

A CONTRIBUIÇÃO DA LUBRIFICAÇÃO EM MÁQUINAS INDUSTRIAIS

Bruno Borba Souza

Universidade evangélica de goiás - UniEVANGÉLICA. Bruno_borbasouza@hotmail.com

Gino Bertolluci Colherinhas

Universidade evangélica de goiás - UniEVANGÉLICA. ginobertolluci@hotmail.com

Resumo

O funcionamento das máquinas em um ambiente industrial é um dos principais fatores que afetam diretamente o desempenho da empresa no mercado. O funcionamento adequado permite que fabrique produtos com alto padrão de qualidade e dentro das especificações, atendendo assim à demanda dos clientes. Nesta linha, diversos fatores afetam o funcionamento das máquinas, entre os quais destaca-se a manutenção, que tem influência direta sobre a produtividade e qualidade. Este trabalho teve como objetivo apontar os principais aspectos acerca da lubrificação de máquinas e equipamentos industriais, indicando fatores que influenciam diretamente a qualidade da lubrificação e quais as vantagens de se ter um planejamento de lubrificação adequado. A metodologia utilizada consiste em uma revisão da literatura, onde foram selecionados artigos obtidos por meio das plataformas do Google Acadêmico, Scopus e Web of Science. Os resultados obtidos indicam que os Lubrificantes são usados em uma infinidade de máquinas e aplicações onde existem partes móveis. Entre os mais populares o mais conhecido é óleo de motor de carro tradicional, mas também há lubrificantes para a usinagem de peças e manutenção de máquinas. Este trabalho por meio de uma revisão da literatura tem como objetivo descrever as principais características e finalidades dos lubrificantes utilizados na indústria como um todo. Existem dois tipos principais de lubrificantes, os de origem mineral e os de origem sintética. Estes dois tipos também podem ser misturados em certas ocasiões. Os óleos minerais são extraídos do petróleo, enquanto que para a fabricação de óleos sintéticos é necessário usar métodos químicos geralmente mais caros. Eles têm a vantagem de serem geralmente mais resistentes ao calor e mais fáceis de proteger, adicionando aditivos antioxidantes. Entre as propriedades mais importantes destaca-se a viscosidade, que atua diretamente no bom desempenho das máquinas, principalmente no setor industrial.

Palavras-Chave: Lubrificantes; Indústria; Máquinas e equipamentos.

1. Introdução

A indústria metalmeccânica, como qualquer outra, que possui maquinário ou equipamentos, necessita de conservação desde que sejam ativos, o que os ajudará a cumprir os contratos adquiridos com seus clientes e a rentabilizar sua operação, a fim de manter-se em vigor neste mercado cada vez mais competitivo. Portanto, o melhor gerenciamento possível de recursos é necessário, usando estratégias de manutenção que mantenham a disponibilidade de equipamentos em níveis aceitáveis. Entre essas tarefas de manutenção destaca-se a lubrificação dos equipamentos [1].

Essas estratégias devem estar alinhadas com os objetivos gerais da empresa, para que possam ser avaliadas e controladas no momento certo. Verifica-se que, para obter uma atenção adequada às máquinas pesadas, além de realizar os serviços de manutenção recomendados pelo fabricante, era necessário a utilização de lubrificantes que otimizassem o funcionamento de máquinas e dispositivos, aumentando ainda o tempo de vida útil do equipamento [2].

A lubrificação é uma técnica tão antiga na história humana quanto a roda e o eixo. Quando há alguns anos um túmulo do antigo Egito, um dos carros em que estavam ainda tinham os vestígios do eixo lubrificado, sendo uma substância pegajosa e um pouco gorduroso cujo ponto de fusão de 45 ° C, acreditasse que essas substâncias são gordura de carneiro ou vaca [3].

Os primeiros lubrificantes usados pelo homem nas primeiras máquinas e dispositivos que ele inventou para ajudar em seu trabalho foram água e argila e depois isca de origem animal, tudo quando a madeira era usada como material principal. Por centenas de anos foram cavados poços para coletar óleo. O uso de óleos

minerais como lubrificantes começou com a descoberta, em agosto de 1859, do poço Drake em Titusville, Pensilvânia (Estados Unidos), com o qual começou a chamada indústria petrolífera moderna. Um ano depois, a primeira fábrica de refino neste país foi construída neste mesmo local, a partir do qual o resíduo de destilação ou mazut começou a ser usado parcialmente como graxa de eixo. Em 1876, o grande químico russo D. I Mendeleev baseou a possibilidade de obter óleos lubrificantes do mazut. Os óleos de petróleo começaram a deslocar materiais de lubrificação de origem vegetal e animal, e na Rússia, nos Estados Unidos e em algumas outras fábricas de países construíram-se para a produção de petróleos do petróleo [4].

