externo do rolamento em mm e;
- **B** = largura da pista do rolamento em mm.

2.2.8. Fatores de Seleção de lubrificantes para Rolamentos

Para determinar a forma correta de lubrificação de um rolamento devemos observar diversos fatores como:

- Velocidade de rotação;
- Tipo do elemento rolante: esferas, rolos, cilíndricos, de agulhas;
- Dimensões do rolamento (L x d x D);
- Carga aplicada;
- Temperaturas de trabalho e ambiente;
- Calor induzido
- Condições do ambiente: pó, sujeira, umidade;
- Torque

Se o rolamento for blindado ou vedado, este não requer relubrificação pois:

- São lubrificados pela vida (trabalham sem relubrificação até falharem);
- Operam por um período de troca entre 2 a 4 anos;
- E utilizam graxa de sabão de lítio ou poliuréia.

2.2.9. Intervalos de Relubrificação

Em regra geral, se a temperatura de trabalho for no máximo de 50°C, o óleo pode ser trocado anualmente. Para temperaturas de trabalho em torno de 100°C, o intervalo para troca de óleo cai para 60 ou 90 dias. Outro fator que determina o período de relubrificação, além dos que já foram descritos acima, é o fator de marcha, ou seja, qual será seu regime de trabalho.

2.3. PLANEJAMENTO DA LUBRIFICAÇÃO

O planejamento da lubrificação faz parte do planejamento de manutenção das máquinas e equipamentos, e é composto das seguintes fases:

- Levantamento dos equipamentos;
- Racionalização dos estoques;
- Programação;
- Codificação e identificação de sobressalente e dos lubrificantes;
- Controle, padronização e melhorias.

Nas organizações, os equipamentos possuem uma identificação. Nesse caso específico, fornecido pela

empresa Ciser, os equipamentos a serem lubrificados, devem possuir um cadastro que contem:

- Nome do equipamento;
- Número de identificação;
- Localização;
- Partes a lubrificar;
- Quantidade de lubrificante;
- Método de aplicação;
- Frequência;
- Serviços (limpeza, troca de filtros, etc.);
- Lubrificantes recomendados e sua codificação.

Elaborar o programa de lubrificação significa determinar as tarefas, os tempos e os instrumentos que darão forma ao programa, que são os roteiros de lubrificação e os calendários de serviços.

Deve ser determinado em função do layout das máquinas, sua disponibilidade, frequência de aplicação e tempos de deslocamento e lubrificação.

O roteiro deve ser o mais racional possível a fim de obter o máximo de produtividade, quanto a utilização dos recursos materiais e humanos.

De posse dos dados anteriores, o responsável elabora as rotinas diárias, semanais, mensais, etc., determinando ainda o número de lubrificadores necessários e dimensionamento das instalações do setor de lubrificação. Abaixo observa-se a Tabela 4, o roteiro de lubrificação do elevador de um forno de tempera, utilizando o módulo PM de um software de gestão da SAP (R3).

Figura 12 - Roteiro Lubrificação

Lista de Roteiro de Manutenção			
Texto roteiro :	ELEVADOR DO FORNO DE TEMPERA	Usuário :	PMSUP
Gr roteiro :	1	Data :	23.04.2008
Nr roteiro :	651	Hora :	08:02:39
Oper.	Descrição	Frequência	Duração
0010	ENGRAXAR MANCAIS SUSTENTAÇÃO ELEVADOR E PORTA ELEVADOR. GUIAS CAÇAMBA CARGA E	1S Semanal	10,0 MIN
0010	ENGRAXAR MANCAIS SUSTENTAÇÃO ELEVADOR E PORTA ELEVADOR. GUIAS CAÇAMBA CARGA E	1S Semanal	10,0 MIN
0010	CONFERÊNCIA QUANTIDADE	1S Semanal	0,0
0010	CONFERÊNCIA QUANTIDADE	1S Semanal	0,0
0020	LUBRIFICAR CORRENTE ELEVADOR, CORRENTE TRAÇÃO ESTEIRA, CORRENTE COMANDO ELEVAD.	1S Semanal	15,0 MIN
0020	LUBRIFICAR CORRENTE ELEVADOR, CORRENTE TRAÇÃO ESTEIRA, CORRENTE COMANDO ELEVAD.	1S Semanal	15,0 MIN
0020	INSPEÇÃO	1S Semanal	0,0
0020	INSPEÇÃO	1S Semanal	0,0
0030	VERIFICAR NÍVEL DO REDUTOR DO ELEVADOR.	1S Semanal	5,0 MIN
0040	LUBRIFICAR CABO DE AÇO.	1M Mensal	10,0 MIN
0050	TROCAR ÓLEO DO REDUTOR DO ELEVADOR.	1J Anual	30,0 MIN

