



Análise de Desgaste e Desempenho de Eixo Motriz em Função da Lubrificação

André Luiz Vieira Fusco Filho
andre_fusco_dede@hotmail.com
AEDB

Alisson Vieira de Souza
alissonsouza329@gmail.com
AEDB

Farney Coutinho Moreira
farney.coutinho@aedb.br
AEDB

Resumo: Este artigo analisa a importância da lubrificação em contatos metálicos em um sistema tribológico mancal deslizando. Para tal foi construído um dispositivo de testes visando avaliar a superfície da bucha após ensaios no sistema mecânico em questão. Realizou-se a construção de um equipamento com um eixo girante acoplado a um mancal de munhão. Por conseguinte, foi possível apurar a importância e necessidade de uma lubrificação adequada para uma maior vida útil dos equipamentos e também para redução do desgaste e de custos no setor industrial.

Palavras Chave: Lubrificação - Tribologia - Mancais Deslizantes - Atrito -



1 INTRODUÇÃO

No início dos anos 1960 houve um aumento acentuado no relato de falhas das instalações e das máquinas devido ao desgaste e causas associadas, algumas causando pesadas perdas financeiras. Esta tendência foi reconhecida por especialistas interessados nos temas de atrito, desgaste e lubrificação. Inúmeros trabalhos abordando várias facetas destes temas foram apresentados desde então.

A palavra tribologia, definida na década de 1960 como "a ciência e tecnologia da interação de superfícies em movimento relativo e assuntos e práticas relacionados", vem do grego τριβή 'tribo' significando "esfregar, atritar, friccionar", e λόγος 'logos' significando 'estudo'. Na Inglaterra, a aceleração recente no campo da tribologia se deve muito ao relatório, publicado em 1966, pelo Departamento de Educação e Ciência, Lubrication (Tribology, Education and Research) (STOETERAU, 2014; BHUSHAN, 2013). Esse relatório, chamado de relatório Jost, sugeriu que esse país poderia economizar 515 milhões de libras por ano com a aplicação de melhores práticas tribológicas. Essa soma enorme resulta das parcelas de economia mostradas na Figura 1, devendo-se lembrar que tais custos incluem a perda de produção consequentes das falhas tribológicas na indústria (STOETERAU, 2014).

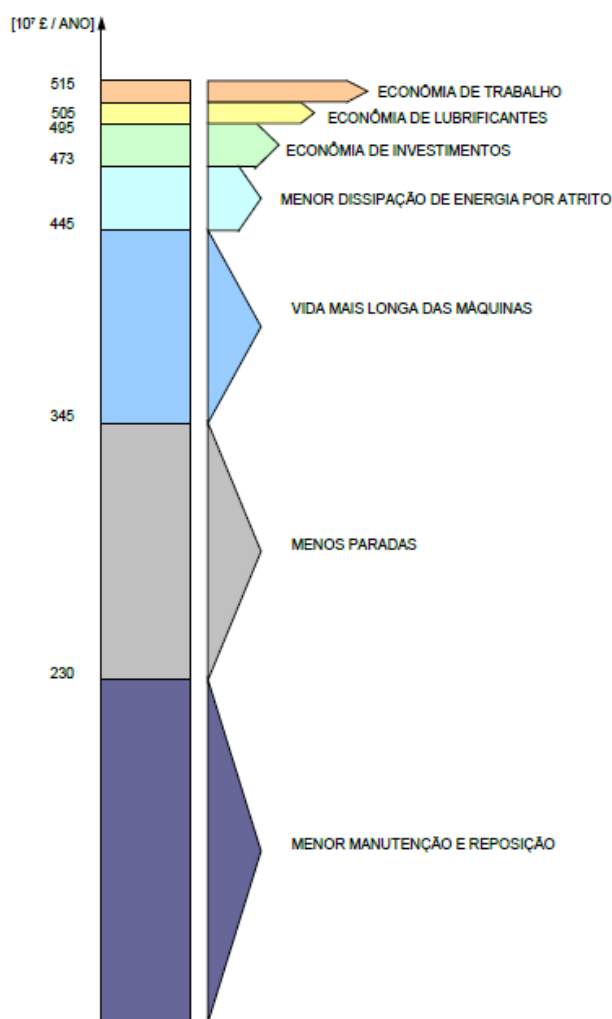


Figura 1 – Economias apresentadas pelo relatório Josh (Stoeterau, 2014)



A economia obtida em casos individuais devido a aplicação dos conhecimentos tribológicos é muito pequena. Porém, devido à enorme quantidade de contatos tribológicos nas máquinas, uma pequena economia em cada um deles permite alcançar somas significativas. É sabido que cerca de metade da energia produzida no mundo é utilizada para vencer o atrito, o que permite deduzir que melhores projetos tribológicos têm significado considerável no futuro da própria humanidade.