Desde o desenvolvimento da primeira lubrificação simples, a tecnologia avançou em três gerações. Cada um significa uma melhoria em relação ao anterior. Dentro da primeira geração são os óleos que têm incorporados aditivos de pressão extremamente quimicamente ativa (S, Pb, P, Zn, Cl), estes aditivos reagem quimicamente sobre as superfícies de metal que formam sais (sulfuretos, de fosforetos, cloretos), que são de as superfícies em contato, separando as superfícies metálicas. Consegue-se que 25% da superfície total entre em contato [5].

Como lubrificantes de segunda geração são considerados contendo elementos sólidos (dissulfureto de molibdênio, grafite, teflon, etc.), cujos objetivos são principais formando camadas de baixo coeficiente de atrito, separando as superfícies de contato e melhor distribuir a carga. Com esta geração, foi conseguido um aumento da superfície de contato para 40% [6]. A terceira geração é uma nova tecnologia de lubrificação que contém aditivos organometálicos que, baseados na teoria eutética, formam um estado eutético nas camadas atômicas superiores das superfícies de atrito [7].

A lubrificação é uma das tarefas mais importantes na conservação de máquinas. Está presente em absolutamente todos os programas de manutenção preventiva de qualquer indústria ou empresa de transporte. No entanto, essa importante atividade é atribuída a pessoal inexperiente com pouco ou nenhum treinamento [8]. É comum que a lubrificação seja uma tarefa confiada a um aprendiz ou a pessoa com a menor habilidade na organização de manutenção. Paradoxalmente, quando esse lubrificador adquire conhecimento e realiza melhor seu trabalho, é "promovido" a posições de mecânico reparador ou algum outro considerado de maior importância [9].

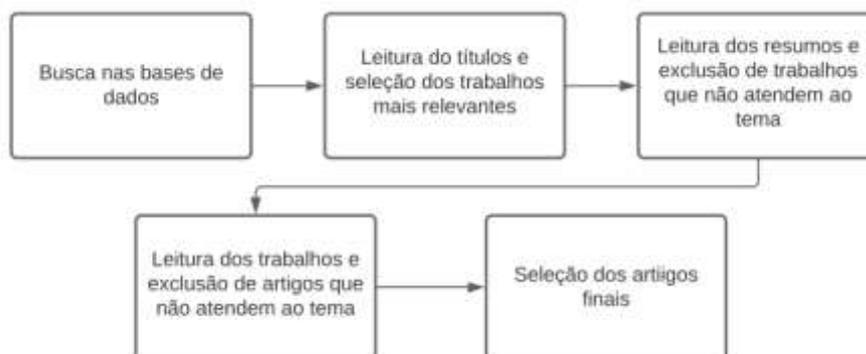
Para que a lubrificação das máquinas ocorra de modo controlado, é necessário criar procedimentos escritos, usando modelos de gerenciamento de qualidade para que eles possam entrar no círculo de melhoria e alto desempenho da máquina. E, dependendo da complexidade dos processos e da condição econômica de cada empresa, a escolha do lubrificante ideal contribui para a maior obtenção de lucro, enquanto a escolha do lubrificante errado leva a prejuízos econômicos [10]. Nesse contexto, como a lubrificação pode auxiliar a indústria a otimizar seus processos de produção?

O objetivo deste trabalho é apresentar as principais características e dos lubrificantes e sua utilização em máquinas e equipamentos. Estabeleceram-se com objetivos específicos descrever as principais características e diferenças entre lubrificantes e graxas; mostrar como se dá a utilização destas substâncias no maquinário e por fim abordar as vantagens e desvantagens da lubrificação.