Fonte: Os autores (2020).

Devido a necessidade de identificar com rapidez os produtos lubrificantes, deve ser elaborada uma codificação. Os códigos devem ser marcados nos equipamentos, nos dispositivos de aplicação e nos depósitos. Este pode ser através da combinação de cores, figuras geométricas e números. Veja exemplo na Figura 13 a seguir.

Figura 13 - Codificação Lubrificantes.

Equipamento	Parte a lubrificar	Método	Produto	Observações
Retifica nº1	Cabeçote do rebolo	Banho de óleo	(A)	(1)
	Cabeçote fixo	Banho de óleo	(B)	(1)
	Caixa de Redução	Banho de óleo	(B)	(1)
	Lubrificação geral a óleo	Almotolia	(Ve)	(2)
	Lubrificação geral a graxa	Pistola	(V)	(3)

Obs.:

- 1 - Completar o nível semanalmente. Trocar a carga a cada 180 dias.
- 2 - Abastecer diariamente as oleadeiras.
- 3 - Abastecer mensalmente os pinos graxeiros.

Fonte: TELECURSO (2000).

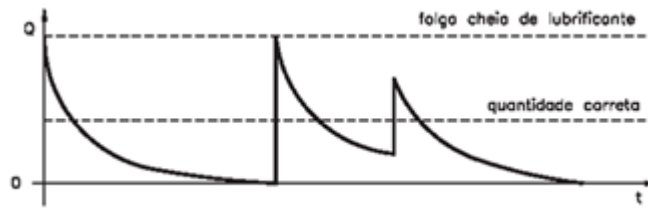
Controlar é uma atividade indispensável para que a lubrificação planejada dê bons resultados. O controle deve atuar sobre os seguintes pontos:

- Serviços;
- Consumo;
- Estoques;
- Oportunidades de melhorias.

Depois de escolher o lubrificante adequado, é necessário escolher o método de lubrificação que venha garantir a continuidade da lubrificação, por meio de uma distribuição contínua e suficiente nos pontos marcados. Isso deve ser feito com economia, aproveitando-se, ao máximo, o lubrificante e consumindo-se a quantidade necessária.

Para se obter uma lubrificação correta, é necessário que o lubrificante seja adequado ao equipamento, ao tipo de trabalho, aplicado no local correto, usado na quantidade certa e em intervalos regulares. A lubrificação correta deve acontecer em intervalos contínuos e automático, evitando-se o processo manual devido à sua baixa confiabilidade. Veja a Figura 14 e 15.

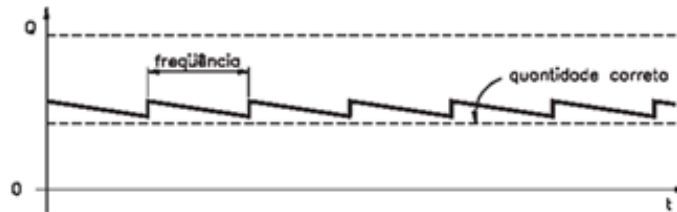
Figura 14 – Fornecimento manual de Lubrificante



Fonte: TELECURSO (2000).