O estudo de máquinas rotativas ocupa uma posição destacada no contexto de máquinas e estruturas em vista da significativa quantidade de fenômenos típicos na operação desses equipamentos.

1.1 Situação Problema – Desgaste de Eixo e Bucha

A existência de um componente rotativo apoiado em mancais e transmitindo potência cria uma família de problemas que são encontrados nas mais diversas máquinas, tais como compressores, turbinas, bombas, motores, turbinas de grande e pequeno porte, entre outros. Estes equipamentos muitas vezes são parte integrante de plantas de produção ou centrais de geração de energia, sendo que uma parada imprevista pode acarretar grandes perdas financeiras, perdas materiais e perdas de vidas. Por esse motivo, fica evidente a necessidade de amplo entendimento dos fenômenos ligados às máquinas rotativas, mais significativamente, em relação aos componentes de interface entre componentes fixos e móveis, como se configuram os mancais hidrodinâmicos (Castro, 2007).

1.2 Justificativa

Desde o início a humanidade vem buscando jeitos de superar o atrito, já que não é possível eliminar por completo o mesmo. E por conta da natureza essencial da lubrificação em sistemas mecânicos rotativos, entender seus mecanismos, funções, conceitos e modelos se faz essencial. Em vista disso, estudar e entender os benefícios e, por consequência, a importância dos estudos sobre o desgaste que acontece depois de testes experimentais em mancais hidrodinâmicos é extremamente importante.

1.3 Objetivo

Com a finalidade de analisar o desgaste em diferentes condições de funcionamento, teve-se a necessidade de projetar e fabricar um sistema tribológico no qual alguns parâmetros variassem. Como constantes foram escolhidos o material do eixo e da bucha e a força aplicada no sistema. Serão realizados ensaios para analisar o desgaste superficial ocorrido na bucha em detrimento da variação de dois parâmetros, velocidade de rotação e tipo de lubrificação.



2 METODOLOGIA DE PESQUISA

É uma pesquisa científica de natureza aplicada, o objetivo é explicativo, com conceito do princípio de lubrificação; os procedimentos são de pesquisa experimental.

Uma pesquisa experimental começa com a escolha assertiva do objeto de estudo, seleção de variáveis que possam influenciá-lo e a definição das formas de controle e de observação para o entendimento dos efeitos de tais variáveis sobre o fenômeno a ser estudado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Histórico

O atrito é uma dificuldade existente desde o começo da história do ser humano e influenciou o desenvolvimento da civilização de muitas formas. Uma das primeiras criações que desafiou esse fenômeno foi a roda, datada de aproximadamente 4.000 A.C. O registro mais antigo que se tem do uso de rodas em algum tipo de veículo origina de tábuas da Suméria, na antiga Babilônia, e são datadas de 3.500 A.C. Nesse período, de acordo com a abertura de tumbas do antigo Egito, os lubrificantes também foram empregados. Foi encontrada uma carruagem que possuía lubrificante animal, provavelmente sebo de carneiro ou de boi nos mancais das rodas. Tem-se conhecimento que durante o período paleolítico foram usadas brocas, apoiadas em mancais geralmente feitos de chifres ou ossos e serviam ao propósito de produzir fogo e fazer furos. É viável supor que o progresso de desenvolvimento dos primeiros mancais se deu a partir do momento em que o ser humano começou a empregar o movimento rotativo. Em 2.000 A.C., as rodas de oleiro faziam uso de mancais de pedra polida.

3.2 Tribologia

A Tribologia é a ciência focada no estudo do atrito, lubrificação, desgaste, e interação entre superfícies com movimento relativo. Esse é um campo relativamente novo, sendo que a maior parte dos conhecimentos atuais foram desenvolvidos depois da Segunda Guerra Mundial.

A tribologia possui diferentes interesses nas muitas áreas do conhecimento tecnológico, tendo várias disciplinas científicas se ocupando de problemas tribológicos, tais como:

- A física, com estudos de novos materiais e processos de revestimentos, e estudo do atrito no nível atômico / quântico;
- A ciência dos materiais, com o desenvolvimento de materiais tribológicos especiais;
- A fabricação, com estudo da qualidade de superficial proveniente da fabricação e suas relações com a tribologia;
- O projeto, com a aplicação de superfícies tribológicas;
- A automação, com o estudo da influência do atrito em sistemas de controle; etc.

Os principais objetos de estudo da Tribologia são as características de filmes de fluido entre superfícies com movimento relativo e as consequências de possíveis falhas do filme de fluido ou ausência deste, causadoras de desgaste e atrito excessivos.