2. Metodologia

Este trabalho consiste em uma revisão da literatura onde buscou-se informações em periódicos e artigos científicos pesquisados por meio da base de dados do Google Acadêmicos, Scopus, Web of Science. Utilizou-se nas buscas os termos "lubrificação industrial"; "lubrificação + máquinas + equipamentos"; "*lubrication + machines + equipment*". Buscou-se trabalhos a partir do ano 2010 a fim de apresentar as informações mais recentes acerca deste tema. A seleção de artigos se deu a partir da leitura dos títulos dos trabalhos, de modo que foram excluindo trabalhos que contivessem os termos buscados as palavras chaves. Em seguida foram lidos os resumos, e selecionados os trabalhos mais relevantes. Um último passo consiste na leitura do trabalho, onde foram selecionados os trabalhos finais. A Figura 1 ilustra a metodologia utilizada.

Figura 1: Metodologia de pesquisa



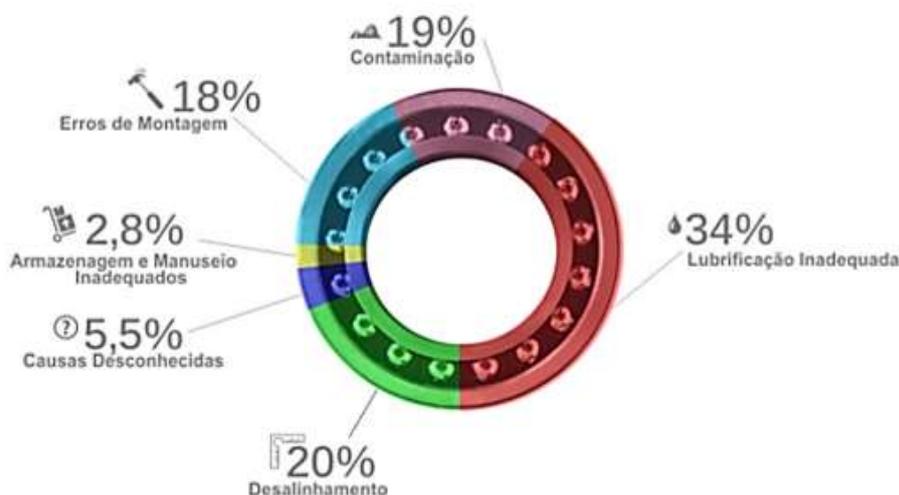
3. Resultados e discussão

3.1. Influência da lubrificação em máquinas

A nível industrial, a lubrificação é uma das questões mais importantes para garantir a fiabilidade e disponibilidade dos diferentes equipamentos presentes, tais como elementos com transmissões mecânicas, motores, bombas, compressores. Todos estes sistemas requerem lubrificação e são susceptíveis a tribologia falha dada pelos elementos de desgaste da maquinaria. No campo da lubrificação, especialmente voltado para manutenção, é importante citar os fundamentos da lubrificação e a teoria da lubrificação dinâmica de Reynolds, que se baseia no fato de que as superfícies sólidas são perfeitamente rígidas e que a viscosidade do óleo permanece constante, mesmo quando a pressão varia. O óleo, pelo efeito de sua viscosidade e devido à sua velocidade, gera uma pressão que separa as superfícies de deslizamento com um espaçamento cuja espessura está entre 1 ou 2 microns. Esse comportamento é definido na curva de Stribeck [11].

A vida útil dos elementos mecânicos é, em grande parte, determinada pela qualidade e eficiência do sistema de lubrificação. Pois, sem um bom comportamento em termos de atrito, desgaste e lubrificação, a máquina está fadada, mais cedo ou mais tarde, a falhar [12]. Nesta linha, a Figura 2 traz um exemplo das principais falhas em rolamentos, um elemento de máquina presente em diversos tipos de equipamentos e vital para seus respectivos funcionamentos.

Figura 2: Fatores que levam às falhas em rolamentos



Fonte: [1]

Como nota-se na Figura 2, a lubrificação é a principal razão que pode levar a falha de rolamentos. Desta forma, esta probabilidade elevada de falha devido à falta de lubrificação aponta a necessidade desta área para o funcionamento do maquinário indústria de forma geral [1].