Na Figura 14, observa-se a aplicação de lubrificante de forma manual. Podemos observar que na linha do tempo (t) que determina a periodicidade da lubrificação e na linha da quantidade de lubrificante (Q), ocorre uma variação bastante heterogênea afetando o tempo de relubrificação, bem como uma variação na quantidade de lubrificante colocado no ponto. Isso causa uma redução na vida útil das peças do conjunto, quando a quantidade é insuficiente e em determinados momento desperdício de lubrificante, pois é colocado em quantidade acima do necessário.

Figura 15– Fornecimento automático de Lubrificantes.



Fonte: TELECURSO (2000).

Na Figura 15, observa-se o desempenho de um sistema de lubrificação automático, onde os tempos e as quantidades ocorrem de forma homogênea, racionalizando o consumo de lubrificante e cumprindo seu papel de agir controlando o atrito e o desgaste dos componentes do conjunto.

2.3.1. Classificação dos sistemas de lubrificação

De acordo com o tipo de máquina e/ou equipamento, bem como o regime de trabalho, criticidade do processo e normas de segurança, é fundamental que seja aplicado o sistema de lubrificação mais eficaz possível. Abaixo veremos alguns sistemas manuais e com perda de lubrificante.

- Almotolia;
- Copo graxeiro;
- Bomba graxeira manual e pneumática;
- Bomba de óleo manual e pneumática;

- Pincel e/ou espátula;
- Copo conta-gotas;
- Copo com vareta;
- Copo com mecha do tipo sifão ou tampão;
- Lubrificador mecânico.

Na sequência veremos os sistemas de lubrificação selados, que são aqueles que o lubrificante recircula e é reaproveitado até a data de sua troca, conforme especificado no plano de lubrificação.

- Por banho;
- Banho com anel;
- Banho com colar;
- Por salpico;
- Com estopa e/ou almofada;
- Sistema circulatório.

Existe alguns sistemas de lubrificação considerados especiais, devido a natureza do trabalho ou do projeto da máquina. O sistema progressivo por exemplo, é aplicado a equipamento de alta ciclagem ou altas velocidades, onde a falta de lubrificação por apenas poucos minutos pode acarretar grandes danos aos conjuntos e grande paradas no processo. Veja a seguir alguns deles.

- Por névoa;
- Mancais de cavidade;
- Centralizada linha simples;
- Centralizada linha dupla;
- Centralizado progressivo.

O processo de lubrificação mais adequado é aquele que garante a introdução do lubrificante nos pontos de trabalho na quantidade adequada, no tempo certo e com um custo adequado; fornecendo a segurança que o equipamento necessita. Por esses motivos, a lubrificação deve ser planejada e organizada se quiser ser eficaz.

É importante ressaltar que os processos automatizados geram maior confiabilidade, pois enviam sempre a mesma quantidade de lubrificante, além de cumprirem com a periodicidade que foi determinada. Outro ponto importante, e a possibilidade de se instalar alarmes que indicam a falta de lubrificante no reservatório e/ou falhas no sistema, como pressão baixa, nível baixo ou distribuidores danificados.

4. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O procedimento realizado para a elaboração deste trabalho de análise do efeito do atrito fluído no mancal de rolamento, foi realizado em uma bancada (Kit didático para tarefas de alinhamento e balanceamento). Escolhemos utilizar para o ensaio dois rolamentos de esferas, pois suportam grandes esforços radiais e considerável esforço axial, além de ser de baixo custo e um dos mais utilizados nos conjuntos mecânicos.

Figura 16 - kit didático para tarefas de alinhamento e balanceamento.



Fonte: Os autores (2019).

Essa bancada didática está na instituição de ensino Senai de Joinville S.C. A mesma é composta por vários componentes mecânicos e eletrônicos.

1. Motor Weg (5cv) 2 polos.
2. Mancal Metalmac.
3. Caixa redutora Transtecno modelo CM075.
4. Conjuntos de transmissão composto por polias, correias e engrenagens.
5. Inversor de frequência.

Para realizar as medições de temperatura, foi utilizado um Termômetro infravermelho da marca Minipa MT-350, como mostrado na Figura 17.

Os termômetros infravermelhos são instrumentos portáteis leves, para a medição segura de temperaturas a distâncias e de fácil utilização. Basta apontar o laser para o ponto de medição da temperatura, puxar o gatilho e observar a temperatura mostrada no visor.

