

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**DIEGO RODRIGO NESTOR**

**ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE LUBRIFICAÇÃO DOS  
VENTILADORES DE UMA CALDEIRA AQUATUBULAR DE CLASSE  
A**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA**

**2019**

**DIEGO RODRIGO NESTOR**

**ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE LUBRIFICAÇÃO DOS  
VENTILADORES DE UMA CALDEIRA AQUATUBULAR DE CLASSE  
A**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, em Engenharia mecânica, do Departamento Acadêmico de Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Oscar Regis Junior

**PONTA GROSSA**

**2019**



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE LUBRIFICAÇÃO DOS VENTILADORES DE UMA CALDEIRA AQUATUBULAR DE CLASSE A**

por

**DIEGO RODRIGO NESTOR**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 13 de novembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof. Dr. Oscar Regis Junior**  
Orientador

**Prof. Me. Pericles Secco Cancian**  
Membro Titular

**Prof. Dr. Luciano Augusto Lourençato**  
Membro Titular

**Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares**  
Responsável pelos TCC

**Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de  
Carvalho**  
Coordenador do Curso

## RESUMO

NESTOR, Diego Rodrigo. **Elaboração de um plano de lubrificação dos ventiladores de uma caldeira aquatubular de classe A.** 2019. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

O objetivo do trabalho é a elaboração de um plano de lubrificação dos ventiladores de uma caldeira aquatubular classe A. Foram listados todos os equipamentos e seus respectivos componentes e pontos de lubrificação, relacionados todos os dados desses equipamentos como velocidade e temperatura de operação, tipos e tamanho de mancais e rolamentos e locais onde estão instalados. Com esses dados foram definidos e dimensionados os parâmetros do plano, sendo eles: tipo de lubrificante, quantidade, frequência de lubrificação, método, ferramentas e condições de operação do equipamento. Esses parâmetros geraram uma lista de atividades chamada de atividades de lubrificação, que deverão ser executadas de acordo com um cronograma de cinquenta e duas semanas. Para garantir a padronização de execução do trabalho foi criada uma folha de instrução de lubrificação com todos os dados necessário para cumprimento do plano de lubrificação. Desta forma, concluiu-se que um plano de lubrificação poderá garantir maior confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos e baixar os custos de manutenção.

**Palavras-chave:** Lubrificação. Plano de lubrificação. Cronograma de lubrificação. Graxas. Confiabilidade.

## ABSTRACT

NESTOR, Diego Rodrigo. **Elaboration of a lubrication plan for the fans of a class A aquatubular boiler**. 2019. 70 f. Course Completion Work (Bachelor of Mechanical Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Ponta Grossa, 2019.

The objective of this work is the elaboration of a boiler fans lubrication plan for the fans of a class A aquatubular boiler. All equipment and their respective components and lubrication points were listed, connecting all equipment data such as operating speed and temperature, bearing box and bearing types and sizes, and locations where they are installed. With this data, the parameters of the plan were defined and dimensioned, such as: type of lubricant, quantity, frequency of lubrication, method, tools and equipment operating conditions. These parameters generated a list of activities called lubrication activities, which should be performed according to a schedule of fifty-two weeks. To ensure the standardization of the work, a lubrication instruction sheet has been created with all the necessary data to comply with the lubrication plan. Thus, it is concluded that a lubrication plan can ensure greater reliability and availability of equipment and lower maintenance costs.

**Keywords:** Lubrication. Lubrication plan. Lubrication schedule. Greases. Reliability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Principais causas de falhas em rolamento .....	12
Figura 2 - Condições de filmes dos regimes de lubrificação: (a) Hidrodinâmico e Elasto-hidrodinâmica, (b) Misto e (c) Limítrofe. ....	15
Figura 3 - Geometria de contato conforme e não conforme .....	16
Figura 4 - Características da lubrificação elasto-hidrodinâmica suave.....	17
Figura 5 - Diagrama de barras com a relação entre coeficiente de atrito e as condições de lubrificação .....	18
Figura 6 - Modalidade construtiva de ventiladores .....	28
Figura 7 - Formas das pás dos ventiladores centrífugos.....	29
Figura 8 – Pontos de lubrificação do EXAU04M1 .....	32
Figura 9 – Pontos de lubrificação do VENT04M2.....	34
Figura 10 - Pontos de lubrificação do VENT04M3 .....	36
Figura 11 - Configurações de bicos graxeiros .....	45
Quadro 1 - Principais tipos de aditivos e suas respectivas funções .....	26
Quadro 2 – Dados do ventilador do EXAU04M1 .....	31
Quadro 3 – Dados do motor elétrico do EXAU04M1 .....	31
Quadro 4 – Dados do acoplamento elástico do EXAU04M1 .....	31
Quadro 5 – Dados do ventilador do VENT04M2 .....	33
Quadro 6 – Dados do motor do VENT04M2.....	33
Quadro 7 – Dados das polias do VENT04M2.....	34
Quadro 8 – Dados do ventilador do VENT04M3 .....	35
Quadro 9 – Dados do motor do VENT04M3.....	35
Quadro 10 – Dados das polias do VENT04M3.....	36
Quadro 11 - Árvore estrutural.....	37
Quadro 12 - Propriedades típicas.....	39
Quadro 13 - Graxas em mancais de rolamento.....	40
Quadro 14 - Comparativo entre espessantes.....	41

Quadro 15 - Consistência e condições de trabalho.....	42
Quadro 16 - Cronograma baseado em plano de 52 semanas.....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de consistência NLGI e penetração ASTM trabalhada.....	23
Tabela 2 - Faixas de temperatura para graxas.....	38
Tabela 3 - Diâmetro do eixo x Rotação (DN).....	41
Tabela 4 - Tipos de óleo base .....	43
Tabela 5 - Porcentagem do limite de rotação.....	44
Tabela 6 – Quantidade de graxa por ponto de lubrificação.....	46
Tabela 7 - Fatores de Correção para intervalo de lubrificação a graxa.....	47
Tabela 8 - Definição do fator K para cada ponto de lubrificação .....	48
Tabela 9 - Tempo de intervalo de relubrificação .....	49
Tabela 10 - Atividades de lubrificação.....	51



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1 OBJETIVO GERAL .....	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
2.1 ATRITO .....	14
2.2 LUBRIFICAÇÃO .....	15
2.2.1 Regimes de lubrificação .....	15
2.2.1.1 Regime hidrodinâmico (RHD) .....	15
2.2.1.2 Regime elasto-hidrodinâmico (REH) .....	16
2.2.1.3 Regime limítrofe (RL) .....	18
2.2.1.4 Regime misto (RM) .....	19
2.2.2 Tipos de lubrificantes .....	19
2.2.3 Óleos Lubrificantes .....	19
2.2.3.1 Propriedades dos óleos lubrificantes .....	20
2.2.3.2 Aditivos para óleos lubrificantes .....	21
2.2.4 Graxas lubrificantes .....	21
2.2.4.1 Propriedades das graxas lubrificantes .....	22
2.2.4.2 Graxas de cálcio .....	24
2.2.4.3 Graxas de sódio .....	24
2.2.4.4 Graxas de lítio .....	24
2.2.4.5 Graxas mistas .....	25
2.2.4.6 Graxas à base de sabões não metálicos .....	25
2.2.4.7 Aditivação das graxas .....	25
2.2.5 Lubrificação de mancais de rolamento .....	26
2.3 VENTILADORES INDUSTRIAIS .....	27
2.3.1 Classificação de ventiladores .....	27
2.3.1.1 Nível energético .....	27

2.3.1.2 Modalidade construtiva .....	27
2.3.1.3 Formas das pás .....	28
2.3.1.4 Número de entradas de aspiração no rotor e número de rotores .....	29
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>30</b>
3.1 DEFINIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E PONTOS DE LUBRIFICAÇÃO .....	30
3.1.1 Exaustor de Tiragem.....	30
3.1.2 Ventilador de ar primário.....	33
3.1.3 Ventilador de ar secundário .....	35
3.2 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DO PLANO DE LUBRIFICAÇÃO .....	37
3.2.1 Fatores para escolha do tipo de lubrificante .....	37
3.2.1.1 Escolha da graxa para mancais de motores elétricos.....	38
3.2.1.2 Escolha da graxa para mancais dos ventiladores .....	39
3.2.2 Quantidade de graxa .....	44
3.2.3 Intervalo de relubrificação .....	46
3.3 ELABORAÇÃO DO CRONOGRAMA DE LUBRIFICAÇÃO .....	50
3.4 DEFINIÇÃO DA FOLHA DE INSTRUÇÃO.....	55
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>57</b>
<b>APÊNDICE A – FOLHA DE INSTRUÇÃO DE LUBRIFICAÇÃO SEMANAL DO EXAU04M1 .....</b>	<b>60</b>
<b>APÊNDICE B – FOLHA DE INSTRUÇÃO DE LUBRIFICAÇÃO QUINQUIMESTRAL DO EXAU04M1 .....</b>	<b>62</b>
<b>APÊNDICE C – FOLHA DE INSTRUÇÃO DE LUBRIFICAÇÃO SEMESTRAL DO EXAU04M1 .....</b>	<b>64</b>
<b>APÊNDICE D – FOLHA DE INSTRUÇÃO DE LUBRIFICAÇÃO QUINQUIMESTRAL DO VENT04M2 .....</b>	<b>66</b>
<b>APÊNDICE E – FOLHA DE INSTRUÇÃO DE LUBRIFICAÇÃO QUINQUIMESTRAL DO VENT04M3 .....</b>	<b>68</b>
<b>APÊNDICE F – FOLHA DE INSTRUÇÃO DE LUBRIFICAÇÃO SEMESTRAL DO VENT04M3.....</b>	<b>70</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A manutenção surgiu da necessidade de consertar equipamentos que já estavam sem suas funções básicas. Atualmente há a necessidade de não apenas consertar equipamentos, como também manter sua disponibilidade com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados (NASCIF e DORIGO, 2013).

Para suprir essa necessidade surgiu o planejamento e controle da manutenção, que evolui ao longo dos anos, tendo como objetivo trabalhar com o controle do processo, planejadamente, para evitar manutenções inesperadas que em geral tem custo e tempo mais elevados. Há duas maneiras principais para diminuir a incidência de manutenções corretivas não planejadas: detectando e tratando os defeitos prematuramente e agindo nesses, para evitar que esses defeitos se tornem falhas, conhecida como manutenção preditiva; ou agindo antes do aparecimento desses defeitos, de forma preventiva, tipo de manutenção que se encaixa a lubrificação (NASCIF e DORIGO, 2013).

A lubrificação consiste basicamente em colocar uma camada fluida entre duas superfícies sólidas para evitar ou diminuir o atrito indesejável, que é gerado pelo movimento entre essas duas superfícies. O atrito é uma resistência oposta ao movimento que também gera calor e desgaste do material, causando diminuição na vida útil dos componentes. A lubrificação, porém, não pode ser feita de qualquer maneira, e existem uma série de critérios a serem seguidos para realizá-la. Cada equipamento necessita de tipos diferentes de lubrificantes, de intervalos de lubrificação específicos e volumes e métodos diferentes de aplicação (NASCIF e DORIGO, 2013).

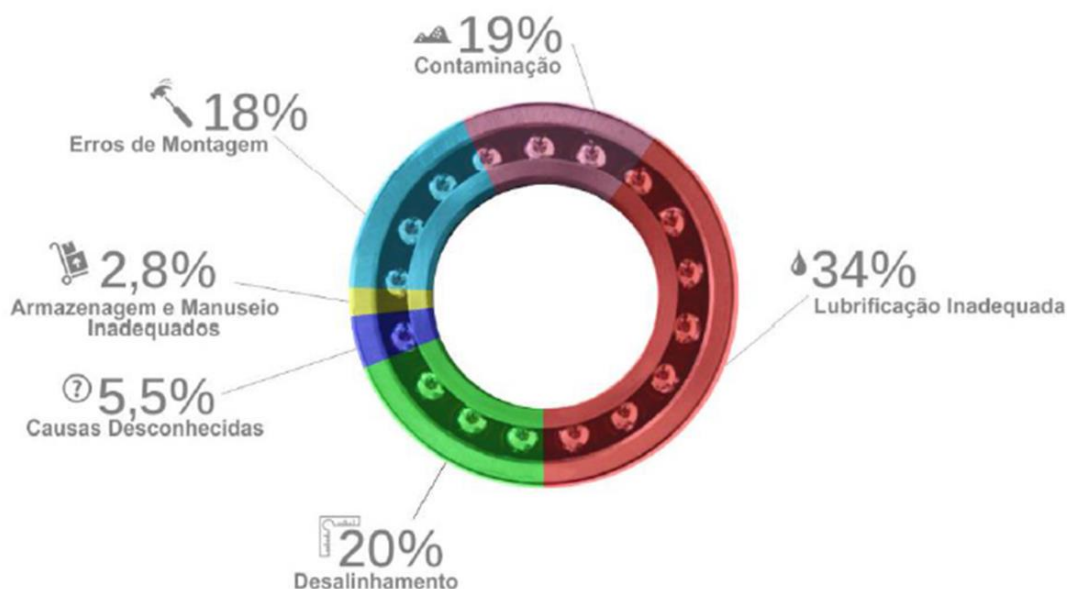
A elaboração de um plano de lubrificação leva em consideração inúmeros fatores como: histórico do equipamento, tipos e condições dos componentes, temperatura de trabalho, ambiente no qual o equipamento está inserido, matriz de criticidade, mão de obra (NASCIF e DORIGO, 2013).

A ausência de um plano de lubrificação acarreta problemas. Se a lubrificação do equipamento for ineficiente, o mesmo poderá sofrer desgaste prematuro e falhar. E se lubrificado numa frequência maior que a indicada, por exemplo, acarretará maior custo com lubrificantes. A equalização desses itens define o plano de lubrificação (NASCIF e DORIGO, 2013).

Em uma indústria de extração de óleo de soja na cidade de Ponta Grossa, houve inúmeras paradas de fábrica em decorrência de problemas em rolamentos nos três ventiladores da caldeira. Nas análises formais de falha foram investigadas as causas dos problemas e chegou-se à conclusão que na maioria dos eventos a causa raiz era falha na lubrificação dos rolamentos.

Segundo Teles (2019), 53% das causas de falhas em rolamentos são recorrentes de problemas na lubrificação. Podemos observar na figura 1, que 34% das causas são ocasionadas por lubrificação inadequada, mas também deve-se considerar as falhas causadas por contaminação, 19%, um problema que poderia ser evitado se a lubrificação for utilizada de forma correta.

**Figura 1 - Principais causas de falhas em rolamento**



**FONTE: Teles (2019).**

Para resolver esse problema, o trabalho tem como objetivo elaborar um plano de lubrificação nos ventiladores de uma caldeira aquatubular de classe A, para evitar que aconteçam falhas prematuras em rolamentos decorrentes de lubrificação inadequada.