A lubrificação hidrodinâmica é geralmente caracterizada por superfícies que são conformes; isto é, as superfícies se ajustam confortavelmente umas às outras com um alto grau de conformidade geométrica, de modo que a carga é transportada por uma área relativamente grande. Além disso, a superfície de carga permanece essencialmente constante enquanto a carga é aumentada. Essas superfícies convergentes, juntamente com o fato de que há movimento relativo e um fluido viscoso separando as superfícies, permitem que uma pressão positiva seja desenvolvida e exiba uma capacidade de suportar uma carga normal aplicada. A magnitude da pressão desenvolvida não é geralmente grande o suficiente para causar deformação elástica significativa das superfícies. A espessura mínima do filme em um rolamento lubrificado hidrodinamicamente é uma função da carga aplicada, velocidade, viscosidade do lubrificante e geometria. A relação entre a espessura mínima do filme h_{min} e a velocidade u e a carga normal aplicada F é dada pela Equação 1 [13].

$$(h_{min})HL \propto \frac{u}{F^{1/2}} \quad (1)$$

Onde:

h_{min} = Espessura mínima do filme;

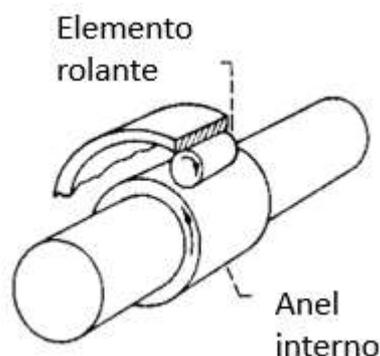
HL = Lubrificação Hidrodinâmica;

F = Força aplicada;

U = velocidade média da superfície na direção do movimento, m / s

Muitos elementos de máquina têm superfícies de contato que não se adaptam muito bem, como mostrado na Figura 3 para um rolamento de elemento rolante. A carga total da carga deve então ser carregada por uma área de contato muito pequena. Em geral, as áreas de contato entre as superfícies não conformes aumentam consideravelmente com o aumento da carga, mas ainda são menores do que as áreas de contato entre as superfícies conformes. Alguns exemplos de superfícies não-conformes são dentes de engrenagem, cames e seguidores, e rolamentos de corpos rolantes (como mostrado na Figura 3). O modo de lubrificação normalmente encontrado nesses contatos não conformes é a lubrificação elasto-hidrodinâmica. Os requisitos necessários para a lubrificação hidrodinâmica (superfícies convergentes, movimento relativo e fluido viscoso) também são exigidos para a lubrificação elasto-hidrodinâmica [14].

Figura 3: Superfícies não conformes.



Fonte: Adaptado de Khonsari e Booser [14]

A carga por unidade de área em rolamentos conformados é relativamente baixa, normalmente em média apenas $1 \text{ MN} / \text{m}^2$ e raramente acima de $7 \text{ MN} / \text{m}^2$. Em contraste, a carga por unidade de área em contatos não conformes geralmente excederá $700 \text{ MN} / \text{m}^2$, mesmo com cargas aplicadas menores. Essas altas pressões resultam na deformação elástica dos materiais do rolamento, de modo que áreas de contato elípticas são formadas para a geração de filme de óleo e suporte de carga. O significado das altas pressões de contato é que elas resultam em um aumento considerável na viscosidade do fluido. Visto que a viscosidade é uma medida da resistência de um fluido ao fluxo, este aumento aumenta muito a capacidade do lubrificante de suportar a carga sem ser espremido para fora da zona de contato [14].

As altas pressões de contato em superfícies não conformes, portanto, resultam em uma deformação elástica das superfícies e grandes aumentos na viscosidade do fluido. A espessura mínima do filme é uma função dos parâmetros encontrados para a lubrificação hidrodinâmica com a adição de um parâmetro de módulo de elasticidade efetivo para os materiais do rolamento e um coeficiente de pressão-viscosidade para o lubrificante [15].