3.3 Desgaste

O desgaste é uma manifestação de superfície que ocorre comumente pela deformação plástica e remoção de material dessa superfície ou de uma região próxima a ela (Metals Handbook Volume 11, 2002). Nos metais, esse processo pode ocorrer devido ao contato com outros metais, sólidos não metálicos, líquidos em movimento, ou ainda partículas sólidas ou gotículas de líquidos transportadas em um fluxo gasoso. O desgaste implica em um dano que ocorre na superfície em uma ou mais substâncias em contato com ela, e pode ser definida como a perda progressiva de material da superfície considerada (ZAMPIERI, 1983).

É possível dizer que o desgaste é a maior causa de perda de desempenho mecânico e a fricção é a maior causa de desgaste e dissipação de energia. Portanto, qualquer redução de desgaste e atrito em máquinas pode resultar em grande economia de energia, redução da frequência de manutenção, de troca de peças, de paradas de máquinas e de novos investimentos, além do incremento na vida útil dos equipamentos. A lubrificação é o melhor jeito de se reduzir o desgaste. Por esta razão, o estudo do atrito e das condições de lubrificação durante a operação de máquinas é de suma importância em problemas de durabilidade e confiabilidade de máquinas.

O desgaste é um processo complexo, resultado de diferentes processos que podem ocorrer sozinhos ou em conjunto. Existem quatro tipos gerais de desgaste: por abrasão; por adesão; por contato metálico (fadiga superficial) e por corrosão.

3.4 Atrito

A palavra atrito vem do latim *attritus*, e refere-se à resistência que os corpos oferecem quando se movem uns sobre os outros. A força de atrito é aquela que resulta do atrito entre os corpos, isto é, que se opõe ao movimento de uma superfície sobre outra (de sentido contrário à componente da força que produz o deslocamento/movimento).

A força de atrito é causada pelas irregularidades entre as superfícies em contato. Ainda que sejam microscópicas, essas irregularidades dão origem a um ângulo de fricção. É possível estabelecer uma distinção entre o atrito estático e o atrito dinâmico tomando por base a situação mais elementar de movimento: dois corpos deslizando um sobre o outro. Se colocarmos um corpo sólido sobre uma superfície, fixarmos de forma rígida uma escala de mola, e aplicarmos uma força F , podemos obter um registro da variação da força com o movimento.

3.5 Lubrificação

A lubrificação é um meio de atenuar o atrito entre duas superfícies. A inserção do lubrificante em um sistema leva a um menor desgaste dos materiais envolvidos e também ajuda na dissipação do calor gerado devido ao movimento.

Segundo Shigley (1984) podemos identificar cinco modelos de lubrificação: hidrodinâmica, hidrostática, elasto-hidrodinâmica, limite e de filme sólido.

O modelo de lubrificação de mancais utilizado neste trabalho será o de Lubrificação Hidrodinâmica. Para que esta lubrificação ocorra, deve-se manter o filme de óleo com uma



espessura mínima que depende da velocidade relativa entre as superfícies, da carga aplicada sobre o mancal, da viscosidade absoluta do lubrificante e da geometria das peças. Essa espessura mínima geralmente excede 1 μm . Considerando-se o par eixo-mancal de deslizamento, inicialmente em repouso, observa-se que o eixo horizontal, ou parte deste, encontra-se em contato com o mancal por efeito da gravidade. Conforme este eixo inicia a rotação, o contato entre as superfícies diminui.

O eixo funciona, então, como uma bomba de óleo, causando um fluxo de fluido lubrificante que, após certa velocidade relativa, terá a espessura mínima necessária para que o contato de metal contra metal no mancal deixe de acontecer.

Assim, pode-se dizer que em um mancal lubrificado hidrodinamicamente ocorre contato entre as superfícies somente quando o eixo está estacionário ou girando com velocidade ainda não suficiente para a formação da espessura mínima de filme (VIEIRA, 2009).

3.6 Mancais de Deslizamento

Por definição, um mancal é constituído de duas partes com movimento relativo. Quando aplicada a uma máquina ou estrutura, a palavra mancal refere-se a superfícies em contato na qual uma carga é transmitida (JUVINALL, 2013). Em muitas máquinas onde um eixo sofre forças o mancal pode ser visto servindo de apoio e de guia para este eixo. Para que se tenha um ganho na vida útil de um mancal de deslizamento é fundamental o uso de lubrificação adequada para cada tipo de aplicação, e também a escolha do lubrificante e a frequência de lubrificação. Normalmente a base do mancal é de ferro fundido ou também pode ser de aço, dependendo de vários fatores técnicos do projeto do mancal.