Serão recolhidos dados dos ventiladores da caldeira da fábrica e com base na literatura, serão definidas as melhores estratégias de lubrificação para cada um dos equipamentos.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Elaborar um plano de lubrificação dos ventiladores de uma caldeira aquatubular de classe A.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Listar os equipamentos, suas funções e pontos de lubrificação;
- Definir os parâmetros do plano de lubrificação;
- Elaborar o cronograma de lubrificação;
- Definir a folha de instrução;
- Elaborar do plano de lubrificação

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ATRITO

O atrito é uma força que surge do contato entre duas superfícies. Esse atrito, ou resistência ao movimento, como também é chamado, pode surgir tanto do contato direto entre duas superfícies sólidas, quanto quando há uma camada fluida entre essas superfícies (RAMALHO, FERRARO e SOARES, 1998).

Esse atrito se forma quando os picos que existem microscopicamente nos materiais entram em contato ocorrendo cisalhamento ou adesão entre esses picos causando, além da força que se opõe ao movimento, desgaste abrasivo do material. Pode-se classificar o atrito em dois principais tipos: atrito de deslizamento e atrito de rolamento (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

Atrito de deslizamento ocorre quando há tendência de movimento relativo entre dois corpos em contato direto. É o que acontece num movimento de um pistão em relação a camisa que o envolve, por exemplo. Já o atrito de rolamento se dá quando acontece o rolamento de um corpo cilíndrico ou esférico, esse movimento de rotação gera uma deformação que cria resistência ao movimento (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

Enquanto a força de atrito for maior que a força para movimentar um corpo, o atrito é estático. A partir do movimento, ou seja, quando a força de atrito não for suficiente para impedi-lo, o atrito já se torna cinético. O atrito cinético é normalmente menor que o atrito estático (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

Foram definidas três leis principais para o atrito. As duas primeiras leis atribuídas a Amontons e Colomb e a terceira lei atribuída a Colomb (SINATORA e TANAKA, 2007) e são elas:

- 1ª lei do atrito: A força de atrito é proporcional a força normal;
- 2ª lei do atrito: A força de atrito é independente da área aparente de contato;
- 3ª lei do atrito: A força de atrito é independente da velocidade de deslizamento.

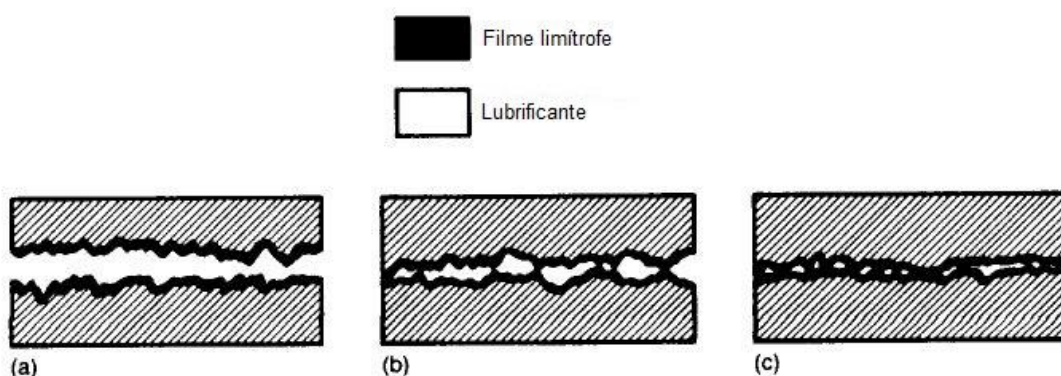
## 2.2 LUBRIFICAÇÃO

Quando uma superfície está em repouso sobre a outra, as forças externas que atuam entre elas se suportam pela interação das asperezas contidas no material. Nesse caso a força tangencial para oferecer movimento relativo entre as duas superfícies torna-se muito elevada causando além de elevados níveis de atrito, desgaste e danos superficiais. Para reduzir essas forças de atrito, são inseridos lubrificantes entre duas superfícies de contato evitando total ou parcialmente o contato entre as asperezas (PROFITO, 2010).

### 2.2.1 Regimes de lubrificação

Segundo Hamrock (1991), existem quatro regimes de lubrificação definidos: hidrodinâmico, elasto-hidrodinâmico, misto e limítrofe. Dos quais suas condições têm relações diretas com as forças envolvidas, velocidade, propriedades do lubrificante, rugosidade e geometria global do contato das superfícies consideradas. Os regimes de lubrificação citados estão representados na figura 2.

**Figura 2 - Condições de filmes dos regimes de lubrificação: (a) Hidrodinâmico e Elasto-hidrodinâmica, (b) Misto e (c) Limítrofe.**



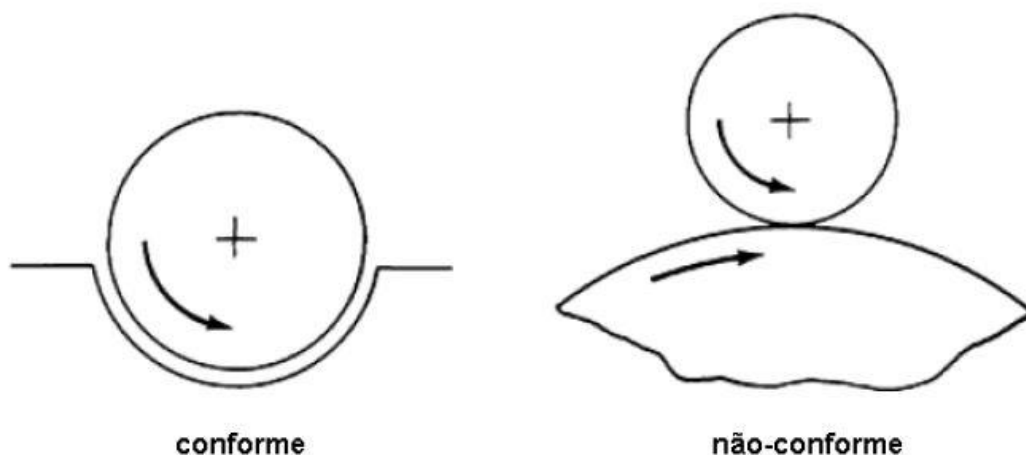
Fonte: Adaptado de Hamrock (1991).

#### 2.2.1.1 Regime hidrodinâmico (RHD)

O regime hidrodinâmico surge geralmente em superfícies conformes, apresentadas da figura 3. Como duas superfícies convergem, o movimento relativo e

a e a viscosidade do fluido criam pressão positiva, separando as mesmas. Nesse regime, a espessura do filme lubrificante é espessa, garantindo que não haverá contato entre as superfícies oferecendo pouca fricção e alta resistência ao desgaste. (HAMROCK, 1991).

**Figura 3 - Geometria de contato conforme e não conforme**



**FONTE: Profito (2010).**

Na lubrificação hidrodinâmica, a viscosidade é o fator mais importante. Como, teoricamente, as superfícies não se tocam, não há desgaste, sendo essa então a forma ideal de lubrificação. Porém na prática, nunca ocorrerá regime totalmente hidrodinâmico. (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

#### 2.2.1.2 Regime elasto-hidrodinâmico (REH)

O regime elasto-hidrodinâmico é um tipo de lubrificação hidrodinâmica onde há deformação elástica significativa nas superfícies lubrificadas. Esse tipo de regime acontece normalmente em superfícies não conformes (figura 3). Segundo Hamrock (1991) existem duas formas distintas de lubrificação de REH: severa e moderada.

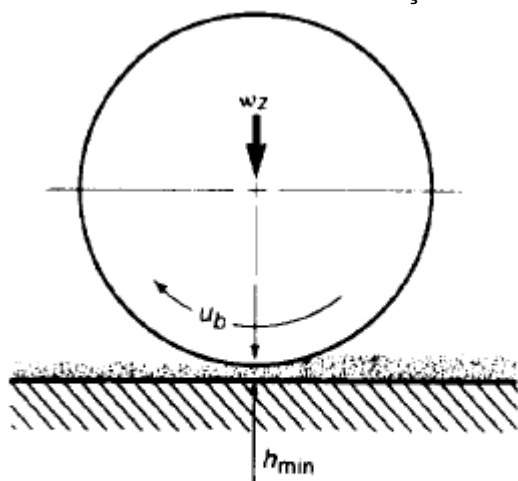
A lubrificação elasto-hidrodinâmica severa acontece em superfícies de materiais com altos módulos de elasticidade, como os metais, por exemplo. Os efeitos da viscosidade e pressão são igualmente importantes. As pressões que normalmente ocorrem nesse regime vão de 0,5 até 3 GPa e a espessura do filme lubrificante geralmente excede 0,1  $\mu\text{m}$ . Em forças aplicadas em elementos de máquina não



conformes, as deformações elásticas podem ser de magnitude até dez vezes maior que a espessura do filme lubrificante e a viscosidade dentro do conjunto também pode variar em até dez ordens de grandeza. A carga aplicada normal, na lubrificação hidrodinâmica é quase sete vezes maior do que no REH, isso implica que a espessura do filme é pouco afetada pela carga nesse regime, porém significativamente afetada no regime hidrodinâmico (HAMROCK, 1991).

O regime de lubrificação elasto-hidrodinâmica moderado refere-se a materiais com baixos módulos de elasticidade, como por exemplo, a borracha. A figura 4 mostra as características do REH moderado. Nesse regime a deformação elástica é elevada, mesmo com baixas cargas. A pressão para esse tipo de regime é de 1 MPa, em relação com o REH severo que é em GPa. Como a pressão é baixa, a variação da viscosidade é insignificante. A espessura mínima do filme lubrificante é aproximadamente de 1  $\mu\text{m}$ . Algumas aplicações onde temos REH moderado são em vedações, pneus e elementos de máquina lubrificadas que usam borracha como material (HAMROCK, 1991).

**Figura 4 - Características da lubrificação elasto-hidrodinâmica suave**



**Superfícies não conformes (polímero, borracha)**

$P_{max} \approx 1 \text{ Mpa}$

$h_{min} \approx 1 \mu\text{m}$

**Efeitos elásticos predominam**

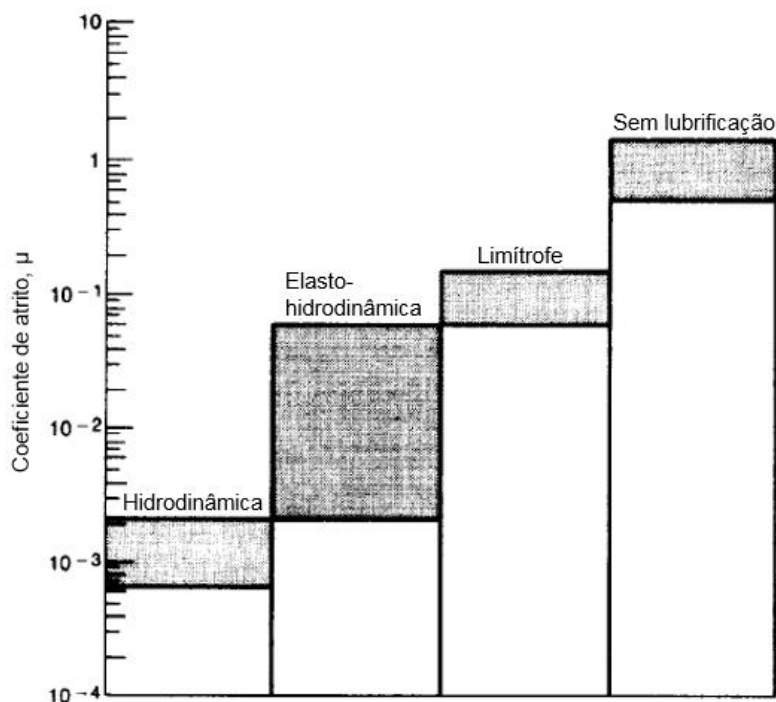
Fonte: Adaptado de Hamrock (1991).

### 2.2.1.3 Regime limítrofe (RL)

No regime limítrofe de lubrificação, a película de óleo é tênue, permitindo contato considerável entre as asperezas, como mostra a figura 2 (c). O valor do coeficiente de atrito da lubrificação RL é de dez a cem vezes maior que na hidrodinâmica, como podemos ver na figura 5. Na lubrificação RL, assume importância outra característica, a oleosidade, responsável essa pela resistência da película lubrificante, independente da viscosidade. A existência de moléculas que têm mais afinidade entre si, e com a superfície do metal a ser lubrificado é responsável por uma maior oleosidade no lubrificante. Portanto um agente de oleosidade pode ser mais eficaz para uma liga metálica e totalmente ineficaz para outra. (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

A figura 5 ilustra o coeficiente de atrito para diferentes regimes de lubrificação. Apesar de o coeficiente de atrito do regime limítrofe ser bem maior que o hidrodinâmico, ainda sim é consideravelmente menor do que para superfícies sem nenhum tipo de lubrificação (HAMROCK, 1991).

**Figura 5 - Diagrama de barras com a relação entre coeficiente de atrito e as condições de lubrificação**



Fonte: Adaptado de Hamrock (1991).

#### 2.2.1.4 Regime misto (RM)

No regime misto ocorre tanto lubrificação hidrodinâmica, quanto lubrificação limítrofe. As espessuras do filme lubrificante são insuficientes para separar as superfícies. Essas superfícies se suportam entre si combinando as forças hidrostáticas exercidas pelo filme lubrificante e do contato das asperezas (PROFITO, 2010).

A transição dos regimes não acontece instantaneamente, à medida que a carga aumenta, essa carga é transferida por pressão dentro do fluido fazendo que o mesmo ocupe o espaço entre dois sólidos. Uma maior parte da carga é então suportada pela pressão de contato entre as asperezas das superfícies (HAMROCK, 1991).

#### 2.2.2 Tipos de lubrificantes

Existem basicamente quatro tipos lubrificantes, e são classificados quanto ao seu estado físico, em líquidos, pastosos (graxas), gasosos e sólidos. Esse trabalho ilustrará os dois tipos mais empregados na indústria: os líquidos, denominados óleos lubrificantes e os pastosos, conhecidos como graxas.