3.2. Propriedades dos óleos lubrificantes para máquinas

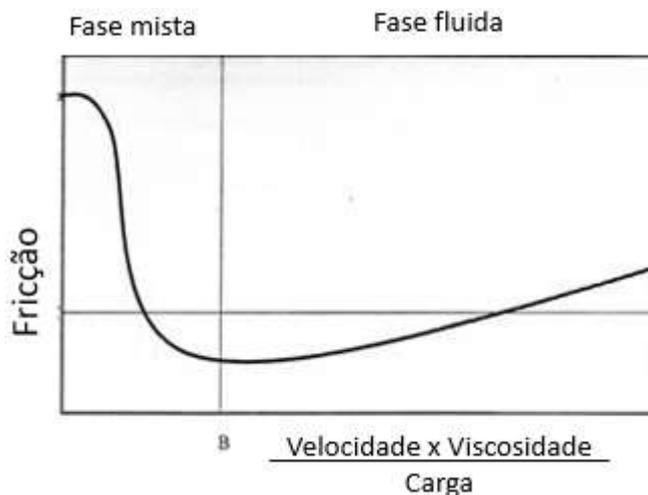
As propriedades dos óleos são resumidas em quatro grandes grupos. Essas propriedades são estabelecidas para controlar a qualidade dos lubrificantes e determinar seu comportamento em uma determinada aplicação. A consideração adequada de cada uma dessas propriedades permite que o lubrificante seja devidamente selecionado, o que permite a eficiente proteção e lubrificação dos diferentes pares de atrito dos sistemas tribológicos. Algumas propriedades são de extrema importância, entre as quais destacam-se as listadas a seguir [16]:

- **Peso específico:** É definido como a relação entre o peso e o volume de um dado óleo a uma determinada temperatura;
- **Gravidade específica relativa (gravidade específica):** É definida como a razão entre a gravidade específica do óleo e a gravidade específica da água, a uma dada temperatura, geralmente $15,6^\circ\text{C}$ (60°F);
- **Densidade:** É definido como a relação entre a massa e o volume de um óleo a uma determinada temperatura, geralmente 20°C ;
- **Viscosidade dinâmica.** É uma das propriedades mais importantes de qualquer óleo, porque, na maioria dos casos, é o que determina a capacidade do lubrificante de formar um filme de óleo, o que garante a separação das superfícies dos corpos em contato e com movimento relativo, diminuindo assim o atrito e desgaste. Viscosidade pode ser definida como a resistência ao fluxo, então isso pode ser considerado como uma medida do seu atrito interno. Na medida em que esta fricção interna é menor, o óleo fluirá mais facilmente, indicando que a viscosidade será menor.

Do ponto de vista técnico, a viscosidade é definida como "a força necessária para mover uma superfície plana de um centímetro quadrado sobre outra superfície plana, à velocidade de $1 \text{ cm} / \text{s}$, quando as duas superfícies são separadas por uma camada de líquido com um centímetro de espessura". Viscosidade, assim definida, é conhecida como viscosidade dinâmica ou absoluta [17].

A viscosidade de todo o óleo é reduzida quando aquecida, o que deve ser considerado para equipamentos operando em temperaturas diferentes das projetadas, onde a seleção de um lubrificante de maior ou menor viscosidade deve ser contemplada, conforme o caso. Portanto, um lubrificante de maior viscosidade será necessário para altas temperaturas e vice-versa, como mostra a Figura 4 [18].

Figura 4: Relação de fricção com velocidade, carga e viscosidade:



Fonte: Adaptado de Chowdhury [18]

Um aumento na viscosidade ou velocidade nos move para a direita na curva, enquanto um aumento na carga para a esquerda. À medida que se move para a direita na curva, a espessura da cunha lubrificante aumenta, o que pode ser alcançado aumentando a velocidade, aumentando a viscosidade ou diminuindo a carga [18].

Na porção da curva entre o ponto A e a intersecção B, é apresentada uma película lubrificante mista, que indica o contato entre as superfícies deslizantes, pois a velocidade ou viscosidade é muito baixa ou então a carga é muito alta. Isso é refletido pelo alto valor do atrito [19].

À direita da linha B, obtém-se uma cunha lubrificante que efetivamente separa as superfícies que estão em relativo movimento, mostrando uma tendência de aumento de atrito, neste caso fluido, como consequência do aumento de viscosidade e / ou velocidade ou uma diminuição na carga. Conforme move-se para a direita na curva, se tem uma cunha de lubrificação excessiva que resulta em atrito de fluido. O ponto ótimo de operação estaria localizado na área próxima à intersecção da curva com a linha B, onde não há atrito sólido e o atrito do fluido é mínimo [19].