Para a desmontagem dos rolamentos usados e montagem dos rolamentos novos, foram aplicadas ferramentas apropriadas para não danificar os mesmos e executar corretamente a tarefa, conforme as

especificações do fabricante. Para a desmontagem e posterior montagem, foi utilizado a maleta TMMK 10-35 da SKF.

Figura 17 - Termômetro MT350



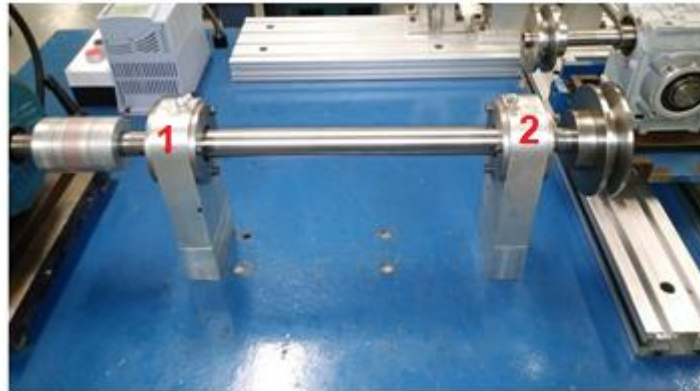
Fonte: Minipa (2019).

Para fazer a análise, foram utilizados dois rolamentos de esferas novos do fabricante NTN, tipo 6206 que foram instalados nos mancais 1 e 2. Para realização do ensaio, os rolamentos foram lubrificados com graxa azul multipurpose para mancais e rolamentos marca Unilit Blue-2.

A blue-2 é uma graxa de múltiplas aplicações, na cor azul, à base de sabão de lítio e óleos minerais de alta qualidade. Possui excelente resistência mecânica e a altas temperaturas, é resistente a água e proporciona proteção contra a corrosão e a oxidação.

A Figura 18 abaixo, mostra os pontos 1 e 2 onde serão executadas as medições de temperatura dos rolamentos.

Figura 18 - Layout dos rolamentos 1 e 2



Fonte: Do Autor (2020)

Como o objetivo do trabalho é efetuar o monitoramento da temperatura dos rolamentos, os mesmos foram instalados em dois mancais de alumínio que foram identificados com os numerais 1 e 2 na cor vermelho, mostrados na Figura 18.

Para verificar o efeito do atrito fluído no mancal de rolamentos, realizamos as seguintes etapas.

- Desmontagem dos rolamentos usados dos mancais 1 e 2.
- Montagem dos rolamentos novos NTN código 6206.
- Alinhamento dos eixos unidos por acoplamento flexível.

Os parâmetros abaixo mostram o momento em que a Bancada Didático foi acionada com a temperatura inicial dos mancais em 24°C.

Tabela 1 – Lubrificação normal/Eixo Desalinhado

Lubrificação Normal / Eixo Desalinhado			
Ponto .1	Horário	Frequência	Ponto .2
24,0°C	18:10 hs	30Hz	24,0°C
34,3°C	18:20 hs	30Hz	23,9°C
41,8°C	18:30 hs	30Hz	26,7°C
49,7°C	18:40 hs	30Hz	29,6°C

Fonte: Os autores (2019).

Pela Tabela 1 acima, observamos que o Ponto 1 apresentou temperatura muito elevada após 30 minutos, passando da temperatura inicial de 24°C para 49,7°C, com uma frequência de 30Hz. Isso ocorreu em decorrência do mal alinhamento entre os eixos do motor, o acoplamento e eixo dos mancais. Isso comprova que o desalinhamento do eixo é um fator muito importante, para que o conjunto tenha uma vida útil satisfatória, uma vez que ele gera um aquecimento descontrolado nos elementos de máquina que compõem a transmissão. Após a observação dessa deficiência, foi realizada a correção do alinhamento dos eixos, para continuar o procedimento de ensaio.

Figura 19 – Alinhamento dos eixos do mancal e motor



Fonte: Os autores (2019).