#### 2.2.3 Óleos Lubrificantes

É possível classificar os óleos lubrificantes quanto a origem do óleo, e podem ser distinguidos em óleos minerais, graxos (orgânicos), compostos e sintéticos (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

Os óleos minerais são os mais importantes no uso da lubrificação. São oriundos do petróleo e suas propriedades dependem da natureza do óleo cru que lhes deu origem e do processo de refino empregado. O primeiro processo na produção de lubrificantes a base de petróleo é a destilação primária inicial ou topeamento que consiste na remoção, por destilação, das frações com menor densidade. O processo subsequente é a destilação à vácuo para separar as diversas frações (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

Óleos graxos têm origem tanto animal quanto vegetal, e foram os primeiros lubrificantes a serem utilizados. A principal desvantagem dos óleos graxos é a alta taxa de oxidação, que torna o óleo rançoso e formam gomosidades. Uma das vantagens desse tipo de óleo é sua capacidade de aderência às superfícies dos metais. Atualmente temos poucas e restritas aplicações industriais com esse tipo de óleo (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

Os óleos compostos são óleos minerais que recebem adição de óleos graxos em sua composição, em geral essa adição é de 1% a 30% e tem objetivo de tornar o lubrificante com maior oleosidade, que melhora a emulsão do mesmo em vapor d'água. Encontramos algumas aplicações de óleos compostos em sistema sujeitos a grandes cargas, cilindros a vapor e óleo para perfuratrizes (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

A necessidade de óleos com maiores performances para aplicações industriais e militares que mantivessem suas propriedades em ambientes cada vez mais severos conduziram o desenvolvimento de óleos sintéticos, ou seja, obtidos por síntese química. Esse tipo de óleo não é encontrado na natureza e são produtos elaborados em sua maioria com uma mesma molécula em configuração e tamanho que lhe garante melhor lubricidade. Esse tipo de óleo implica em menor esforço para o movimento, baixa fricção e menor temperatura e pode ser produzido a partir de diferentes bases químicas e compostos que podem ser: ésteres, polialfaolefinas, silicones, polioésteres, silicatos e outros (SHELL, 2017).

### 2.2.3.1 Propriedades dos óleos lubrificantes

A propriedade mais importante de um óleo é a viscosidade, que determina a resistência do fluido ao cisalhamento e conseqüentemente ao escoamento. A viscosidade também pode ser conhecida como "corpo" do lubrificante. Óleos mais viscosos ou "grossos" tem mais dificuldade de escoar, enquanto óleos mais "finos" escoam com facilidade (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

Outras propriedades importantes na seleção de óleos lubrificantes são (SHELL, 2017):

- Demulsibilidade;
- Emulsibilidade;

- Detergência;
- Dispersância;
- Índice de viscosidade;
- Acidez;
- Estabilidade à oxidação;
- Ponto de fluidez;
- Ponto de fulgor.

#### 2.2.3.2 Aditivos para óleos lubrificantes

Aditivos são substâncias que quando são adicionados aos óleos básicos alteram suas propriedades reforçando algumas de suas qualidades e anulando, ou diminuindo, propriedades indesejáveis. Existem dois grupos de aditivos, os que alteram características físicas dos lubrificantes e os que tem efeito de natureza química (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

A Shell (2017) lista os principais aditivos para óleos lubrificantes:

- Inibidor de ferrugem;
- Antioxidante;
- Antiespumante;
- Antidesgaste;
- Extrema pressão;
- Modificador do índice de viscosidade;
- Detergentes;
- Dispersantes.

#### 2.2.4 Graxas lubrificantes

Carreteiro e Moura (1998), definem graxa como um produto homogêneo com qualidades lubrificantes, oriunda da combinação de um fluido lubrificante com um espessante.

A composição da graxa é composta de 85% a 90% do seu volume em fluido lubrificante, 10% a 15% de espessante e ainda possui de 5% a 10% de aditivos (SHELL, 2017).

As graxas são usadas nos pontos onde os óleos não seriam eficazes devido principalmente à sua tendência de escorrer. Graxas também são usadas quando é necessário vedar a entrada de contaminantes, como nos casos dos rolamentos. Geralmente as graxas amolecem em serviço, mas recuperam sua consistência quando entram em repouso (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

É importante ressaltar as vantagens na utilização das graxas em mancais de rolamentos devido a alguns fatores: boa retenção, lubrificação instantânea na partida, mínimo vazamento, permite uso de mancais selados, elimina a contaminação, permite operação em várias posições, requer aplicações menos frequentes e baixo consumo de lubrificante (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

#### 2.2.4.1 Propriedades das graxas lubrificantes

As características de uma graxa dependem diretamente do tipo de sabão utilizado, método de fabricação, aditivação e líquido lubrificante utilizado. As principais propriedades segundo Carreteiro e Moura, (1998) são:

*Consistência* - é a "dureza" da graxa, é medida através de ensaio em um aparelho chamado penetrômetro. Esse ensaio é realizado em uma temperatura controlada de 25°C, e consiste em fazer um cone padrão penetrar numa amostra de graxa trabalhada (NLGI), ou seja, a amostra é submetida a pelo menos 60 golpes em um aparelho padronizado. Essa penetração é medida em milímetros e quanto menor esse valor, mais consistente é a graxa. Podemos ver a classificação NLGI, e seus respectivos valores de penetração na tabela 1 (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

*Ponto de gota* - é a temperatura em que o produto começa a se tornar fluido, ou seja, capaz de gotejar. O ensaio para este parâmetro é o ASTM D-566. A temperatura do ponto de gota depende diretamente do tipo de espessante usado na produção da graxa, e a temperatura de operação da graxa normalmente é de 40 a 80 °C inferior ao seu ponto de gota (SHELL, 2017).

**Tabela 1 - Número de consistência NLGI e penetração ASTM trabalhada**

NLGI Número de consistência	Faixa de penetração a 25°C
000	445 a 475
00	400 a 430
0	355 a 385
1	310 a 340
2	265 a 340
3	220 a 250
4	175 a 205
5	130 a 160
6	85 a 115

Fonte: Adaptado de ASTM D217-17 (2017).

*Capacidade de carga* - é a capacidade de um lubrificante suportar pressões elevadas, evitando que as superfícies entrem em contato. Para medir essa capacidade são utilizados, principalmente, dois ensaios: o Timken e o Quatro Esferas (Four Ball) (SENAI, 1997).

No ensaio Timken um bloco de aço é pressionado contra um anel cilíndrico rotativo, também de aço, por dez minutos. As cargas são aumentadas até que o bloco comece a apresentar ranhuras. A carga máxima sem apresentar ranhuras é a capacidade de carga Timken (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

O teste Quatro Esferas, ou Four Ball, consiste em dispor três esferas juntas horizontalmente, e uma quarta esfera, do mesmo diâmetro e material das demais fixa. Há um eixo girando sobre essas esferas a uma velocidade de 1800 rotações por minuto. A carga sobre a quarta esfera é aumentada gradualmente, até que as esferas se soldem umas às outras. Essa é a carga máxima suportada pelo lubrificante (SENAI, 1997).

*Resistência ao trabalho* - graxas de boa qualidade possuem boa estabilidade quando submetidas ao trabalho, e não escoam das partes a lubrificar. Graxas de espessante a base de lítio, geralmente, tem boa resistência ao trabalho (SENAI, 1997).

#### 2.2.4.2 Graxas de cálcio

O sabão a base de cálcio tem as fibras muito curtas e deixam a graxa com textura amanteigada. A mais importante vantagem da graxa de cálcio é a elevada resistência à água. Geralmente esse tipo de graxa possui água em sua composição, por isso não podem ser usadas em temperaturas acima de 60°C, podendo haver separação entre óleo e sabão (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

Graxas de cálcio são usadas principalmente em mancais planos, chassis de veículos e bombas de água. Contraindicadas em aplicações de extrema pressão e temperatura elevada, como rolamentos (SENAI, 1997).

#### 2.2.4.3 Graxas de sódio

Graxas de sódio têm boa resistência ao calor, tendo sua faixa de operação fica entre 90 e 100 °C e, em geral, seu ponto de gota é de aproximadamente 175°C. Esse tipo de graxa não tem boa resistência a água e não é recomendada em aplicações que possam ter a presença de água (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

Sua textura pode ser fina ou fibrosa. As de fibra longa são usadas na lubrificação de mancais de buchas e as de fibras curtas podem ser usadas na lubrificação de mancais de rolamentos (SENAI, 1997; CARRETEIRO e MOURA, 1998).

#### 2.2.4.4 Graxas de lítio

As graxas de cálcio têm boa resistência à água, mas não têm boa resistência a temperatura, já as de sódio tem boa resistência ao calor, porém baixa resistência a água. Nenhum dos dois tipos de graxa pode ser utilizada em múltiplas aplicações. As graxas de Lítio possuem boa resistência ao calor e a água e, também têm excelente resistência ao trabalho, características essas que fazem da graxa de lítio uma graxa coringa, que pode ser utilizada em várias aplicações (CARRETEIRO e MOURA, 1998).



#### 2.2.4.5 Graxas mistas

Graxas mistas têm propriedades intermediárias entre os sabões com as quais são produzidas. Podem ser misturadas a partir de sabões de cálcio e lítio, ou cálcio e sódio. Porém é preciso se atentar a incompatibilidade dos sabões das graxas. As graxas de sódio e as de lítio são incompatíveis, não podendo ser misturadas (SENAI, 1997).

#### 2.2.4.6 Graxas à base de sabões não metálicos

Algumas graxas não possuem espessantes à base de sabões metálicos, podem ser usadas argilas ou poliuréia na fabricação do espessante. O processo de fabricação é diferente do empregado nos sabões metálicos e necessário passar a argila, ou sílica-gel em moinhos para obter partículas micrométricas para que formem gel com óleo, além da adição de um agente de ligação que evita, em presença de água, a quebra estrutural (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

Espessantes a base de poliuréia possuem elevado ponto de gota e durabilidade, boa estabilidade térmica, excelente resistência à água e ótima estabilidade ao trabalho. Geralmente esse tipo de graxa tem custo elevado. (RATÃO, 2013).

#### 2.2.4.7 Aditivação das graxas

Aditivos sólidos ou líquidos, semelhantes aos utilizados em óleos lubrificantes, podem ser utilizados para melhorar a performance das graxas. Podem ser adicionados às graxas: inibidores de oxidação, agentes de extrema pressão, substâncias que trazem mais adesividade às graxas (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

Podemos visualizar os tipos, e cada função dos principais aditivos para graxas lubrificantes no quadro 1.

**Quadro 1 - Principais tipos de aditivos e suas respectivas funções**

<b>Tipo de aditivo</b>	<b>Função</b>
Antioxidante	Maior vida útil da graxa
Anticorrosivo	Assegurar a proteção efetiva da superfície metálica contra oxidação (ferrugem)
Antidesgaste	Menor desgaste do equipamento
Extrema Pressão (EP)	Suportar cargas pesadas
Lubrificantes sólidos	Suportar cargas pesadas e choques
Adesividade	Melhorar a adesividade a superfície

Fonte: SHELL (2017).

### 2.2.5 Lubrificação de mancais de rolamento

Mancais de rolamento são constituídos de dois anéis concêntricos que possuem entre eles elementos rolantes e separadores. Esses elementos rolantes podem ser esferas ou rolos. E por sua vez, os rolos podem ser cilíndricos ou cônicos. Os mancais de rolamentos são popularmente chamados de rolamentos (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

Rolamentos axiais autocompensadores de rolos são usualmente lubrificadas com óleo. Os demais podem ser lubrificadas com óleo ou graxa. Quando for possível, a caixa deve ser aberta para renovar ou completar a graxa. Geralmente essa operação deve ser realizada semestralmente ou anualmente, dependendo da aplicação. Quando o mancal for muito grande, ou com velocidade elevada, necessitando assim de uma maior frequência de relubrificação, a caixa deve possuir um ou mais bicos graxeiros que conduzam a graxa até o rolamento. A caixa nunca deve ser preenchida totalmente de graxa, pois o excesso de lubrificante é altamente prejudicial para o sistema. Em regra geral, a caixa deve receber de um terço até a metade do espaço livre da mesma (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

A graxa mais utilizada para mancais de rolamento é a graxa a base de lítio. Em rolamentos que trabalhem com temperaturas moderadas, até 60°C e rotações baixas podem ser usadas graxas de cálcio. Já em operações isentas de umidade podem ser usadas graxas com sabão a base de sódio. Uma das vantagens da graxa com relação ao óleo é a de contribuir com uma boa vedação (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

## 2.3 VENTILADORES INDUSTRIAIS

Instalações de ventilação, tanto de insuflamento quanto de exaustão de ar precisam de um gradiente energético para escoamento do ar. O equipamento que cria esse gradiente é o ventilador. Ventiladores são máquinas turbo dinâmicas que produzem deslocamento de gases. Em geral, um motor elétrico aciona um rotor, que com as pás adequadas transforma a energia mecânica cinética em energia potencial de pressão. Com essa energia potencial é possível escoar o ar entre dutos, vencendo as resistências, e proporcionando vazão adequada para o sistema (MACINTYRE, 1990).

### 2.3.1 Classificação de ventiladores

Existem alguns critérios para classificação de ventiladores. Quanto ao nível energético, construção, formato de pás e número de rotores. É importante salientar algumas.

#### 2.3.1.1 Nível energético

Quanto ao nível energético podemos classificar os ventiladores em quatro níveis (MACINTYRE, 1990):

*Baixa pressão* - pressão até 0,02 kgf/cm<sup>2</sup>;

*Média pressão* - pressão entre 0,02 e 0,08 kgf/cm<sup>2</sup>;

*Alta pressão* - pressão entre 0,08 e 0,250 kgf/cm<sup>2</sup>;

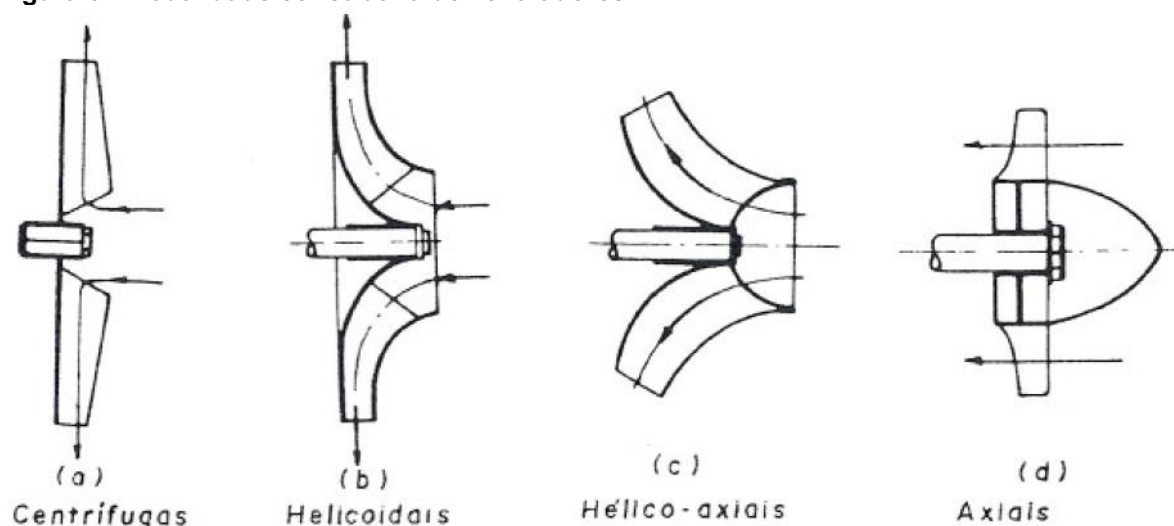
*Muito alta pressão* - pressão entre 0,250 e 1,00 kgf/cm<sup>2</sup>.