No entanto, é conveniente controlar essas variáveis (velocidade, viscosidade e carga) para operar em um ponto à direita do ponto mínimo para manter uma margem de segurança que garanta um filme hidrodinâmico com flutuações na velocidade, viscosidade (temperatura) e carga [20].

3.3. Fatores que afetam a lubrificação

A quantidade principal de óleos de petróleo é para uso como lubrificantes profundos estudos contínuos para mineral e lubrificantes sintéticos ao longo dos últimos anos têm mostrado que certa maneira eles causam um efeito prejudicial tanto sobre o ambiente e sobre o próprio homem. É por isso que a busca da solução para estes problemas, uma nova geração de lubrificantes surge dentro do mundo da lubrificação, reconhecido como especial e destinam-se essencialmente para a lubrificação de máquinas e equipamentos das industriais mecânicas [21].

Nesta linha, as diferentes funções dos fluidos, principalmente para lubrificação ou resfriamento, devem ser levadas em consideração. Fluidos à base de água são refrigerantes muito eficazes, mas os óleos são muito mais eficazes como lubrificantes. Embora na maioria dos casos seja desejável que a viscosidade de um lubrificante permaneça constante, ele é afetado por condições ambientais, como já dito. Para evitar isso, aditivos são usados, chamados de melhoradores do índice de viscosidade [22].

Efeito da temperatura: Na termodinâmica, a temperatura e a quantidade de movimento das moléculas são consideradas equivalentes. Quando a temperatura de qualquer substância aumenta (especialmente em líquidos e gases), suas moléculas se tornam mais móveis e sua coesão diminui, assim como a ação das forças intermoleculares [23].

Portanto, a viscosidade varia com a temperatura, aumentando quando a temperatura diminui e diminuindo quando aumenta. Efeito da velocidade de corte: Nem todos os fluidos respondem igual à variação na velocidade de corte. Devido à sua natureza, a maioria dos fluidos não varia sua viscosidade ao variar a velocidade de corte. Estes são os chamados fluidos newtonianos. Nestes, o grau de deslocamento das camadas líquidas é proporcional à força aplicada. Um exemplo disso são óleos monograduados [24].

Outros fatores também interferem nas propriedades dos fluidos lubrificantes, entre eles os fatores químicos que são de suma importância, bem como o uso de aditivos [25].

3.4. Aditivos para lubrificantes

Os aditivos são incorporados nos óleos em proporções muito diversas, de partes por milhão a 20% em peso de alguns óleos de motor. Cada aditivo tem uma ou mais missões para serem classificadas como uni ou multifuncionais. Fundamentalmente, os aditivos perseguem os seguintes objetivos: Limite a deterioração do lubrificante devido a fenômenos químicos causados pelo seu ambiente ou atividade; proteger a superfície lubrificada contra a agressão de certos contaminantes; melhorar as propriedades físico-químicas do lubrificante ou forneça novas propriedades [26].

Os aditivos devem ter as seguintes características: Boa solubilidade com óleos minerais básicos a altas e baixas temperaturas; estabilidade durante o armazenamento e ausência de influências antagonicas nas propriedades do óleo não relacionadas à ação funcional do aditivo adicionado [24].

Diversos tipos de aditivos podem ser encontrados no mercado, contudo, o detergente (dispersante) está entre um dos que mais se destaca. Durante a operação de motores de combustão interna, turbinas a gás e outras máquinas, produtos de oxidação ou combustão podem ser produzidos, os quais quando depositados nas partes mecânicas produzem efeitos indesejáveis. A função destes aditivos é mantida num estado de suspensão de sólidos e semi-sólido produzido em óleo ou que alcançá-lo prevenir estes são depositados em diferentes partes da máquina, em adição às partículas de pequena fracionados de dispersão ao longo a massa do óleo. Esta afinidade do aditivo com os indesejáveis produtos insolúveis em óleo é explicada pela atração elétrica, já que ambos são carregados com uma e outra carga elétrica [24].

Além dos detergentes, aponta-se outra classe importante, sendo estes os antioxidantes Anticorrosivos. Estes tipos de aditivos são geralmente estudados em conjunto porque têm propriedades bifuncionais, o que significa que o mesmo aditivo pode influenciar grandemente ambas as propriedades. Eles podem atuar de duas maneiras, parar as reações que levam à oxidação durante o período de indução, ou destruir os peróxidos formados e que formam uma película de proteção sobre as superfícies metálicas que inibem o efeito corrosivo. Estes aditivos são muito importantes porque, em geral, a oxidação é o fator que tem a maior influência sobre a alteração das propriedades de petróleo, aumentando a sua viscosidade e a formação de produtos solúveis e insolúveis [27].