Conforme mostrado nas figuras 2 e 3, duas superfícies deslizam uma sobre a outra e suportam forças e maneira a evitar que ocorra o contato do eixo com o mancal de deslizamento. O filme de fluido lubrificante que garante a Lubrificação Hidrodinâmica e que está presente entre as partes que se movimentam, possui um papel crucial em aumentar a vida útil das partes em movimento e do mancal, sendo capaz de absorver parte da energia gerada (VIEIRA, 2009).

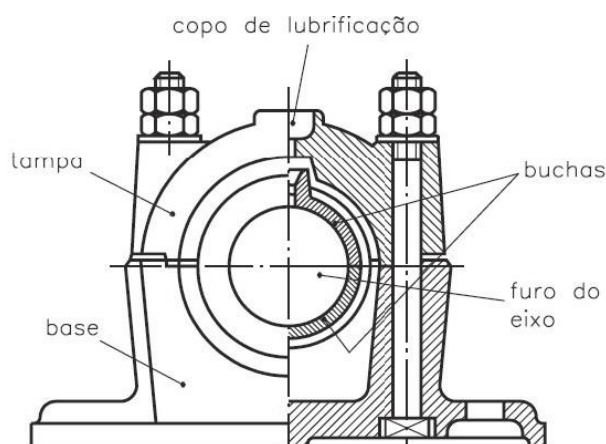


Figura 2 – Desenho de um mancal de munhão com anel lubrificador (Fonte: Internet)

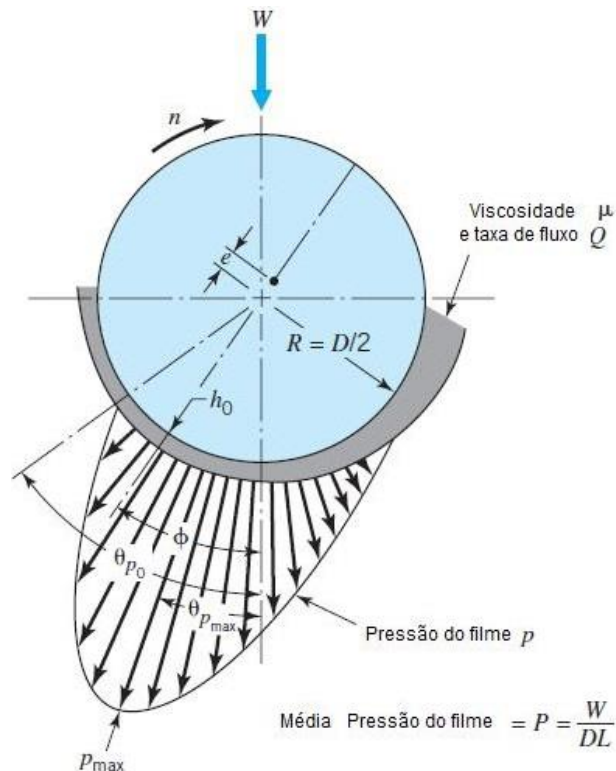


Figura 3 – Diagrama polar da distribuição da pressão do filme mostrando a notação utilizada (JUVINALL, 2013).

3.7 Propriedades Mecânicas

Conhecer sobre propriedades mecânicas é de suma importância para a escolha de um material para uma certa aplicação, assim como para a fabricação e o projeto de um componente. Quando o material é submetido à esforços mecânicos, são elas que determinam como o material vai se comportar, se vai resistir ou transmitir tais esforços sem se deformar descontroladamente ou mesmo sem se romper. As principais propriedades mecânicas são a resistência mecânica, a rigidez, a dureza e a ductilidade.

4 MÉTODOS, EQUIPAMENTOS E MATERIAIS

A presente seção apresenta os métodos, equipamentos e materiais aplicados na construção da bancada tribológica. Também são especificados o processo de construção e as características do equipamento utilizado nos ensaios de desgaste, o preparo da matéria prima e suas propriedades, e a montagem da bancada como um todo. As técnicas utilizadas para a caracterização da superfície da bucha também serão abordadas aqui.



4.1 Materiais Utilizados

- Motor Elétrico de ¼ CV 220V e 1,1A;
- Inversor de frequência Allen-Bradley trifásico até 1 HP;
- Tarugo de aço 1045 para manufatura dos corpos de prova;
- Tarugo de Bronze TM 23;
- Tarugo de aço 1045 para a manufatura do mancal de deslizamento;
- Placa de madeira de dimensões 600mm X 400mm;
- Acoplamento elástico AE-67;
- Tacômetro digital DT-6235B;

4.2 Construção da Bancada Tribológica

No presente tópico, a construção e montagem do equipamento é explicada e detalhada. Os ensaios e a fabricação do equipamento foram realizados no Laboratório de Mecânica.