#### 2.3.1.2 Modalidade construtiva

Ventiladores podem ter seus rotores construídos de diversas formas para as mais diversas aplicações. Podemos observar na figura 6 (a) o modelo centrífugo onde a trajetória das partículas de ar aproxima-se de um plano perpendicular ao eixo do rotor. Na construção hélico-centrífuga ou hélico-axial (figura 6 b e c) as partículas de

ar descrevem uma hélice sobre superfície de revolução cônica que descreve uma curva. Já nos axiais (figura 6 d) a partícula que passa pelo rotor é uma hélice em uma superfície de revolução cilíndrica.

**Figura 6 - Modalidade construtiva de ventiladores**

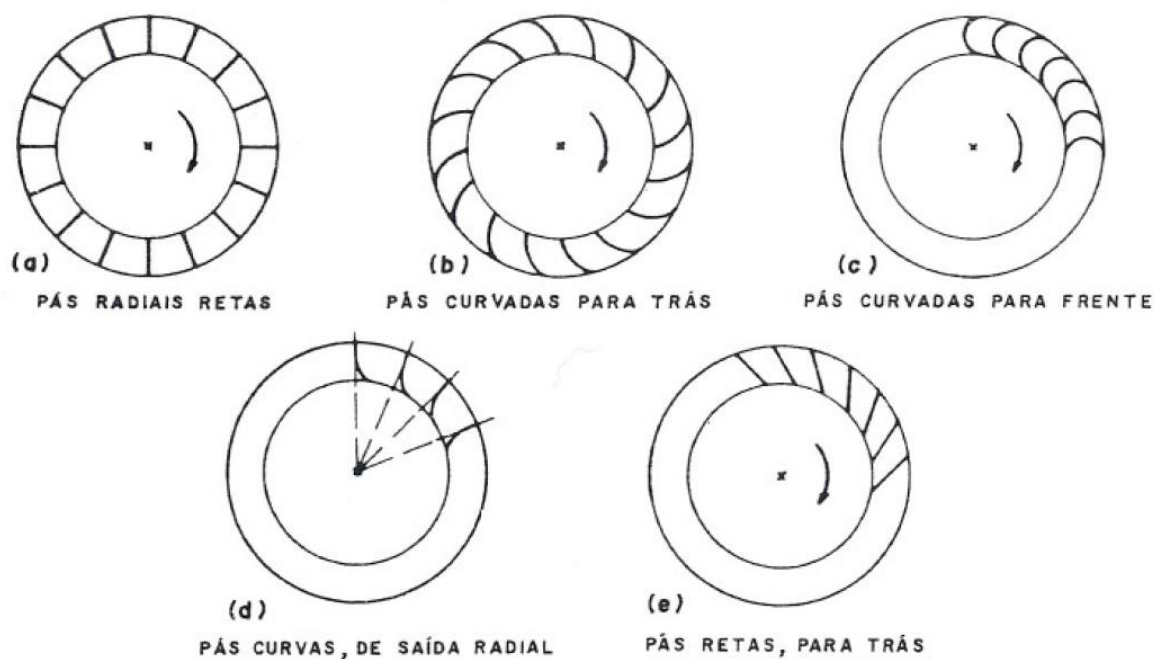


Fonte: Adaptado de Macintyre (1990).

### 2.3.1.3 Formas das pás

As pás de um ventilador centrífugo podem ser do tipo radial reta (figura 7 a), que é robusto e movimentar grandes cargas de partículas, porém possui rendimento baixo. O rotor de pás curvadas (figura 7 b) é silencioso, possui bom rendimento, potência limitada e alta pressão. Pás curvadas para trás (figura 7 c) dão ao ventilador um bom rendimento e alta pressão. Pás curvas de saída radial (figura 7 d) conferem ao ventilador altas pressões e possibilita a movimentação de grandes vazões de ar. E por fim o rotor de pás retas para trás (figura 7 e), que tem como característica média pressão e transporte de gases limpos com baixa concentração de partículas (MACINTYRE, 1990).

Figura 7 - Formas das pás dos ventiladores centrífugos



Fonte: Adaptado de Macintyre (1990).

#### 2.3.1.4 Número de entradas de aspiração no rotor e número de rotores

Os ventiladores também podem ser classificados quanto ao número de entradas na aspiração do rotor, pode ter entrada unilateral ou simples aspiração como também pode possuir entrada bilateral ou dupla aspiração. Pode ser de estágio simples, ou seja, possuir um rotor ou de duplo estágio, com dois rotores no mesmo eixo, onde o ar passa pelo primeiro e rotor e depois entra no segundo rotor somando suas energias e conseqüentemente atingindo pressões elevadas (MACINTYRE, 1990).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 DEFINIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E PONTOS DE LUBRIFICAÇÃO

O primeiro passo é definir todos os equipamentos que estarão contidos no plano de lubrificação e seus respectivos pontos de lubrificação.

Os equipamentos são separados em níveis. O primeiro nível é chamado como local de instalação e é designado por quatro letras que abreviam o nome do equipamento, dois números que identificam o setor em que o equipamento está inserido e depois o número que designa o equipamento em si.

Abaixo do nível do local de instalação estão inseridos os equipamentos. No caso de um ventilador, por exemplo, estão contidos dentro do local de instalação dois equipamentos: o próprio ventilador e o motor que o aciona. Nesse exemplo ainda pode existir um meio de acoplamento entre os dois equipamentos, como polias e correias ou acoplamentos elásticos.

Todos os equipamentos do estudo funcionam vinte e quatro horas por dia, sete dias na semana, estão instalados em área externa e estão expostos às ações do tempo. A temperatura do ambiente varia de acordo com fatores externos como clima e condições do tempo.

##### 3.1.1 Exaustor de Tiragem

O exaustor de tiragem, denominado EXAU04M1, é composto de um caracol em aço carbono SAE-1020 e reforços de barras chatas para que haja completa segurança no funcionamento do equipamento. O acionamento é elétrico e a transmissão é efetuada por acoplamento flexível AT 140/140. Está localizado entre o lavador de gases e a chaminé. É o processo que garante a pressão negativa na fornalha. Os gases da combustão são retirados da fornalha e lançados na atmosfera. A modulação da retirada de gases é controlada através da velocidade do motor elétrico do exaustor.

O exaustor pode ser dividido em três conjuntos distintos: o ventilador propriamente dito, composto de rotor, eixo de acionamento, rolamentos, buchas e

mancais; motor e acoplamento (elemento que transmite o torque do motor para o ventilador).

**Quadro 2 – Dados do ventilador do EXAU04M1**

<b>Ventilador</b>	
Marca	ICAVI
Modelo	IET
Modelo construtivo	Centrífugo
Forma das pás	Retas para trás
Número de entradas	Bilateral
Vazão	111,2 T/h
Temperatura dos gases (máx)	165 °C
Temperatura operação mancais	90 °C
Potência	450 cv
Rotação	1190 rpm
Mancais	SBM 36
Rolamentos	23136 K
Buchas	H3136

Fonte: ICAVI (2015).

**Quadro 3 – Dados do motor elétrico do EXAU04M1**

<b>Motor elétrico</b>	
Marca	WEG
Modelo	W22
Potência	450 cv
Carcaça	355 M/L
Rotação	1190 rpm (máximo)
Temperatura operação mancais	80 °C
Rolamento do lado acoplado	6322 - C3
Rolamento do lado oposto do acionamento	6319 - C3

Fonte: Weg (2018).

**Quadro 4 – Dados do acoplamento elástico do EXAU04M1**

<b>Acoplamento</b>	
Marca	Antares
Tipo	Flexível
Modelo	AT 140/140
Rotação máxima	1190 rpm

Fonte: Antares (2017).

O ventilador possui dois pontos de lubrificação, um no mancal do lado acoplado (LA) e outro no mancal do lado oposto do acoplamento (LOA). Os dois mancais estão configurados para lubrificação à graxa.

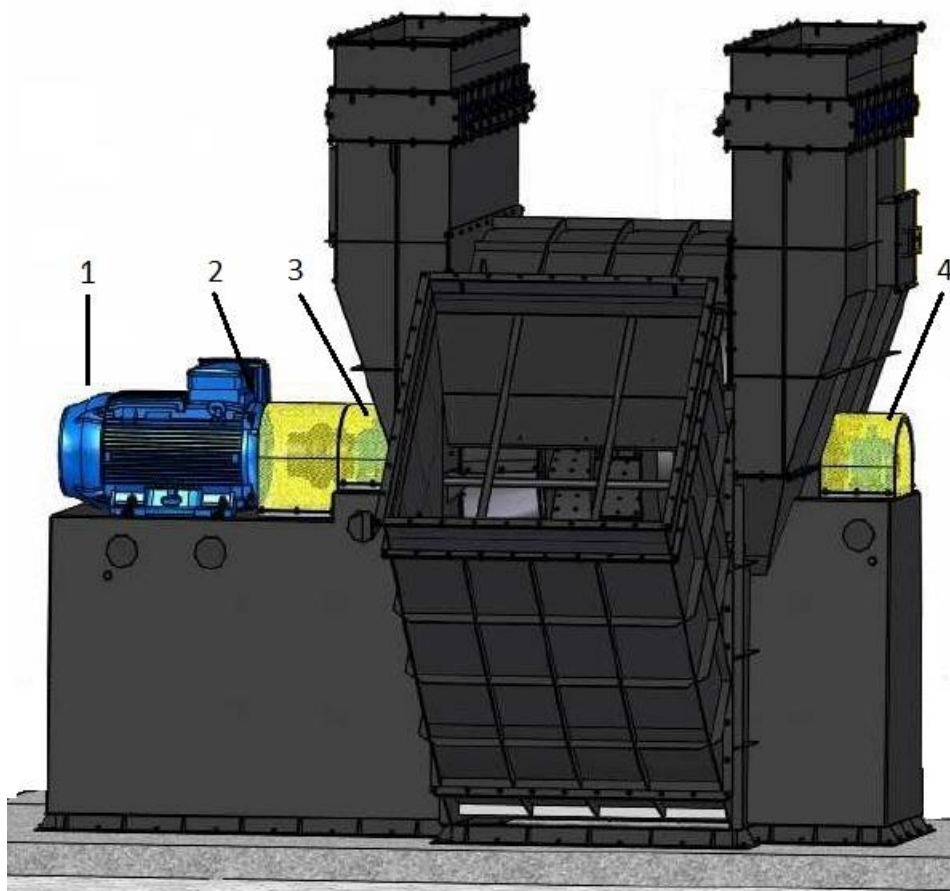
O acoplamento flexível não possui nenhum ponto de lubrificação.

Da mesma forma que o ventilador, o motor possui dois pontos de lubrificação. O mancal do lado acoplado e mancal do lado oposto do acoplamento.

Podemos observar na figura 8 os quatro pontos de lubrificação, com seus respectivos números que irão identificá-los no plano de lubrificação.

- 1 – Motor – Mancal do lado oposto do acoplamento (LOA)
- 2 – Motor – Mancal do lado acoplado (LA)
- 3 – Ventilador – Mancal do lado acoplado (LA)
- 4 – Ventilador – Mancal do lado oposto do acoplamento (LOA)

**Figura 8 – Pontos de lubrificação do EXAU04M1**



Fonte: ICAVI (2015).



### 3.1.2 Ventilador de ar primário

O ventilador de ar primário tem seu local de instalação designado como VENT04M2 e tem como função insuflar ar na parte inferior da fornalha, de maneira ascendente, oferecendo assim oxigênio para a combustão. Da mesma forma do exaustor de tiragem.

Assim como o exaustor de tiragem, é composto de três componentes distintos, porém além do ventilador propriamente dito e motor, o ventilador primário possui um conjunto de polias e correias para transmissão de potência do motor para o ventilador.

**Quadro 5 – Dados do ventilador do VENT04M2**

<b>Ventilador</b>	
Marca	PROJELMEC
Modelo	ILS – 1400 – r90°
Modelo construtivo	Centrífugo
Forma das pás	Retas para trás
Número de entradas	Unilateral
Vazão	90.273 m <sup>3</sup> /h
Temperatura dos gases	25 °C (ambiente)
Temperatura operação mancais	75 °C
Potência	100 cv
Rotação (máx)	882 rpm
Mancais	SNA 517
Rolamentos	22217 K/C3
Buchas	H 317

Fonte: ICAVI (2015).

**Quadro 6 – Dados do motor do VENT04M2**

<b>Motor elétrico</b>	
Marca	WEG
Modelo	W22
Potência	100 cv
Carcaça	280 S/M
Rotação	1775 rpm (máx)
Temperatura operação mancais	80 °C
Rolamento do lado acoplado	6314 - C3
Rolamento do lado oposto do acionamento	6314 - C3

Fonte: Weg (2018).

**Quadro 7 – Dados das polias do VENT04M2**

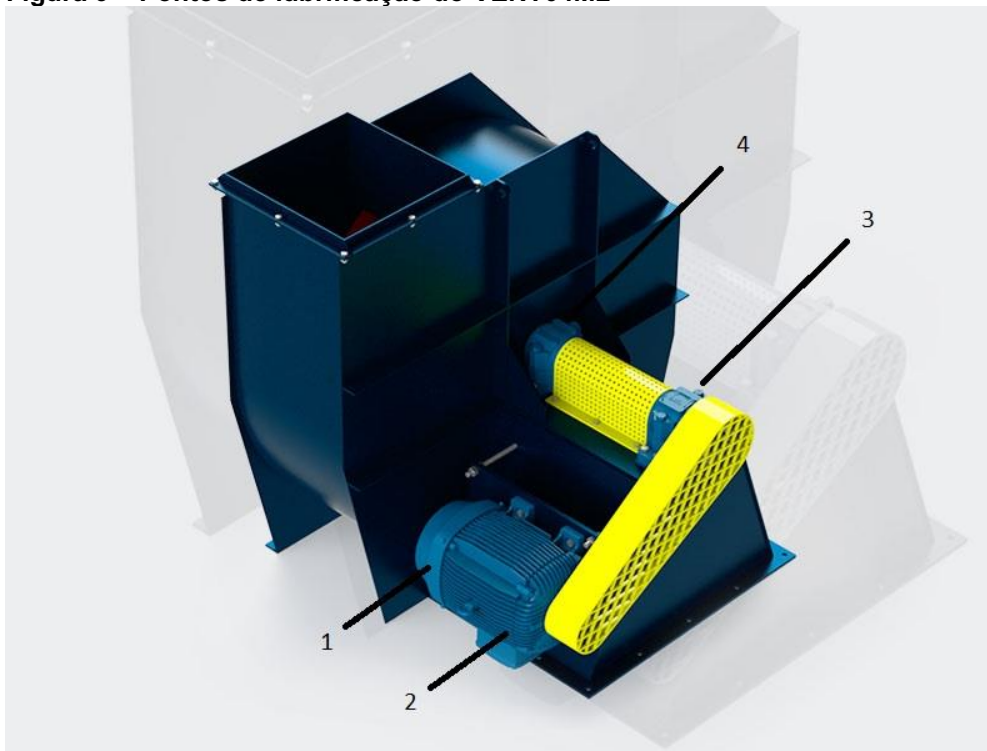
Polias	
Designação correias	PHG 5V1900
Número de correias	5
Diâmetro polia motora	297 mm
Diâmetro polia movida	597 mm
Relação de velocidade	0,497

**Fonte: Autoria própria.**

O ventilador primário possui quatro pontos de lubrificação. O ventilador em si possui dois pontos, nos mancais do lado acoplado e do lado oposto do acoplamento. O motor também possui dois pontos de lubrificação nos mancais do motor. O conjunto de polias não possui nenhum ponto de lubrificação.