Em suma, os aditivos são importantes para potencializar os efeitos do lubrificante utilizado, reduzindo assim o gasto no volume de lubrificante utilizado, ou melhorando suas propriedades, entre outras características que justifiquem seu respectivo uso.

3.5. A importância da lubrificação no desempenho industrial

Para um negócio correr bem, tudo tem que correr bem. A tecnologia e a pesquisa em inovação têm conseguido aprimorar os diversos processos industriais, procurando consumir o mínimo de energia possível e produzir mais com menos. Para isso, fica evidente que o bom funcionamento das máquinas e seus motores, além do prolongamento de sua vida útil, são fatores que afetarão o sucesso do setor. E também aos benefícios que pode alcançar a médio e longo prazo. Para que tudo isso seja possível, é fundamental que haja lubrificação adequada em cada parte do processo, utilizando os melhores produtos para cada elemento [28].

A lubrificação há muito tempo está no centro dos estudos para encontrar soluções para os diferentes problemas da indústria. Isso ocorre porque os óleos e graxas presentes nos processos cumprem várias funções principais, tais como [29]:

- Reduzem o atrito e o atrito entre as peças, por exemplo, em um motor.
- São importantes na estratégia de manutenção de máquinas.
- Uma boa lubrificação ajuda a reduzir as perdas de energia.
- Atuam como refrigerantes, pois absorvem o calor das peças.
- Eles evitam a deterioração prematura das máquinas tanto quanto possível e podem prevenir erros.
- Ajuda a economizar energia e melhorar a produtividade.
- Eles favorecem a economia no consumo de combustível e no próprio lubrificante, se forem do tipo e qualidade adequados

Na indústria existem muitos componentes como bombas, mancais, motores e um grande etc., que devem ser devidamente lubrificados para o correto uso e desenvolvimento das atividades a que se destinam. Cada um dos elementos mencionados e todos os outros existentes têm necessidades específicas de lubrificação. É por isso que o uso de Graxas e Óleos Lubrificantes deve ser utilizado [29].

4. Conclusão

O lubrificante é uma substância introduzida entre duas superfícies móveis que reduz o atrito entre elas, facilitando o movimento e reduzindo o desgaste. O lubrificante atende diversas funções dentro de uma máquina ou motor, dentre elas se dissolve e transporta para o filtro as partículas de combustão e desgaste, distribui a temperatura da parte inferior para a parte superior atuando como refrigerante, evitando a corrosão pela ferrugem as partes do motor ou máquina impedem a condensação de vapor de água e vedações agindo como um conjunto de certos componentes.

Um lubrificante consiste em uma base, que pode ser mineral ou sintética e um conjunto de aditivos que lhe conferem suas propriedades e determinam suas características. Quanto melhor a base, menos aditivos serão necessários, no entanto, é necessária uma perfeita comunhão entre esses aditivos e a base, porque sem eles a base teria condições mínimas de lubrificação.

Diferentes tipos de lubrificantes são usados para diferentes propósitos ou diferentes máquinas. Os mesmos lubrificantes não devem ser usados em máquinas diferentes. Existem vários tipos de lubrificantes disponíveis no mercado e são classificados por suas propriedades e tarefas específicas, mas sua principal função é ajudar a manter e manter máquinas ou motores funcionando sem problemas o tempo todo.

5. Referências

- [1] DE ALMEIDA, P. **Manutenção Mecânica Industrial–Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada**. Saraiva Educação SA, 2018.
- [2] MATOS, P. R. R. **Utilização de óleos vegetais como bases lubrificantes**. 2011. 100 f. Dissertação (Mestrado em Química)-Universidade de Brasília, Instituto de Química, Programa de Pós-Graduação em Química, 2011.
- [3] GUEDES, A. E. D. S. **Síntese e caracterização de nanopartículas superparamagnéticas para aditivação de lubrificantes industriais**. 2017. 163f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.
- [4] DE ALMEIDA, P. S. **Lubrificação Industrial-Tipos e métodos de lubrificação**. Saraiva Educação AS, 2014
- [5] JULIÃO, J. C. Estudo comparativo de óleos lubrificantes básicos minerais. **Revista da Graduação**, v. 4, n. 2, 2011.
- [6] BELINELLI, M. M. **Desenvolvimento de método para seleção de política de lubrificação de máquinas centrada em confiabilidade**: aplicação na indústria alimentícia. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica de Projeto de Fabricação) - Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2015.