Para o presente estudo, foi construída uma máquina de ensaio composta por uma placa de madeira de 600mm X 400mm onde foram acoplados um motor elétrico e o mancal de deslizamento. O mancal foi produzido no Laboratório de Mecânica a partir de um tarugo de aço 1045 de 60mm de diâmetro e 500mm de comprimento e uma chapa de aço retangular de 15mm por 5mm e 5mm de espessura para nivelar o mesmo com o motor. O tarugo foi usinado e parafusado à chapa metálica conforme a figura 4.



Figura 4 – Mancal utilizado nos ensaios (Fonte: Autores)

Foi utilizado um motor elétrico juntamente com um inversor de frequência dada a necessidade de modificação da rotação para o ensaio. O motor utilizado possui uma rotação máxima de 1695 rpm (figura 5), é um motor VOGES bifásico de ¼ CV. Já o inversor é um Allen-Bradley trifásico até 1 HP de potência (figura 6).

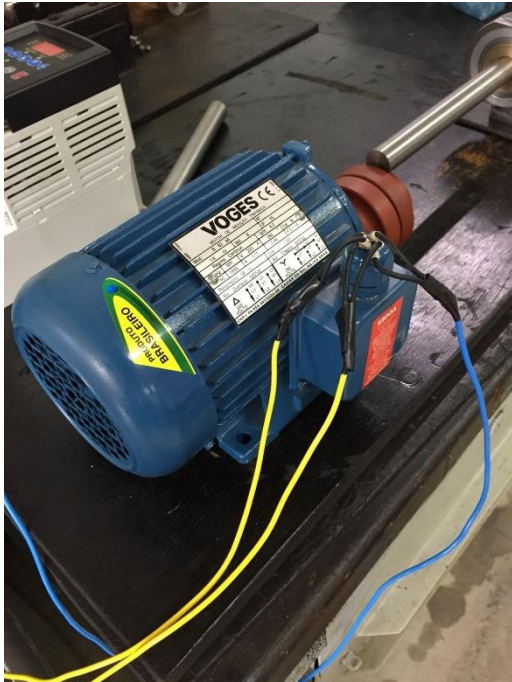


Figura 5 – Motor elétrico utilizado nos ensaios (Fonte: Autores)



Figura 6 – Inversor de frequência utilizado para controlar a rotação do motor (Fonte: Autores)

Para que pudéssemos controlar mais uma das diversas variáveis do sistema, foi necessário verificar a rotação certa para o ensaio. Para tal tarefa foi utilizado um tacômetro digital (figura 7).



Figura 7 – Tacômetro digital utilizado nos ensaios (Fonte: Autores)

Para o acoplamento do eixo do motor com o eixo (corpo de prova) foi utilizado um acoplador elástico AE-67 (figura 8), que transmite o torque do motor para o eixo sem deixar o mesmo engastado, permitindo assim o peso do próprio eixo servir de carga e gerar o atrito necessário para ocorrer desgaste entre o eixo e a bucha.



Figura 8 – Acoplador elástico AE-67 utilizado nos ensaios (Fonte: Autores)

O eixo de aço 1045 utilizado no ensaio possui aproximadamente 200mm de comprimento (figura 9) e diâmetro igual a 19,55mm (figura 10). Já a bucha possui 19,85mm de diâmetro interno (figura 11) e 40,10mm de diâmetro externo (figura 12).



Figura 9 - Medida do comprimento do eixo (Fonte: Autores)



Figura 10 - Medida do diâmetro do eixo (Fonte: Autores)

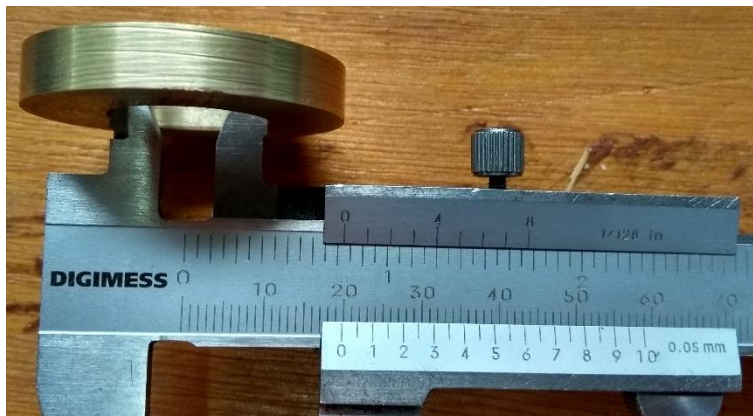


Figura 11 - Medida de diâmetro interno da bucha (Fonte: Autores)



Figura 12 - Medida do diâmetro externo da bucha (Fonte: Autores)

5 ANÁLISE DOS DADOS

Foram realizados dois ensaios, cada um com uma duração de 8 horas e com uma frequência de 28 Hz (aproximadamente 1680 rpm); o primeiro ensaio (Ensaio 1) foi realizado a seco (sem lubrificação) e para o segundo ensaio (Ensaio 2) foi utilizado a graxa azul multiuso especial para rolamentos da Schaeffler Brasil, aplicada somente no início do ensaio. Depois foi realizado o corte de ambas as buchas ao meio da seção transversal, e levada juntamente com os eixos para o Laboratório de Microscopia da Faculdade para uma análise mais detalhada da superfície que ficou em contato no sistema eixo-bucha.