A figura 9 ilustra os pontos de lubrificação e seus respectivos números de identificação:

- 1 – Motor – Mancal do lado oposto do acoplamento (LOA)
- 2 – Motor – Mancal do lado acoplado (LA)
- 3 – Ventilador – Mancal do lado acoplado (LA)
- 4 – Ventilador – Mancal do lado oposto do acoplamento (LOA)

**Figura 9 – Pontos de lubrificação do VENT04M2**

**Fonte: ICAVI (2015).**

### 3.1.3 Ventilador de ar secundário

O ventilador de ar secundário é chamado de VENT04M3 e sua função é insuflar ar na parte de superior da fornalha, causando uma turbulência e completando a combustão (BAZZO, 1995).

O VENT04M3 possui os mesmos componentes do ventilador primário: ventilador, conjunto de polias e correias e motor elétrico. Porém os mancais do motor do ventilador de ar secundário não possuem bicos graxeiros, sendo necessário parar o equipamento, e abrir os mancais do motor para relubrificá-lo.

**Quadro 8 – Dados do ventilador do VENT04M3**

<b>Ventilador</b>	
Modelo construtivo	Centrífugo
Forma das pás	Retas para trás
Número de entradas	Unilateral
Vazão	50 m <sup>3</sup> /h
Temperatura dos gases	25 °C (ambiente)
Temperatura operação mancais	75 °C
Potência	75 cv
Rotação	823 rpm
Mancais	SNA 513
Rolamentos	22213 EK
Buchas	H 313

Fonte: ICAVI (2015).

**Quadro 9 – Dados do motor do VENT04M3**

<b>Motor elétrico</b>	
Marca	WEG
Modelo	W22
Carcaça	280 S/M
Rotação	1777 rpm
Temperatura operação mancais	80 °C
Rolamento do lado acoplado	6312 - C3
Rolamento do lado oposto do acionamento	6212 - C3

Fonte: Weg (2018).

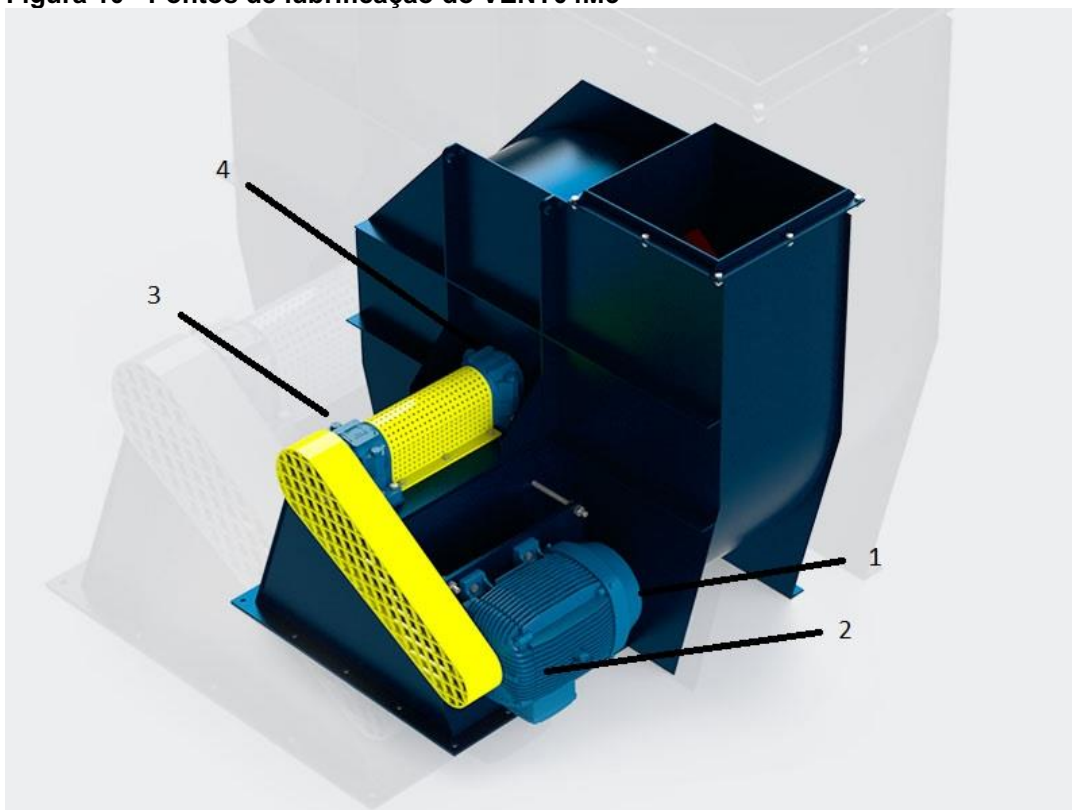
**Quadro 10 – Dados das polias do VENT04M3**

Polias	
Designação correias	LISA V 5V 170
Número de correias	4
Diâmetro polia motora	250 mm
Diâmetro polia movida	540 mm
Relação de velocidade	0,463

Fonte: **Autoria própria.**

A figura 10 ilustra os pontos de lubrificação e seus respectivos números de identificação:

- 1 – Motor – Mancal do lado oposto do acoplamento (LOA)
- 2 – Motor – Mancal do lado acoplado (LA)
- 3 – Ventilador – Mancal do lado acoplado (LA)
- 4 – Ventilador – Mancal do lado oposto do acoplamento (LOA)

**Figura 10 - Pontos de lubrificação do VENT04M3**

Fonte: ICAVI (2015).

Após definição dos pontos de lubrificação, temos os componentes de todos os equipamentos e podemos compilá-los no quadro 11, chamado de árvore estrutural. A árvore estrutural será a base do plano de manutenção e mostrará a localização lógica de cada ponto.

**Quadro 11 - Árvore estrutural**

Setor	Local de instalação	Descrição	Equipamento	Ponto de lubrificação
CALDEIRA	EXAU04M1	Exaustor de tiragem	Motor	Mancal LOA 1
CALDEIRA	EXAU04M1	Exaustor de tiragem	Motor	Mancal LA 2
CALDEIRA	EXAU04M1	Exaustor de tiragem	Ventilador	Mancal LA 3
CALDEIRA	EXAU04M1	Exaustor de tiragem	Ventilador	Mancal LOA 4
CALDEIRA	VENT04M2	Ventilador primário	Motor	Mancal LOA 1
CALDEIRA	VENT04M2	Ventilador primário	Motor	Mancal LA 2
CALDEIRA	VENT04M2	Ventilador primário	Ventilador	Mancal LA 3
CALDEIRA	VENT04M2	Ventilador primário	Ventilador	Mancal LOA 4
CALDEIRA	VENT04M3	Ventilador secundário	Motor	Mancal LOA 1
CALDEIRA	VENT04M3	Ventilador secundário	Motor	Mancal LA 2
CALDEIRA	VENT04M3	Ventilador secundário	Ventilador	Mancal LA 3
CALDEIRA	VENT04M3	Ventilador secundário	Ventilador	Mancal LOA 4

Fonte: Autoria própria.

### 3.2 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DO PLANO DE LUBRIFICAÇÃO

É necessário definir quais serão os parâmetros específicos para o plano. Os essenciais para um bom plano de lubrificação são: tipos de lubrificante, quantidade de lubrificante, frequência de lubrificação, método de lubrificação, condições de funcionamento do equipamento e ferramentas que serão utilizadas (CARRETEIRO e MOURA, 1998 e BELINELLI et al, 2009).

#### 3.2.1 Fatores para escolha do tipo de lubrificante

Carreteiro e Moura (1998) destacam alguns fatores para escolha do lubrificante adequado, aplicado a mancais de rolamento.

- Geometria do mancal;
- Rotação do eixo;

- Carga no mancal;
- Temperatura de operação do mancal;
- Condições ambientais: temperatura, umidade, poeira, contaminantes;
- Método de aplicação.

O uso de graxa é indicado em várias situações: quando o mancal não impede a entrada de contaminantes sólidos, em presença de água nas proximidades, alta temperatura de funcionamento do equipamento, rolamentos submetidos a cargas elevadas e baixas rotações (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

Todos os pontos de lubrificação citados no item 3.1 tem mancais geometricamente construídos para uso de graxa.

Antes de iniciar a escolha do lubrificante é importante a definição das faixas de temperaturas das graxas, pois as faixas englobam um intervalo específico de temperatura e são aplicadas somente as graxas. As faixas estão descritas na tabela 2.

**Tabela 2 - Faixas de temperatura para graxas**

<b>Faixa de temperatura</b>	<b>Intervalo (°C)</b>
Baixa	< 50
Média	de 50 a 100
Alta	de 100 a 150
Muito Alta	> 150

**Fonte: SKF (2015).**

### 3.2.1.1 Escolha da graxa para mancais de motores elétricos

SKF (2015) e Teles (2019) indicam o uso de graxa de alto desempenho para motores elétricos com espessante a base de poliuréia. A fabricante dos motores também indica uso de graxa com espessante a base de poliuréia. Inclusive enviou os motores do estudo com esse tipo de graxa. No quadro 12, podemos ver as propriedades dessa graxa.

As graxas com espessantes a base de poliuréia (orgânica) têm excelentes resistências a temperatura e a água, e excelente estabilidade ao trabalho (WEIDLICH, 2009). Também tem excelente resistência a corrosão e extrema durabilidade.

Podemos analisar no quadro 12 que o ponto de gota da graxa indicada é de 260°C, temperatura essa que atende bem todas as aplicações de motores do estudo.

**Quadro 12 - Propriedades típicas**

Propriedades	Valores
Grau NLGI	2
Cor0	Azul
Viscosidade, ASTM D445	
cSt à 40°C	115
cSt à 100°C	12,2
Índice de Viscosidade, ASTM D2270	95
Penetração Trabalhada, ASTM D217, 60x, mm/10	285
Alteração na penetração após 100.000 ciclos, ASTM D217, mm/10	40
Ponto de Gota, ASTM D2265, °C	260
Teste de separação do óleo, ASTM D1742, %	0,5
Vida da graxa a alta temperatura, ASTM D3336, horas a 177°C	750+
Ensaio de 4 Esferas, ASTM D2266, a 40kg, 1200 rpm, 75°C, 1 hora, marca de desgaste, mm	0,41
Proteção contra a ferrugem, ASTM D1743, água destilada	Passa
Resistência à corrosão do cobre, ASTM D4048	1A
Lavagem por água, ASTM D1264, % de perda	1,9

**Fonte: Adaptado de Exxon Mobil Corporation (2017).**

Outra característica importante dessa graxa é a resistência à corrosão do cobre que no caso tem valor 1A, o melhor valor possível no ensaio da Norma ASTM D4048. Essa propriedade é essencial para aplicação em motores elétricos, pois esse é um equipamento constituído por vários componentes de cobre, inclusive o próprio bobinamento do motor, componente esse que pode ter contaminação do lubrificante. (WEG, 2018).

### 3.2.1.2 Escolha da graxa para mancais dos ventiladores

A escolha do tipo de graxa para uso em mancais de rolamento leva em conta principalmente a velocidade do eixo, o diâmetro do eixo e a temperatura de operação.

No quadro 13 é possível ver algumas aplicações com diferentes parâmetros e as graxas indicadas para cada uma delas. As aplicações de graxas são baseadas

no parâmetro chamado de DN (relação entre diâmetro de eixo e velocidade de rotação do mesmo) e na temperatura de operação.

**Quadro 13 - Graxas em mancais de rolamento**

Valor DN* máx.	Temperatura (°C)	Serviço	NLGI e base
250.000	-30 a 180	Motores elétricos, eixos verticais, vibrações, choques, altas pressões	2 - 3 Múltipla aplicação
500.00	-30 a 180	Aplicação geral, exceto citados acima	1 - 2 Múltipla aplicação
750.000	-20 a 260	Cargas normais, qualquer serviço	1 Argila modificada
250.000	0 a 60	Bomba d'água, indústria alimentícia	1 - 2 ou 3 Cálcio

Fonte: Carreteiro e Moura (1998).

Na tabela 3 temos algumas informações dos pontos de lubrificação como identificação do rolamento, diâmetro do eixo em cada ponto de lubrificação, a rotação máxima do rolamento em cada ponto e a temperatura máxima de operação dos mancais. Multiplicando a rotação (rpm) e o diâmetro do eixo (mm), obtemos os valores de DN para cada ponto de lubrificação.

Podemos notar na tabela 3 que os valores de DN não ultrapassam 215.000 em nenhum dos casos. Os maiores valores são para os mancais do ventilador do EXAU04M1, que correspondem a 214.200. Analisando esses dados com os do quadro 13 concluímos que para todos os pontos de lubrificação citados, podem ser usadas graxas de consistência NGLI 2 ou 3, com base de múltiplas aplicações. O valor de DN máximo permitiria o uso de graxas a base de cálcio, porém a temperatura de operação de todos os mancais é superior ao limite máximo de 60°C desse tipo de lubrificante.



Tabela 3 - Diâmetro do eixo x Rotação (DN)

Local de instalação	Equipamento	Ponto de lubrificação	Temp. (°C)	Rolamento	D eixo (mm)	Rotação máx (RPM)	DN	
EXAU04M1	Motor	Mancal LOA	1	80	6319 C3	95	1190	<b>113050</b>
	Motor	Mancal LA	2	80	6322 C3	110	1190	<b>130900</b>
	Ventilador	Mancal LA	3	90	23136 K	180	1190	<b>214200</b>
	Ventilador	Mancal LOA	4	90	23136 K	180	1190	<b>214200</b>
VENT04M2	Motor	Mancal LOA	1	80	6314 C3	70	1775	<b>124250</b>
	Motor	Mancal LA	2	80	6314 C3	70	1775	<b>124250</b>
	Ventilador	Mancal LA	3	75	22217 K/C3	85	882	<b>74970</b>
	Ventilador	Mancal LOA	4	75	22217 K/C3	85	882	<b>74970</b>
VENT04M3	Motor	Mancal LOA	1	80	6212 C3	60	1777	<b>106620</b>
	Motor	Mancal LA	2	80	6212 C3	60	1777	<b>106620</b>
	Ventilador	Mancal LA	3	75	22213 EK	65	823	<b>53495</b>
	Ventilador	Mancal LOA	4	75	22213 EK	65	823	<b>53495</b>

Fonte: Autoria própria

A graxa de múltipla aplicação sugerida pelo quadro 13 poderia ser tanto uma graxa com base de lítio quanto uma à base de sódio. Podemos comparar as graxas com relação ao sabão usado no quadro 14.