- [7] BELINELLI, M. **Desenvolvimento de um sistema informatizado aplicado à gestão de planos preventivos de lubrificação industrial**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.
- [8] JUSTE, K. R. C. **Tribological Characterization of Solid Lubrication**. 2012. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.
- [9] CORREIA, A. E.; DAVIM, J. P. Efeito da lubrificação mínima (mql-minimal quantity of lubricant) na maquinação de uma liga de alumínio. **Revista da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões ISSN**, v. 122, p. 922, 2006.
- [10] WATANABE, F. Y. Lubrificação ativa aplicada a mancais híbridos radiais. 2003. 169p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 2003.
- [11] SZERI, A. Z. **Fluid film lubrication**. Cambridge university press, 2010.
- [12] DOWSON, D.; HIGGINSON, G. R. **Elasto-hydrodynamic lubrication: international series on materials science and technology**. Elsevier, 2014.
- [13] KLEIN, J. Hydration lubrication. **Friction**, v. 1, n. 1, p. 1-23, 2013.
- [14] KHONSARI, M. M.; BOOSER, E. R. **Applied tribology: bearing design and lubrication**. John Wiley & Sons, 2017.
- [15] WANG, J.; WEN, H.; DESAI, D. Lubrication in tablet formulations. **European journal of pharmaceuticals and biopharmaceutics**, v. 75, n. 1, p. 1-15, 2010.
- [16] DAI, W.. Roles of nanoparticles in oil lubrication. **Tribology International**, v. 102, p. 88-98, 2016.
- [17] DOLAN, G. K. Friction, lubrication, and in situ mechanics of poroelastic cellulose hydrogels. **Soft Matter**, v. 13, n. 19, p. 3592-3601, 2017.
- [18] CHOWDHURY, M. A. **Friction, Lubrication and Wear**. BoD–Books on Demand, 2019.
- [19] KHONSARI, M. M.; BOOSER, E. R. **Applied tribology: bearing design and lubrication**. John Wiley & Sons, 2017.
- [20] KRAGELSKY, I. V.; ALISIN, V. V. (Ed.). **Friction wear lubrication: tribology handbook**. Elsevier, 2016.
- [21] STOLTE, S. Ionic liquids as lubricants or lubrication additives: An ecotoxicity and biodegradability assessment. **Chemosphere**, v. 89, n. 9, p. 1135-1141, 2012.
- [22] SHAHNAZAR, S.; BAGHERI, S.; ABD HAMID, S. B. Enhancing lubricant properties by nanoparticle additives. **International journal of hydrogen energy**, v. 41, n. 4, p. 3153-3170, 2016.
- [23] MINAMI, I. Molecular science of lubricant additives. **Applied sciences**, v. 7, n. 5, p. 445, 2017.
- [24] ZHOU, Y.; QU, J. Ionic liquids as lubricant additives: a review. **ACS applied materials & interfaces**, v. 9, n. 4, p. 3209-3222, 2017.
- [25] GUPTA, B. Energy efficient reduced graphene oxide additives: Mechanism of effective lubrication and antiwear properties. **Scientific reports**, v. 6, n. 1, p. 1-10, 2016.
- [26] XIE, H. Lubrication performance of MoS₂ and SiO₂ nanoparticles as lubricant additives in magnesium alloy-steel contacts. **Tribology International**, v. 93, p. 63-70, 2016.
- [27] ZHANG, Y.; XU, X. Machine learning decomposition onset temperature of lubricant additives. **Journal of Materials Engineering and Performance**, v. 29, n. 10, p. 6605-6616, 2020.
- [28] MANG, T. **Encyclopedia of lubricants and lubrication**. Berlin: Springer, 2014.
- [29] DOWSON, D.; HIGGINSON, G. R. **Elasto-hydrodynamic lubrication: international series on materials science and technology**. Elsevier, 2014.