A figura 13 mostra a superfície da bucha (Ensaio 1), que estava em contato com o eixo, após o ensaio sem lubrificação por um período de 8 horas a aproximadamente 1680 rpm. Como pode ser visto, não houve um desgaste tão severo na superfície da bucha.

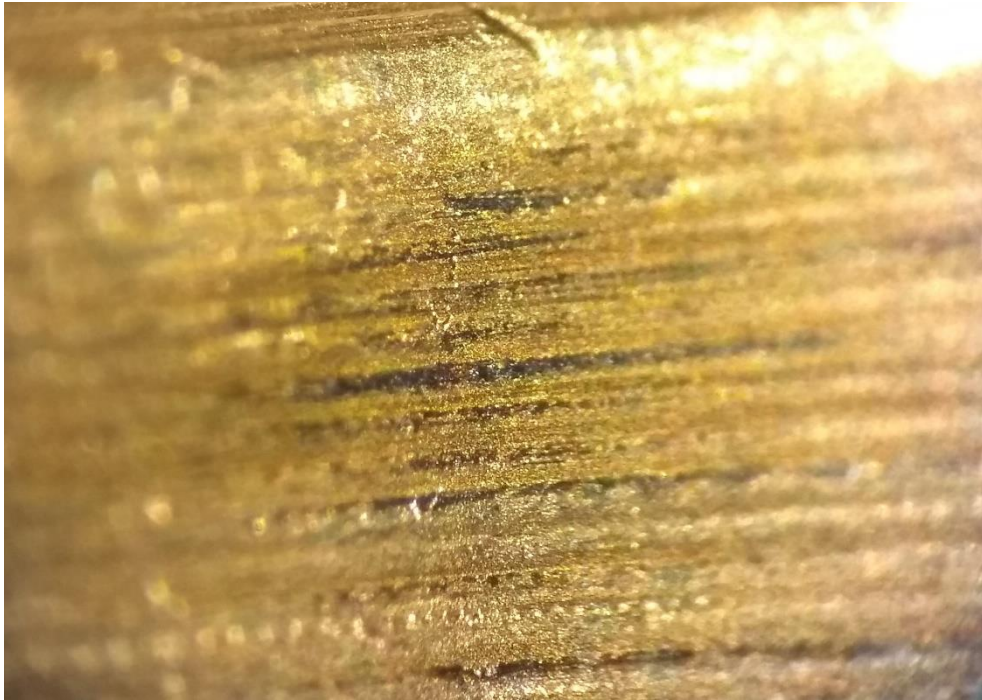


Figura 13 - Superfície desgastada da bucha (Fonte: Autores)

Para fins de comparação, a figura 14 mostra a superfície de uma bucha recém usinada. É possível observar com clareza as linhas de usinagem em toda a sua superfície.

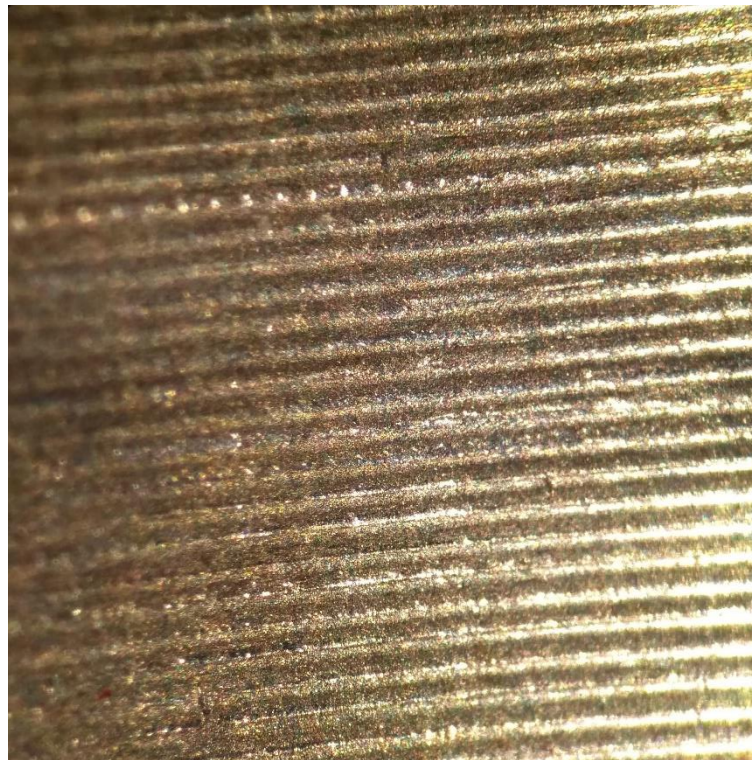


Figura 14 - Superfície da bucha recém usinada (Fonte: Autores)