Quadro 14 - Comparativo entre espessantes

Espessante	Resistência a temperatura	Temp. máx. operação (°C)	Resistência a água	Estabilidade ao trabalho
Sabão de cálcio	Ruim	60	Excelente	Regular
Sabão de sódio	Bom	90 ~ 100	Ruim	Regular
Sabão de lítio	Bom	110 ~ 135	Bom	Excelente
Sabão misto (Ca/Li)	Bom	120 ~ 150	Excelente	Bom
Inorgânico (argila)	Excelente	150 ~ 200	Regular	Bom
Orgânico (Poliuréia)	Excelente	150 ~ 180	Excelente	Excelente

Fonte: Adaptado de SHELL (2017).

Nota-se que tanto a graxa à base de lítio quanto à base de sódio tem boa resistência à temperatura, porém a graxa de lítio tem boa resistência à água, característica importante na escolha da graxa, pois todos os pontos de lubrificação estão dispostos em ambiente aberto, expostos à chuva. Caso ocorra alguma contaminação, a graxa precisa ter uma boa resistência à água. Por isso a graxa mais indicada para lubrificação dos pontos dos ventiladores é a de sabão à base de lítio.

A escolha da graxa com espessante à base de lítio baseou-se, também, na facilidade de encontrar esse tipo de graxa no mercado e por ser muito utilizada no ramo industrial. Segundo uma pesquisa aplicada pela *National Lubricating Grease Institute* (NLGI), no ano de 2017 a graxa de lítio corresponde a 75% da produção mundial, o que torna seu preço menor em relação aos outros tipos (BEETON, 2017).

As graxas com espessante de sabão metálico de consistência 1, 2 ou 3 na escala NLGI são amplamente utilizadas em mancais de rolamento. Aplicações de consistência 1 são geralmente utilizadas em temperaturas muito baixas ou quando é necessário melhorar o bombeamento da mesma. Já as graxas de consistência 3 são utilizadas principalmente em eixos verticais (SKF, 2015).

O quadro 15 apresenta as aplicações para cada grau de consistência da graxa.

**Quadro 15 - Consistência e condições de trabalho**

<b>Grau de Consistência (NLGI)</b>	<b>Condição de trabalho (aplicação)</b>
0	- Lubrificação centralizada; - Aplicações com facilidade de ocorrer corrosão por contato.
1	- Lubrificação centralizada; - Aplicações com facilidade de ocorrer corrosão por contato; - Baixa temperatura.
2	- Uso genérico; - Rolamentos blindados ou vedados.
3	- Uso genérico; - Rolamentos blindados ou vedados; - Alta temperatura.
4	- Alta temperatura - Vedação com graxa

Fonte: Adaptado de NSK (2013).

A utilização de graxas de uso genérico, que atendem a um maior número de equipamentos diferentes respeitando todos os parâmetros de cada componente, auxilia muito na operação de lubrificação, pois diminui a chance da aplicação da graxa errada, além de facilitar a própria logística nas rotas de lubrificação. Analisando o quadro 15 e buscando uma graxa com ampla aplicação e que atenda todos os pontos de lubrificação dos mancais dos eixos dos ventiladores, conclui-se que poderia usar tanto a graxa de consistência 2 quanto a 3, porém a graxa de grau NLGI 3, é indicada para alta temperatura, que não é o caso dos pontos em questão. Por isso a consistência definida para a graxa será de grau NLGI 2.

A escolha do óleo base fundamenta-se na tabela 4, que demonstra as características de cada tipo de óleo baseado nas propriedades da graxa.

**Tabela 4 - Tipos de óleo base**

Propriedades	Tipos de óleo	Óleo Mineral	Óleo Diéster, Óleo Éster Polivalente	Óleo de silicone
Ponto de gota (°C)		170 a 195	170 a 195	200 a 210
Temp. de Operação (°C)		-20+110	-50 a +130	-50 a +160
Rotação, % *		70	100	60
Estabilidade mecânica		Boa	Boa	Boa
Resistência à pressão		Média	Média	Fraca
Resistência à água		Boa	Boa	Boa
Resistência a corrosão		Boa	Boa	Fraca
Observações	Múltiplas aplicações para os vários tipos de rolamentos		Características destacadas de baixa temperatura e atrito Adequada para rolamentos de pequenos motores elétricos e pequenos rolamentos para instrumentos de medição.	Usadas principalmente para altas temperaturas. Inadequada para baixas e altas rotações, cargas pesadas e rolamentos que tenham muitas partes em deslizamento (como rolamentos de rolos).

Nota (\*) Aplicabilidade em porcentagem do limite de rotação do rolamento

**Fonte: Adaptado de NSK (2013).**

Baseando ainda a escolha em uma graxa de ampla aplicação, e analisando a tabela 4, conclui-se que a escolha ideal é a graxa com óleo mineral, pois além de ser o tipo mais utilizado, possui boa estabilidade mecânica, boa resistência à água e à corrosão. Relacionando os dados das tabelas 4 e 5 e baseando-se na temperatura de operação e limite de velocidade máxima de todos os rolamentos, o óleo que melhor atende a todos os pontos de lubrificação é o óleo mineral.

**Tabela 5 - Porcentagem do limite de rotação**

Local de instalação	Equipamento	Ponto de lubrificação		Temp. operação (°C)	Rolamento	Rotação máx (rpm)	Limite máx (rpm)	Porcent. limite de rotação (%)
EXAU04M1	Ventilador	Mancal LA	3	90	23136 K	1190	2200	<b>54</b>
	Ventilador	Mancal LOA	4	90	23136 K	1190	2200	<b>54</b>
VENT04M2	Ventilador	Mancal LA	3	75	22217 K/C3	882	5600	<b>16</b>
	Ventilador	Mancal LOA	4	75	22217 K/C3	882	5600	<b>16</b>
VENT04M3	Ventilador	Mancal LA	3	75	22213 EK	823	7000	<b>12</b>
	Ventilador	Mancal LOA	4	75	22213 EK	823	7000	<b>12</b>

**Fonte: Autoria própria.**

Além da escolha do tipo de óleo base da graxa, é necessário definir, também, a viscosidade desse óleo. SKF (2015) orienta o uso de óleos base de viscosidade entre 15 e 500 mm<sup>2</sup>/s a 40°C em rolamentos de rolos. As graxas com espessantes à base de lítio, consistência de grau 2 NLGI, óleo base mineral mais comuns, levando em conta a facilidade de encontrá-las no mercado, são de viscosidade 220 mm<sup>2</sup>/s a 40°C, por isso essa será a viscosidade escolhida.

Para uso de graxas em mancais de rolamentos é essencial o uso de aditivo para extrema pressão (EP), esse aditivo é uma alternativa para superar o contato do metal com as asperezas das superfícies. (SKF, 2015).

Após a definição do tipo de espessante, consistência, tipo de óleo base, viscosidade do óleo base e aditivos, concluímos que a graxa ideal para aplicação nos mancais dos ventiladores da caldeira é a graxa com sabão de lítio, consistência NLGI de grau 2, óleo base mineral de viscosidade 220 mm<sup>2</sup>/s a 40 °C e aditivo de extrema pressão.

### 3.2.2 Quantidade de graxa

A quantidade de graxa depende da configuração do mancal e do rolamento. Caso o bico graxeiro esteja posicionado na lateral do mancal, como na figura 11 (a), é necessário preencher 40% do espaço livre do mancal. A quantidade exata de lubrificante, em gramas, é obtida pela equação 1 (SKF, 2015):

$$G_p = 0,005 \cdot D \cdot B \quad (1)$$

Onde:

$G_p$  = quantidade de graxa a ser adicionada no reabastecimento [g];

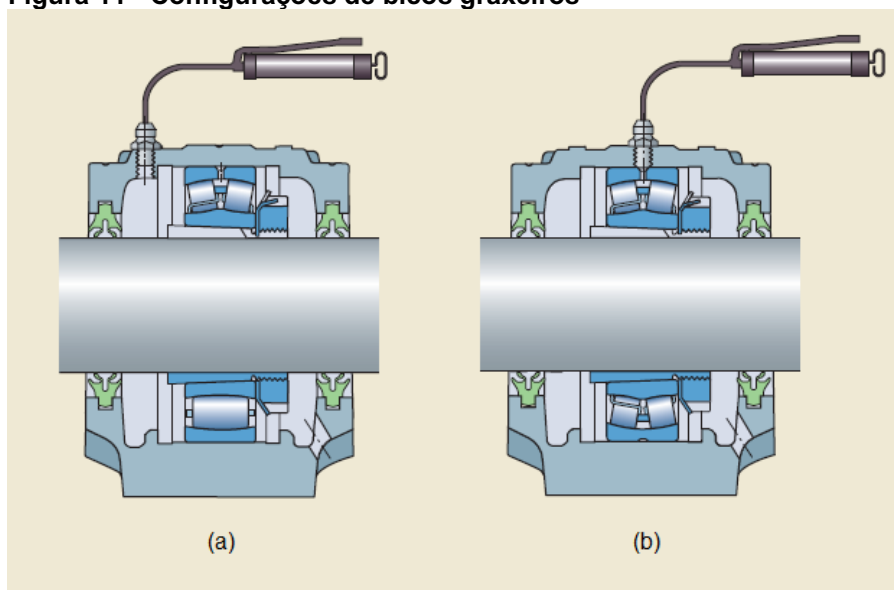
$D$  = diâmetro externo do rolamento [mm];

$B$  = largura total do rolamento.

Se o bico graxeiro estiver posicionado no centro do mancal, abastecendo o rolamento pelo centro (figura 11 (b)), é necessário ocupar 20% do volume livre do mancal. A equação 2 descreve a quantidade de graxa a ser adicionada no mancal abastecido pelo centro:

$$G_p = 0,002 \cdot D \cdot B \quad (2)$$

**Figura 11 - Configurações de bicos graxeiros**



**Fonte: Adaptado de SKF (2015).**

As configurações de todos os mancais dos pontos de lubrificação são de bicos graxeiros abastecendo pelo centro, portanto para todos os pontos do estudo será usada a equação 2. Na tabela 6 estão compilados os valores dos diâmetros externos ( $D$ ) e largura ( $B$ ) e, na última coluna a aplicação da equação 2, que já ilustra a quantidade de graxa em gramas.

A quantidade de graxa a ser colocada nos mancais depende apenas do arranjo físico dos pontos de lubrificação, ou seja, somente do tamanho dos rolamentos e da posição de alimentação de graxa.

Para execução das atividades de lubrificação, e ter certeza da quantidade de graxa que está sendo colocada nos equipamentos, uma ferramenta essencial para a operação é o medidor de graxa, ferramenta que consegue medir precisamente a quantidade de lubrificante que está sendo colocada, a mesma pode indicar tanto o volume quanto a massa que está passando através dele.

**Tabela 6 – Quantidade de graxa por ponto de lubrificação**

<b>Local de instalação</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Ponto de lubrificação</b>	<b>Rolamento</b>	<b>D (mm)</b>	<b>B (mm)</b>	<b>G<sub>p</sub> (g)</b>	
EXAU04M1	Motor	Mancal LOA	1	6319 C3	200	45	<b>18</b>
	Motor	Mancal LA	2	6322 C3	240	50	<b>24</b>
	Ventilador	Mancal LA	3	23136 K	300	96	<b>57,6</b>
	Ventilador	Mancal LOA	4	23136 K	300	96	<b>57,6</b>
VENT04M2	Motor	Mancal LOA	1	6314 C3	150	35	<b>10,5</b>
	Motor	Mancal LA	2	6314 C3	150	35	<b>10,5</b>
	Ventilador	Mancal LA	3	22217 K/C3	150	36	<b>10,8</b>
	Ventilador	Mancal LOA	4	22217 K/C3	150	36	<b>10,8</b>
VENT04M3	Motor	Mancal LOA	1	6212 C3	110	22	<b>4,84</b>
	Motor	Mancal LA	2	6212 C3	110	22	<b>4,84</b>
	Ventilador	Mancal LA	3	22213 EK	120	31	<b>7,44</b>
	Ventilador	Mancal LOA	4	22213 EK	120	31	<b>7,44</b>

**Fonte: SKF (2015).**

### 3.2.3 Intervalo de relubrificação

O intervalo de relubrificação depende de diversos fatores, principalmente da temperatura, que por sua vez é diretamente relacionada com a velocidade de rotação do eixo e carga suportada pelo mancal. A graxa é aplicada com o a máquina em funcionamento (CARRETEIRO e MOURA, 1998).

A equação 3 correlaciona várias características do ponto de lubrificação como temperatura, contaminação, umidade, vibração, posição do eixo, tipo de rolamento, velocidade e diâmetro do rolamento. O resultado da equação é o intervalo de lubrificação em horas.

$$T = K \cdot \left[ \left( \frac{14 \cdot 10^6}{n \cdot \sqrt{d}} \right) - 4 \cdot d \right] \quad (3)$$

Onde:

T = Tempo de intervalo de relubrificação em horas;

K = produto da multiplicação de todos os fatores de correção (Ft x Fc x Fm x Fv x Fp x Fd) conforme tabela 7

n = velocidade em rpm

d = diâmetro interno do rolamento em mm

Os fatores de correção para definição da constante K encontram-se na tabela 7. A mesma mostra os fatores aplicados a diversos intervalos e situações diferentes, que precisam ser analisados ponto a ponto.

**Tabela 7 - Fatores de Correção para intervalo de lubrificação a graxa**

(continua)

Condição	Faixa de Operação Média	Fator de Correção
Temperatura Ft	>65 °C	1,0
	Entre 65 e 80 °C	0,5
	Entre 80 e 95 °C	0,2
	Maior que 95 °C	0,1
Contaminação Fc	Leve / Sem poeira abrasiva	1,0
	Pesada / Sem poeira abrasiva	0,7
	Leve/ Com poeira abrasiva	0,4
	Pesada / Com poeira abrasiva	0,2
Umidade Fm	Umidade menor que 80%	1,0
	Umidade entre 80 e 90%	0,7
	Condensação ocasional	0,4
	Umidade ocasional no alojamento	0,2

Tabela 7 - Fatores de Correção para intervalo de lubrificação a graxa

(conclusão)

Condição	Faixa de Operação Média	Fator de Correção
Vibração Fv	Menor que 5 mm/seg.	1,0
	Entre 5 e 10 mm/s	0,6
	Maior que 10 mm/s	0,3
Posição Fp	Horizontal	1,0
	Na diagonal em 45°	0,5
	Vertical	0,3
Tipo do Rolamento Fd	Rolamento de Esferas	10,0
	Rolamentos de rolos cilíndricos	5,0
	Rolamentos de rolos cônicos	1,0

Fonte: Teles (2019).