A Figura 19, mostra o ponto onde foi realizada a correção do alinhamento entre os eixos do mancal e do motor. Os resultados descritos abaixo, são pós correção do alinhamento do motor em relação ao mancal.

Tabela 2 – Lubrificação normal/Eixo Alinhado

Lubrificação Normal / Eixo Alinhado			
Ponto .1	Horário	Frequência	Ponto .2
29,8°C	19:15 hs	30Hz	29,0°C
31,6°C	19:30 hs	30Hz	29,2°C
33,4°C	19:45 hs	30Hz	29,6°C
32,9°C	20:00 hs	30Hz	29,8°C

Fonte: Os autores (2019).

Pela Tabela 2 acima, verificamos que a temperatura do ponto 1 que apresentou uma elevação da temperatura no início, conforme observado na tabela 5, após o alinhamento teve a temperatura do mancal 1 estabilizada, dentro de padrões normais de funcionamento.

Os valores descritos na Tabela 3 abaixo, foram as mais importantes do ensaio, pois retrata o efeito do atrito fluído no mancal e rolamento. Para evidenciar melhor a ação do efeito do atrito fluído, escolhemos o mancal do ponto 2 para exceder a quantidade de graxa lubrificante. A escolha se deve ao fato de que esse mancal não estava ligado a outro elemento de máquina, deixando o rolamento isento de outro tipo de esforço.

Tabela 3 – Excesso de Lubrificação/Eixo alinhado

Excesso de Lubrificação Ponto 2 / Eixo Alinhado			
Ponto .1	Horário	Frequência	Ponto .2
31,5°C	20:15 hs	30Hz	28,7°C
32,8°C	20:30 hs	30Hz	39,7°C
33,5°C	20:45 hs	30Hz	43,2°C
34,1°C	21:00 hs	30Hz	58,6°C

Fonte: Os autores (2019).

Pela Tabela 3 acima, verificamos que mesmo com os eixos e acoplamento alinhados, o excesso de lubrificante fez o rolamento do Ponto 2 elevar sua temperatura, de 28,7°C para 58,6°C, no tempo de 45 minutos. Esse resultado comprova que o excesso de lubrificante provoca o atrito fluído e traz prejuízo para o sistema de transmissão, pois o aumento da temperatura provoca a dilatação dos rolamentos, eixo e acoplamento, causando danos ao longo do tempo. Para esse tipo e tamanho de rolamento, o fabricante orienta a preencher 30% do espaço livre do rolamento com graxa lubrificante, podendo chegar no máximo a 40%. Acima deste valor, ocorre o atrito fluído, gerando aquecimento, dilatação e com isso provocando danos ao rolamento e demais elementos da transmissão.

Para que haja uma boa confiabilidade e segurança nos equipamentos, é necessário que se tenha um planejamento organizado no processo de manutenção preventiva, onde se encontra o plano de lubrificação, pois com isso ocorrerá a aplicação correta do tipo e da quantidade de lubrificante, bem como no tempo certo, evitando

danos aos conjuntos e elevação dos custos de manutenção e de lubrificação.

Observamos ainda, que o motor girou em 30 Hz, ou seja, na metade da rotação nominal. Se o inversor de frequência estivesse parametrizado para 60 Hz, a rotação seria a nominal e com certeza a temperatura teria sido ainda maior.

3 CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aspecto que nos motivou a realizar este tipo de ensaio, foi o fato de ouvirmos vários comentários entre os mantenedores e profissionais de instalação de máquinas e equipamento, que quanto mais graxa colocar, melhor; ignorando desta forma, todas as especificações técnicas dos fabricantes de rolamentos e regras de engenharia.

Conforme podemos observar nos dados colhidos durante os ensaios e descritos nas tabelas 5, 6 e 7, o excesso de lubrificante nos rolamentos causa o atrito fluido, e este por sua vez eleva a temperatura, que provoca a dilatação dos mesmos e dos demais elementos do conjunto. Esta dilatação gera diminuição das folgas, provocando o desgaste e falhas prematuras nos rolamentos, além de danos ao eixo, acoplamento e também maior consumo de energia, conforme apontam as pesquisas dos fabricantes de rolamentos.