No ensaio realizado o tipo de desgaste predominante foi o desgaste moderado; também é possível perceber algumas linhas profundas em diversas áreas da superfície da bucha e do eixo, caracterizando um desgaste severo, como podemos ver na figura 15 (marcado em amarelo). Na figura 16, temos o eixo do Ensaio 1 onde pode-se perceber a ocorrência de um desgaste maior na parte central do contato com a bucha (em amarelo).



Figura 15 - Superfície da bucha ensaiada sem lubrificação (Fonte: Autores)

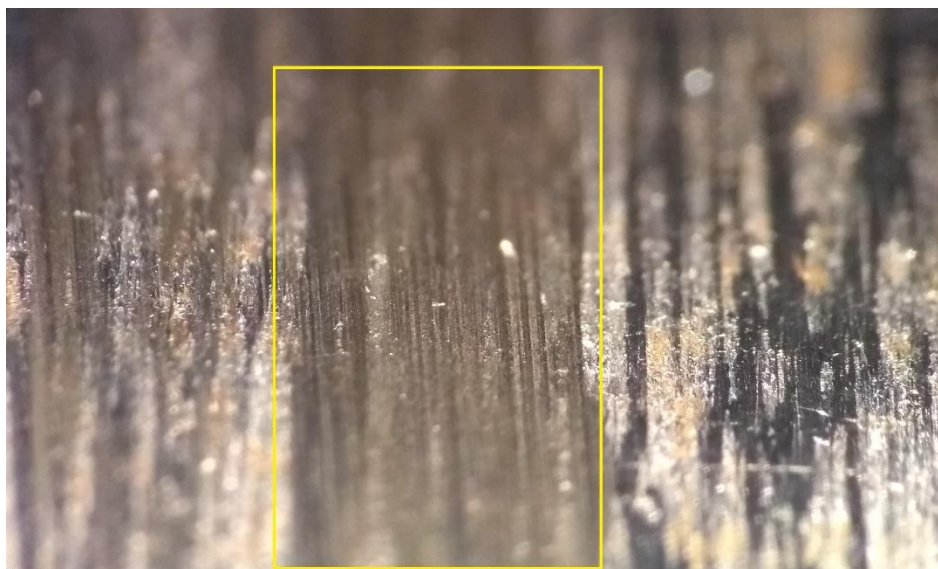


Figura 16 – Superfície do eixo utilizado no Ensaio 1 (Fonte: Autores)



A seguir, com as figuras 17 e 18 podemos ver a superfície da bucha (figura 17) e a superfície do eixo (figura 18) e seus respectivos desgastes. Podemos notar que o desgaste observado foi bem menos severo que no Ensaio 1, devido a adição de lubrificante no eixo e na bucha. Pode-se notar também que a área central em amarelo foi onde ocorreu o maior desgaste na bucha, estando as partes superior e inferior (em vermelho) muito bem preservadas. No eixo (figura 18) podemos ver linhas transversais (em vermelho) ao sentido de rotação; tal fenômeno pode ser explicado por possíveis partículas desprendidas do eixo ou da bucha devido à intensidade de energia de rotação empregada no ensaio, fazendo com que essas partículas sejam arremessadas para qualquer direção.