Para definição do fator de correção K de cada ponto, analisa-se cada condição aplicada aos pontos de lubrificação. Na tabela 8 pode-se observar que os maiores impactos no valor do fator de correção são o tipo de rolamento (Fd) e a temperatura (Ft), considerando que todos os pontos de lubrificação têm pouca exposição a contaminação e umidade, baixo nível de vibração e todos possuem configuração de eixo na posição horizontal.

Tabela 8 - Definição do fator K para cada ponto de lubrificação

(continua)

Local de instalação	Equipamento	Ponto de lubrificação	Ft	Fc	Fm	Fv	Fp	Fd	K
EXAU04M1	Motor	Mancal LOA	1	0,5	1,0	1,0	1,0	10,0	<b>5,0</b>
	Motor	Mancal LA	2	0,5	1,0	1,0	1,0	10,0	<b>5,0</b>
	Ventilador	Mancal LA	3	0,2	1,0	1,0	1,0	5,0	<b>1,0</b>
	Ventilador	Mancal LOA	4	0,2	1,0	1,0	1,0	5,0	<b>1,0</b>
VENT04M2	Motor	Mancal LOA	1	0,5	1,0	1,0	1,0	10,0	<b>5,0</b>
	Motor	Mancal LA	2	0,5	1,0	1,0	1,0	10,0	<b>5,0</b>
	Ventilador	Mancal LA	3	0,5	1,0	1,0	1,0	5,0	<b>2,5</b>
	Ventilador	Mancal LOA	4	0,5	1,0	1,0	1,0	5,0	<b>2,5</b>



Tabela 8 - Definição do fator K para cada ponto de lubrificação

(conclusão)

Local de instalação	Equipamento	Ponto de lubrificação	Ft	Fc	Fm	Fv	Fp	Fd	K	
VENT04M3	Motor	Mancal LOA	1	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	10,0	<b>5,0</b>
	Motor	Mancal LA	2	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	10,0	<b>5,0</b>
	Ventilador	Mancal LA	3	0,5	1,0	1,0	1,0	5,0	<b>2,5</b>	
	Ventilador	Mancal LOA	4	0,5	1,0	1,0	1,0	5,0	<b>2,5</b>	

Fonte: Autoria própria.

Após a definição das constantes de correção K, aplica-se a equação 3 para cada ponto de lubrificação. A tabela 9 ilustra na coluna sete o tempo de intervalo de relubrificação em horas. Nota-se que os equipamentos que necessitam menor tempo de intervalo de relubrificação são os dois mancais do ventilador do exaustor (EXAU04M1) por apresentarem o maior rolamento, que gira na maior velocidade, possui a maior temperatura de operação além de ser um rolamento autocompensador de rolos.

Tabela 9 - Tempo de intervalo de relubrificação

Local de instalação	Equipamento	Ponto de lubrificação	K	n (rpm)	d (mm)	T (h)	Frequência	
EXAU04M1	Motor	Mancal LOA	1	5,0	1190	95	4135	Semestral
	Motor	Mancal LA	2	5,0	1190	110	3409	Quinquimestral
	Ventilador	Mancal LA	3	1,0	1190	180	157	Semanal
	Ventilador	Mancal LOA	4	1,0	1190	180	157	Semanal
VENT04M2	Motor	Mancal LOA	1	5,0	1775	70	3314	Quinquimestral
	Motor	Mancal LA	2	5,0	1775	70	3314	Quinquimestral
	Ventilador	Mancal LA	3	2,5	882	85	3454	Quinquimestral
	Ventilador	Mancal LOA	4	2,5	882	85	3454	Quinquimestral
VENT04M3	Motor	Mancal LOA	1	5,0	1777	60	3886	Quinquimestral
	Motor	Mancal LA	2	5,0	1777	60	3886	Quinquimestral
	Ventilador	Mancal LA	3	2,5	823	65	4625	Semestral
	Ventilador	Mancal LOA	4	2,5	823	65	4625	Semestral

Fonte: Autoria própria.

### 3.3 ELABORAÇÃO DO CRONOGRAMA DE LUBRIFICAÇÃO

Depois de definidos os parâmetros de lubrificação é necessário criar o plano propriamente dito. O plano é composto da árvore estrutural, seguido dos pontos de lubrificação, atividade a ser realizada, tipo de lubrificante, quantidade de lubrificante, frequência de relubrificação, se possui dreno de graxa, ferramentas a serem usadas na atividade e a condição de operação que cada equipamento precisa estar durante a atividade. Todos estes itens, já definidos nas seções anteriores, estão relacionados na tabela 10.

A construção do cronograma de lubrificação baseia-se num plano de cinquenta e duas semanas. Como a frequência mínima de lubrificação é semanal, é possível visualizar todas as tarefas do ano inteiro no mesmo cronograma. Todas as tarefas definidas, serão distribuídas nas semanas do ano. Cada atividade, de cada ponto de lubrificação, será distribuída nesse cronograma e designará uma linha do mesmo.

O cronograma é essencial para o cumprimento do plano já que é ele que mostra exatamente em que semana do ano cada tarefa será realizada. Pode-se ver esse cronograma na quadro 16.

**Tabela 10 - Atividades de lubrificação**

Setor	Local de instalação	Descrição	Componente	Ponto de lubrificação	Atividade	Tipo lubrificante	Lubrificante	(continua)	
								Quantidade	(g)
CALDEIRA	EXAU04M1	Exaustor de tiragem	Motor	Mancal LOA	1	Lubrificar	Graxa	Poliuréia NLGI 2	18
CALDEIRA	EXAU04M1	Exaustor de tiragem	Motor	Mancal LA	2	Lubrificar	Graxa	Poliuréia NLGI 2	24
CALDEIRA	EXAU04M1	Exaustor de tiragem	Ventilador	Mancal LA	3	Lubrificar	Graxa	Lítio NLGI 2	57,6
CALDEIRA	EXAU04M1	Exaustor de tiragem	Ventilador	Mancal LOA	4	Lubrificar	Graxa	Lítio NLGI 2	57,6
CALDEIRA	VENT04M2	Ventilador primário	Motor	Mancal LOA	1	Lubrificar	Graxa	Poliuréia NLGI 2	10,5
CALDEIRA	VENT04M2	Ventilador primário	Motor	Mancal LA	2	Lubrificar	Graxa	Poliuréia NLGI 2	10,5
CALDEIRA	VENT04M2	Ventilador primário	Ventilador	Mancal LA	3	Lubrificar	Graxa	Lítio NLGI 2	10,8
CALDEIRA	VENT04M2	Ventilador primário	Ventilador	Mancal LOA	4	Lubrificar	Graxa	Lítio NLGI 2	10,8
CALDEIRA	VENT04M3	Ventilador secundário	Motor	Mancal LOA	1	Lubrificar	Graxa	Poliuréia NLGI 2	12,1
CALDEIRA	VENT04M3	Ventilador secundário	Motor	Mancal LA	2	Lubrificar	Graxa	Poliuréia NLGI 2	12,1
CALDEIRA	VENT04M3	Ventilador secundário	Ventilador	Mancal LA	3	Lubrificar	Graxa	Lítio NLGI 2	18,6
CALDEIRA	VENT04M3	Ventilador secundário	Ventilador	Mancal LOA	4	Lubrificar	Graxa	Lítio NLGI 2	18,6

**Tabela 10 – Atividades de lubrificação**

<b>Frequência</b>	<b>Dreno?</b>	<b>Ferramentas</b>	<b>(conclusão) Condição equipamento</b>
Semestral	Sim	Bomba de graxa manual, medidor graxa, espátula	Em operação
Quinquimestral	Sim	Bomba de graxa manual, medidor graxa, espátula	Em operação
Semanal	Sim	Bomba de graxa manual, medidor graxa, espátula	Em operação
Semanal	Sim	Bomba de graxa manual, medidor graxa, espátula	Em operação
Quinquimestral	Sim	Bomba de graxa manual, medidor graxa, espátula	Em operação
Quinquimestral	Sim	Bomba de graxa manual, medidor graxa, espátula	Em operação
Quinquimestral	Não	Bomba de graxa manual, medidor graxa	Em operação
Quinquimestral	Não	Bomba de graxa manual, medidor graxa	Em operação
Quinquimestral	Sim	Bomba de graxa manual, medidor graxa	Em operação
Quinquimestral	Sim	Bomba de graxa manual, medidor graxa	Em operação
Semestral	Não	Bomba de graxa manual, medidor graxa	Em operação
Semestral	Não	Bomba de graxa manual, medidor graxa	Em operação

**Fonte: Autoria própria**

**Quadro 16 - Cronograma baseado em plano de 52 semanas**

(continua)

Setor	Local de instalação	Descrição	Componente	Ponto de lubrificação	Atividade	Frequência										
							1	2	3	4	5	6	7			
CALDEIRA	EXAU04M1	Exaustor de tiragem	Motor	Mancal LOA	1	Lubrificar	Semestral									
CALDEIRA	EXAU04M1	Exaustor de tiragem	Motor	Mancal LA	2	Lubrificar	Quinquimestral									
CALDEIRA	EXAU04M1	Exaustor de tiragem	Ventilador	Mancal LA	3	Lubrificar	Semanal									
CALDEIRA	EXAU04M1	Exaustor de tiragem	Ventilador	Mancal LOA	4	Lubrificar	Semanal									
CALDEIRA	VENT04M2	Ventilador primário	Motor	Mancal LOA	1	Lubrificar	Quinquimestral									
CALDEIRA	VENT04M2	Ventilador primário	Motor	Mancal LA	2	Lubrificar	Quinquimestral									
CALDEIRA	VENT04M2	Ventilador primário	Ventilador	Mancal LA	3	Lubrificar	Quinquimestral									
CALDEIRA	VENT04M2	Ventilador primário	Ventilador	Mancal LOA	4	Lubrificar	Quinquimestral									
CALDEIRA	VENT04M3	Ventilador secundário	Motor	Mancal LOA	1	Lubrificar	Quinquimestral									
CALDEIRA	VENT04M3	Ventilador secundário	Motor	Mancal LA	2	Lubrificar	Quinquimestral									
CALDEIRA	VENT04M3	Ventilador secundário	Ventilador	Mancal LA	3	Lubrificar	Semestral									
CALDEIRA	VENT04M3	Ventilador secundário	Ventilador	Mancal LOA	4	Lubrificar	Semestral									



Analisando o cronograma de lubrificação (quadro 16) observa-se que todas as tarefas serão realizadas na primeira semana do ano, incluindo as lubrificações de frequências semanais, quinquimestrais e semestrais. Posteriormente será seguido a frequência de lubrificação indicada para cada ponto. As semanais serão executadas em todas as semanas do ano, as quinquimestrais serão executadas na primeira, na vigésima terceira e na quadragésima quinta semana e as semestrais na primeira e na vigésima sétima semana.

É importante fazer uma gestão visual do cronograma de lubrificação e da lista de atividades, para que todos os envolvidos com o equipamento, tanto operadores quanto manutentores tenham conhecimento do plano de lubrificação completo. Evitando que ocorram erros principalmente no tipo de lubrificante, quantidade, e frequência de lubrificação.

### 3.4 DEFINIÇÃO DA FOLHA DE INSTRUÇÃO

Cada atividade estará inserida numa folha de instrução de lubrificação. Esta folha de instrução possui as informações de identificação dos pontos de lubrificação, quantidade e tipo de graxa, procedimento de lubrificação, ferramentas e Equipamentos de Proteção Individual (EPI's) necessários, nome, data e hora em que a lubrificação foi efetuada além de um espaço para eventuais observações que o lubrificador necessita fazer.

O campo de observações é importante, pois cada lubrificador acaba se tornando um inspetor, e caso ele encontre alguma anomalia no equipamento, ele deve anotar nesse local.

Cada frequência e equipamento diferente gera uma folha de instrução de lubrificação distinta. Cada atividade precisa ser assinada para assegurar o cumprimento do plano. As folhas de instrução de lubrificação encontram-se nos apêndices A, B, C, D, E e F.

## 4 CONCLUSÃO

- Em relação ao objetivo proposto, este foi atingido, pois foi possível elaborar um plano de lubrificação dos ventiladores da caldeira, de forma prática e de fácil aplicação em uma indústria. O plano de lubrificação poderá contribuir em maior confiabilidade dos equipamentos, aumentando assim a disponibilidade da planta;
- Os principais resultados do trabalho são: as atividades de lubrificação, o cronograma de lubrificação baseado em cinquenta e duas semanas e as folhas de instrução de lubrificação. Esses três itens constituem o plano de lubrificação;
- A execução do plano de lubrificação poderá baixar os custos de manutenção, considerando custos de eventuais intervenções corretivas e o custo dos próprios lubrificantes;
- A escolha dos parâmetros baseada na recomendação dos fabricantes de rolamentos garante, principalmente, que a qualidade e a vida útil da graxa sejam mantidas ao máximo;
- Colocar o lubrificante adequado, no lugar certo, na quantidade correta na frequência indicada e usando os métodos padronizados irá prolongar a vida útil do rolamento de maneira satisfatória;
- O arranjo físico e as dimensões dos mancais e rolamentos são determinantes para quantidade exata de lubrificante a ser aplicado;
- A temperatura é o fator que mais interfere na vida útil do lubrificante, podendo variar tanto pelo processo em que os equipamentos estão submetidos, quanto pela velocidade e tipo de rolamento;
- É de suma importância a gestão visual das atividades de lubrificação e principalmente do cronograma de lubrificação, pois este último norteia toda a frequência de lubrificação;
- Para perspectivas futuras é importante elaborar o plano de manutenção para os demais equipamentos da caldeira e, posteriormente, de toda a fábrica, assegurando assim a confiabilidade de todo o processo produtivo e potencializando de maneira significativa os resultados do trabalho.



## REFERÊNCIAS

ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS). **ASTM D217-17**. Standard Test Methods for Cone Penetration of Lubricating Grease, ASTM International. West Conshohocken, PA, 2017.

ANTARES. **Acoplamentos**. 2017. Disponível em: <[https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/30313/1491833572Catalogo\\_Antares\\_Portugus\\_Jan2017.pdf](https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/30313/1491833572Catalogo_Antares_Portugus_Jan2017.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2019.

BAZZO, E. Geração de vapor. 2. ed. Rev. e Ampl. Florianópolis: UFSC, 1995.

BEETON, J. **Graxa de lítio responde por três quartos da produção mundial**. 2017. Disponível em: <<http://portallubes.com.br/2017/07/graxa-de-litio-na-producao-mundial/>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

BELINELLI, M. *et al.* Implantação de planos de lubrificação industrial: estudo de caso em uma indústria papelreira. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 2, n. 1, p. 88-99, dez. 2009.

CARRETEIRO, R. P.; MOURA, C. R. S. **Lubrificantes e lubrificação**. São Paulo: Makron, 1998.