O ensaio foi relevante, pois apesar de o motor estar girando em 30 Hz apenas, no curto espaço de tempo de 45 minutos, tivemos um aumento considerável na temperatura do rolamento, na ordem de 3,1°C.

Apesar de não ser o alvo do ensaio, outro ponto importante a ser observado, foi o efeito do desalinhamento dos eixos do motor e o do mancal, que ocorreu no início dos testes, elevando rapidamente a temperatura do rolamento do mancal 1 de 24,0°C para 49,7°C, em apenas 30 minutos de operação.

Pesquisas realizadas pelos fabricantes de lubrificantes, apontam para uma redução nos índices de manutenção corretiva, na ordem de 50 a 80%, se os planos de lubrificação forem corretamente elaborados e aplicados. Como podemos observar, o ensaio veio a corroborar com essas pesquisas.

REFERÊNCIAS

CAMPANHA, Marcos Vil odres. **Estudo sobre a vida útil de rolamentos de uma carreira de esferas. 2007.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica de Projetos de Fabricação) – ESCOLA Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. doi10.116/D.3.2007.tde-31032008-180633. Acesso em 26 out.2020.

GOULART, Michel. 10 grandes invenções de Leonardo da Vinci. **História Digital.** 2015. Disponível em: <<https://historiadigital.org/curiosidades/10-grandes-invencoes-de-leonardo-da-vinci/>> Acesso em: 7 out. 2020.

IPIRANGA. Disponível em: <<https://portal.ipiranga/wps/portal/ipiranga/produtoseservicos/produtos/lubrificantes/paraseunegocio>>. Acesso em 15 out. 2020.

MASSOTI, Joao Guilherme Brigona. **Metodologia para análise de defeitos e cálculo da vida remanescente a fadiga**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval e Oceânica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. doi: 10.11606/D.3.2011.tde – 02052011 – 121207. Acesso em 14 out.2020.

MOTT, L. Robert. **Elementos de maquinas em projetos mecânicos. 5 Edição Pearson Education, 2015**. Universidade do Estado de Minas Gerais Fundação de ensino Superior de Passo Faculdade de Administração de Passos Sergio Henrique Neves Passos-MG.

NACHI. Disponível em: <<http://www.nachi.com.br/rolamentos>>. Acesso em 20 nov.2020.

NSK Disponível em: <http://www.nsk.com.br/1_institucional.asp>. Acesso em 20 nov.2020.

NSK ROLAMENTOS Catálogo Pr. B01 1997NTN Corporation. Catálogo nº 2202/P Japão, 2000.

NTN Corporation. Catálogo nº 2202/P Japão, 2000

SCHAEFFLER (INA FAG LUK) Portugal: In: **Company**, 2009. Disponível em:<<https://www.schaeffler.com.br/content.schaeffler.com.br/pt/index.jsp>>. Acesso em: 02 nov.2020.

SHELL Disponível em: <<https://www.shell.com.br/shell-para-negocios/lubrificantes-para-negocios/fabricacao-e-montagem.html>> Acesso em: 20 out. 2020

SKF Disponível em: <<https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings>>. Acesso em: 16 out.2020.

SKF, Catálogo geral. Publicação 6000 PB, pg, 38, Suécia, 2009.

SKF ROLAMENTOS Catálogo Geral 4000 PB Reg. 47.61.000-1990-09, 1989

SANTANDER, Elvis Jhoarsy Osorio. **Aplicação de Curtose Espectral na identificação de falhas em mancais de Rolamentos**. Dissertação (de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Acesso em 15 out. 2020.

SCHUMANN, Matheus Alan Pearson. **Comparativos entre Rolamentos e Buchas de Deslizamento Fabricadas em Polímero (UHMW)** Semana Internacional de Engenharia e Economia Fabor,5 a 7 de novembro de 2014, Horizontina –RS.

TIMKEN Disponível em:< <https://www.timken.com/products/timken-engineered-bearings/housed-units/>>. Acesso em: 05 nov.2020.