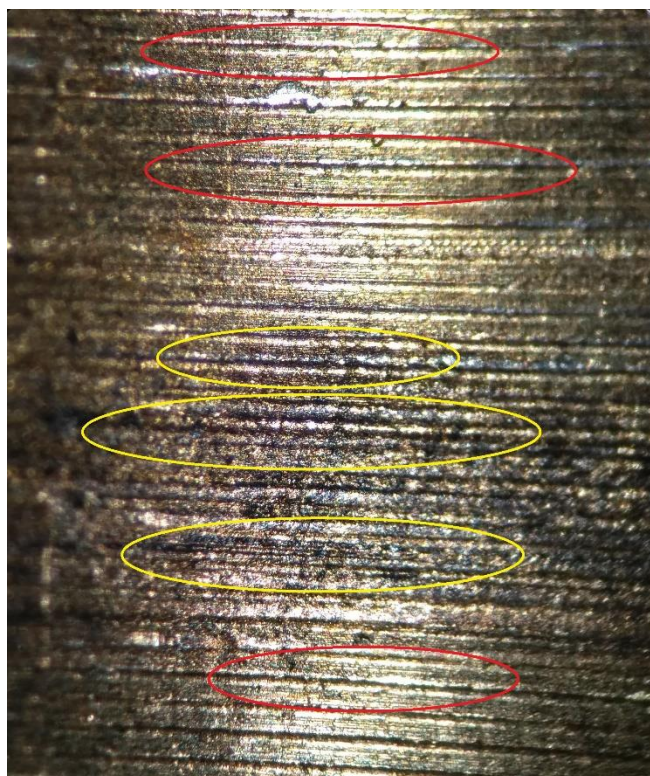


Figura 17 – Superfície da bucha utilizada no Ensaio 2 (Fonte: Autores)



Figura 18 – Superfície do eixo utilizado no Ensaio 2 (Fonte: Autores)



Abaixo é apresentado uma tabela com as características do lubrificante escolhido (figura 19) e também um tabela com o resumo dos parâmetros dos ensaios (figura 20).

GRAXA AZUL	
GRAU NLGI	2
Penetração Trabalhada a 25°C (mm/10)	265/295
Ponto de Gota (°C)	>170
Temperatura de Trabalho (°C)	-10 a +110
Espressante	Sabão de Lítio

Figura 19 – Propriedades da Graxa de acordo com o fabricante (Schaeffler Brasil Ltda.)

Ensaio	Duração	Lubrificação	Rotação*	Frequência*	Voltagem*	Amperagem*
1	8 horas	Sem	~1680 rpm	28 Hz	98,3 V	0,8 A
2	8 horas	Graxa	~1680 rpm	28 Hz	98,3 V	0,8 A

**Valores relacionados ao motor elétrico no momento de realização do ensaio.*

Figura 20 – Resumo dos Parâmetros de cada ensaio (Fonte: Autores)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bancada de ensaios construída para realizar os ensaios mostra, de forma efetiva, o contato tribológico estudado, além de permitir o controle de algumas variáveis significativas a esse processo levando em conta as limitações dos equipamentos, recursos e instalações utilizadas. Com base na teoria apresentada neste trabalho os resultados obtidos deixam claro que o dispositivo é confiável.

A condição de contato sem lubrificação e o resultado alcançado nos ensaios vem respaldar a teoria de que a correta aplicação da lubrificação e dos conceitos tribológicos preserva melhor a superfície dos materiais, ajudando na redução do desgaste nas superfícies em contato e auxilia na dissipação de energia causada pelo atrito.

Pela tribologia ter um caráter multidisciplinar o presente trabalho não fica preso apenas ao estudo da máquina construída e do contato analisado. Ao longo da elaboração deste projeto ficou claro a vastidão de possíveis projetos em diversas áreas de Engenharia no mesmo equipamento. Dito isso, este trabalho abre caminho para vários outros projetos de estudo da tribologia e todas as suas áreas de conhecimento.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

“ASM Metals Handbook, Volume 1, Properties and Selection: Irons and Steels”, American Society for Metals, 1978

“ASM Metals Handbook, Volume 10, Materials Characterization”, American Society for Metals, 1992

“ASM Metals Handbook, Volume 11, Failure Analysis and Prevention”, American Society for Metals, 2002



“ASM Metals Handbook, Volume 18, Friction, Lubrication, and Wear Technology”, American Society for Metals, 1992

BHUSHAN, B.; “Introduction to Tribology”, Wiley, 2nd edition, 2013

BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J.K., “Elementos de Máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia”, McGraw Hill, 8ª edição, Porto Alegre, 2011

CASTRO, H. F. de; Análise de Mancal Hidrodinâmico sob instabilidade fluido-induzida, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, p.176. Tese (Doutorado), 2007.

JUVINALL, R.C.; MARSHEK, K. M.; “Fundamentos do Projeto de Componentes de Máquinas”, LTC, 4ª edição, Rio de Janeiro, 2013

SCHAEFFLER BRASIL Ltda. Informe Técnico VI – IT 0170309, (Disponível em http://www.brastrela.com.br/anexos/graxa_azul.pdf) Acesso em 14/06/2018.

SHIGLEY, J. E.; “Elementos de Máquinas- Volume 1”, LTC, Rio de Janeiro, 1984

STOETERAU, R. L.; Leal, L. C. “Apostila de Tribologia. Departamento de Engenharia Mecânica” - Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

VIEIRA, L. C.; “Análise de Mancais Axiais sob Lubrificação Hidrodinâmica”, Tese (Pós-Graduação) – Universidade Estadual de Campinas, 2009

ZAMPIERI, P. R.; “Microestrutura e resistência ao desgaste abrasivo de uma liga para revestimento duro contendo nióbio”, Tese (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, 1983