EXXON MOBIL CORPORATION. **Graxa para rolamentos de motores elétricos**. 2017. Disponível em: <<https://www.mobil.com/portuguese-br/grease/pds/glxxmobil-polyrex-em-series>>. Acesso em: 20/06/2019.

HAMROCK, B. J. **Fundamentals of Fluid Film Lubrication**. 01 ago. 1991. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19910021217>>. Acesso em: 15 mai. 2019.

ICAVI. Manual de operação e manutenção: **Periféricos – Caldeira aquatubular**. Santa Catarina, 2015.

MACINTYRE, A. J. **Ventilação Industrial e Controle da Poluição**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1990.

NASCIF, J.; DORIGO, L. C. **Manutenção orientada para resultados**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2013.

NSK. Catálogo geral: **Rolamentos**. Jun. 2013. Disponível em: <[http://www.nsk.com.br/upload/file/Cat%C3%A1logo%20Geral%20NSK\(1\).pdf](http://www.nsk.com.br/upload/file/Cat%C3%A1logo%20Geral%20NSK(1).pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2019.

PROFITO, F. J. **Modelagem unidimensional do regime misto de lubrificação aplicada a superfícies texturizadas**. 2010. 193 f. Dissertação (Mestrado). – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

RAMALHO JÚNIOR, F.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. **Os fundamentos da física**. 7. ed. São Paulo, SP: Moderna, 1999.

RATÃO, N. T. **Graxa de poliuréia – estudo da compatibilidade da poliuréia, polialfaolefina e politetrafluoretileno irradiado para melhoria da lubrificidade e estabilidade**. 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 2013.

SENAI. **Lubrificação mecânica**. 1997. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/docs/apostilas/mecanica-lubrificacao.pdf>>. Acesso em: 16 mai. 2019.

SHELL. **Apostila sobre lubrificação**, Brasil, 2017. 179 p.

SINATORA, A.; TANAKA, D. K. As leis do Atrito: Da Vinci, Amontons ou Colomb? **Revista Brasileira de Ciências Mecânicas**, Rio de Janeiro (RJ), v 12, n.1, p 31-34, out. 2007.

SKF. **Rolamentos de esferas**. 2015. Disponível em: < [http://www.skf.com/binary/82-121486/10000\\_2-PT-BR---Rolling-bearings.pdf](http://www.skf.com/binary/82-121486/10000_2-PT-BR---Rolling-bearings.pdf)>. Acesso em: 07 jun. 2019.

TELES, J. **Tudo que você precisa saber sobre lubrificação de motores elétricos**. Disponível em: <<http://materiais.engeteles.com.br/ebook-tudo-sobre-lubrificacao-de-motores>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

WEG. **Manual geral de instalação, operação e manutenção de motores elétricos**. Ago. 2018. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h2c/h87/WEG-iom-installation-operation-and-maintenance-manual-of-electric-motors-50033244-manual-pt-en-es-de-ro-bg-ru-web.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

WEIDLICH, F. **Avaliação da lubrificação de rolamentos de motores elétricos por ultrassom**. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

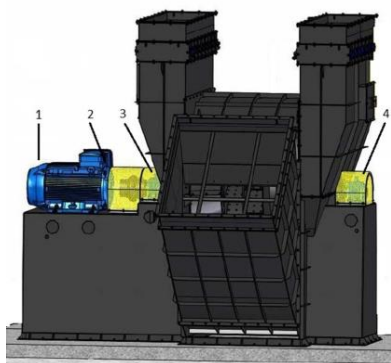
**APÊNDICE A – FOLHA DE INSTRUÇÃO DE LUBRIFICAÇÃO SEMANAL DO  
EXAU04M1**

## FOLHA DE INSTRUÇÃO DE LUBRIFICAÇÃO

Ordem:  
Setor: **Caldeira**

### EXAU04M1 EXAUSTOR DE TIRAGEM Lubrificação semanal

Ponto	Equipamento	Mancal	Tipo lubrificante	Quantidade	Dreno
3	Ventilador	Mancal LA	Graxa Lítio NLGI 2	57,6 g	Sim
4	Ventilador	Mancal LOA	Graxa Lítio NLGI 2	57,6 g	Sim



#### Ferramentas necessárias



BOMBA DE  
GRAXA MANUAL

MEDIDOR DE  
GRAXA

ESPÁTULA

#### EPIs Necessários



CAPACETE

ÓCULOS  
PROTEÇÃO

PROTETOR  
AURICULAR

LUVAS  
ANTICORTE

**Atenção! Não use roupas largas ou adornos que possam se prender em partes móveis.**

Procedimento: Caso o mancal possua dreno para graxa, abrir o mesmo e adicionar a quantidade exata de graxa recomendada para cada ponto, com auxílio do medidor de vazão. Coletar excesso de graxa do dreno com espátula e descartar no tambor de graxa usada. Caso o mancal não possua dreno apenas adicionar a quantidade recomendada.

Observações:

Executante

Data

Hora início

Hora fim

\_\_\_\_\_

\_\_/\_\_/\_\_

\_\_:\_\_

\_\_:\_\_

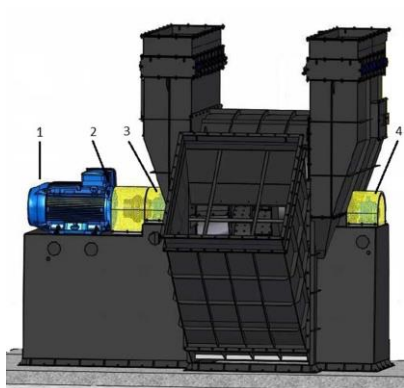
**APÊNDICE B – FOLHA DE INSTRUÇÃO DE LUBRIFICAÇÃO  
QUINQUIMESTRAL DO EXAU04M1**

## FOLHA DE INSTRUÇÃO DE LUBRIFICAÇÃO

Ordem:  
Setor: **Caldeira**

### EXAU04M1 EXAUSTOR DE TIRAGEM Lubrificação quinquimestral

Ponto	Equipamento	Mancal	Tipo lubrificante	Quantidade	Dreno
2	Motor	Mancal LA	Graxa Poliuréia NLGI 2	24 g	Sim



#### Ferramentas necessárias



BOMBA DE  
GRAXA MANUAL

MEDIDOR DE  
GRAXA

ESPÁTULA

#### EPI's Necessários



CAPACETE

ÓCULOS  
PROTEÇÃO

PROTECTOR  
AURICULAR

LUVAS  
ANTICORTE

**Atenção! Não use roupas largas ou adornos que possam se prender em partes móveis.**

Procedimento: Caso o mancal possua dreno para graxa, abrir o mesmo e adicionar a quantidade exata de graxa recomendada para cada ponto, com auxílio do medidor de vazão. Coletar excesso de graxa do dreno com espátula e descartar no tambor de graxa usada. Caso o mancal não possua dreno apenas adicionar a quantidade recomendada.

Observações:

Executante

Data

Hora inicio

Hora fim

\_\_\_\_\_

\_\_/\_\_/\_\_

\_\_:\_\_

\_\_:\_\_

**APÊNDICE C – FOLHA DE INSTRUÇÃO DE LUBRIFICAÇÃO SEMESTRAL DO  
EXAU04M1**

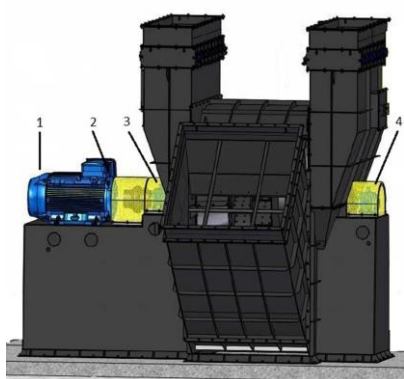


## FOLHA DE INSTRUÇÃO DE LUBRIFICAÇÃO

Ordem:  
Setor: **Caldeira**

### EXAU04M1 EXAUSTOR DE TIRAGEM Lubrificação semestral

Ponto	Equipamento	Mancal	Tipo lubrificante	Quantidade	Dreno
1	Motor	Mancal LOA	Graxa Poliuréia NLGI 2	18 g	Sim



#### Ferramentas necessárias



BOMBA DE  
GRAXA MANUAL



MEDIDOR DE  
GRAXA



ESPÁTULA

#### EPI's Necessários



CAPACETE



ÓCULOS  
PROTEÇÃO



PROTECTOR  
AURICULAR



LUVAS  
ANTICORTE

**Atenção! Não use roupas largas ou adornos que possam se prender em partes móveis.**

Procedimento: Caso o mancal possua dreno para graxa, abrir o mesmo e adicionar a quantidade exata de graxa recomendada para cada ponto, com auxílio do medidor de vazão. Coletar excesso de graxa do dreno com espátula e descartar no tambor de graxa usada. Caso o mancal não possua dreno apenas adicionar a quantidade recomendada.

Observações:

Executante

Data

Hora inicio

Hora fim

\_\_\_\_\_

\_\_/\_\_/\_\_

\_\_:\_\_

\_\_:\_\_

**APÊNDICE D – FOLHA DE INSTRUÇÃO DE LUBRIFICAÇÃO  
QUINQUIMESTRAL DO VENT04M2**

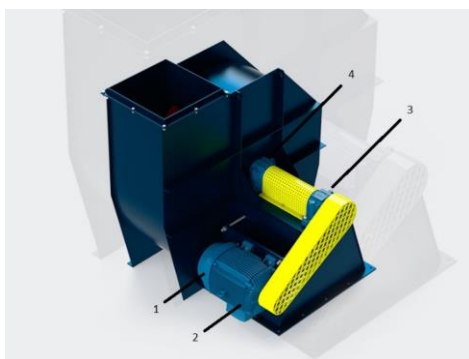
## FOLHA DE INSTRUÇÃO DE LUBRIFICAÇÃO

Ordem:  
Setor: **Caldeira**

### VENT04M2 VENTILADOR PRIMÁRIO Lubrificação Quinquimestral

Ponto	Equipamento	Mancal	Tipo lubrificante	Quantidade	Dreno
1	Motor	Mancal LOA	Graxa Poliuréia NLGI 2	10,5 g	Sim
2	Motor	Mancal LA	Graxa Poliuréia NLGI 2	10,5 g	Sim
3	Ventilador	Mancal LA	Graxa Lítio NLGI 2	10,8 g	Não
4	Ventilador	Mancal LOA	Graxa Lítio NLGI 2	10,8 g	Não

#### Ferramentas necessárias



BOMBA DE  
GRAXA MANUAL



MEDIDOR DE  
GRAXA



ESPÁTULA

#### EPI's Necessários



CAPACETE



ÓCULOS  
PROTEÇÃO



PROTETOR  
AURICULAR



LUVAS  
ANTICORTE

**Atenção! Não use roupas largas ou adornos que possam se prender em partes móveis.**

Procedimento: Caso o mancal possua dreno para graxa, abrir o mesmo e adicionar a quantidade exata de graxa recomendada para cada ponto, com auxílio do medidor de vazão. Coletar excesso de graxa do dreno com espátula e descartar no tambor de graxa usada. Caso o mancal não possua dreno apenas adicionar a quantidade recomendada.

Observações:

Executante

Data

Hora inicio

Hora fim

\_\_\_\_\_

\_\_/\_\_/\_\_

\_\_:\_\_

\_\_:\_\_

**APÊNDICE E – FOLHA DE INSTRUÇÃO DE LUBRIFICAÇÃO  
QUINQUIMESTRAL DO VENT04M3**

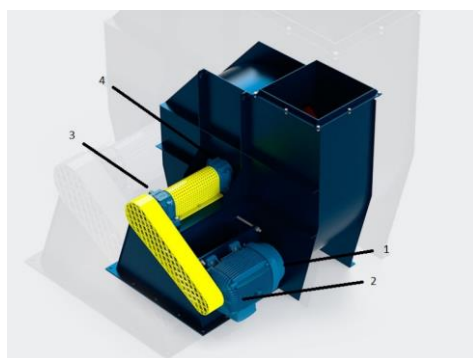
## FOLHA DE INSTRUÇÃO DE LUBRIFICAÇÃO

Ordem:  
Setor: **Caldeira**

### VENT04M3 VENTILADOR SECUNDÁRIO Lubrificação quinquimestral

Ponto	Equipamento	Mancal	Tipo lubrificante	Quantidade	Dreno
1	Motor	Mancal LOA	Graxa Poliuréia NLGI 2	4,84 g	Sim
2	Motor	Mancal LA	Graxa Poliuréia NLGI 2	4,84 g	Sim

#### Ferramentas necessárias



#### EPI's Necessários



**Atenção! Não use roupas largas ou adornos que possam se prender em partes móveis.**

Procedimento: Caso o mancal possua dreno para graxa, abrir o mesmo e adicionar a quantidade exata de graxa recomendada para cada ponto, com auxílio do medidor de vazão. Coletar excesso de graxa do dreno com espátula e descartar no tambor de graxa usada. Caso o mancal não possua dreno apenas adicionar a quantidade recomendada.

Observações:

Executante

Data

Hora inicio

Hora fim

\_\_\_\_\_

\_\_/\_\_/\_\_

\_\_:\_\_

\_\_:\_\_

**APÊNDICE F – FOLHA DE INSTRUÇÃO DE LUBRIFICAÇÃO SEMESTRAL DO  
VENT04M3**

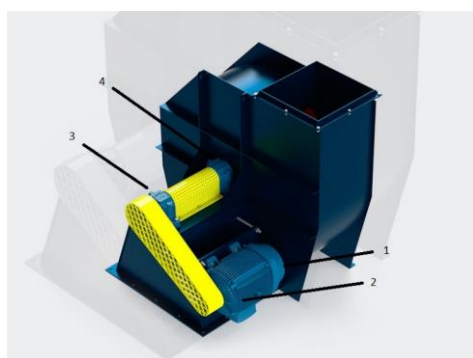
## FOLHA DE INSTRUÇÃO DE LUBRIFICAÇÃO

Ordem:  
Setor: **Caldeira**

### VENT04M3 VENTILADOR SECUNDÁRIO Lubrificação semestral

Ponto	Equipamento	Mancal	Tipo lubrificante	Quantidade	Dreno
3	Ventilador	Mancal LA	Graxa Lítio NLGI 2	7,44 g	Não
4	Ventilador	Mancal LOA	Graxa Lítio NLGI 2	7,44 g	Não

#### Ferramentas necessárias



#### EPI's Necessários



**Atenção! Não use roupas largas ou adornos que possam se prender em partes móveis.**

Procedimento: Caso o mancal possua dreno para graxa, abrir o mesmo e adicionar a quantidade exata de graxa recomendada para cada ponto, com auxílio do medidor de vazão. Coletar excesso de graxa do dreno com espátula e descartar no tambor de graxa usada. Caso o mancal não possua dreno apenas adicionar a quantidade recomendada.

Observações:

Executante

Data

Hora inicio

Hora fim

\_\_\_\_\_

\_\_/\_\_/\_\_

\_\_:\_\_

\_\_:\_\_