



Universidade Federal do Maranhão - UFMA
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia - CCET
Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica - CCEM



**ANÁLISE DE DESGASTE DE BUCHAS DE LIGAS DE BRONZE TM 23 E DE
POLIAMIDA 6 (TCAST T MO BLACK)**

JOÃO MARCOS RODRIGUES DO CARMO

São Luís - MA
2022

JOÃO MARCOS RODRIGUES DO CARMO

**ANÁLISE DE DESGASTE DE BUCHAS DE LIGAS DE BRONZE TM 23 E DE
POLIAMIDA 6 (TCAST T MO BLACK)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado junto ao curso de Engenharia Mecânica Bacharelado da Universidade Federal do Maranhão - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, como requisito para aprovação no TCC II.

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Maria Eliziane Pires de Souza

São Luís - MA

2022

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Carmo, João Marcos Rodrigues.

ANÁLISE DE DESGASTE DE BUCHAS DE LIGAS DE BRONZE TM 23
E DE POLIAMIDA 6 TCAST T MO BLACK / João Marcos Rodrigues
Carmo. - 2022.

39 p.

Orientador(a): Maria Eliziane Pires de Sousa.

Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do
Maranhão, São Luís - MA, 2022.

1. Buchas. 2. Desgaste. 3. Falha. 4. Munck. 5.
Resistência Mecânica. I. Sousa, Maria Eliziane Pires de.
II. Título.

JOÃO MARCOS RODRIGUES DO CARMO

**ANÁLISE DE DESGASTE DE BUCHAS DE LIGAS DE BRONZE TM 23 E DE
POLIAMIDA 6 (TCAST T MO BLACK)**

Trabalho aprovado. São Luís - MA 15 de dezembro 2022.

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Maria Eliziane Pires de Souza
(Orientadora – CCEM/ UFMA)

Prof. Dr. Elson César Moraes
(Avaliador Interno à Banca – CCEM/ UFMA)

Prof. Dr. Andrei Bavaresco Rezende
(Avaliador Interno à Banca – CCEM/ UFMA)

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por me guiar nesse curso, mesmo em meio a muitas lutas;

Agradeço a minha família pelo constante apoio, mesmo em meio a muitas dúvidas minhas, sempre me lembrando do porquê e de como eu cheguei até aqui;

Agradeço aos meus amigos que me estão ao meu lado e me fazendo seguir em frente com os estudos, com foco no futuro;

Agradeço minha orientadora Prof.^a Dr.^a Maria Eliziane que formou parcerias com professores do IFMA e da UFMA afim de melhorar o conteúdo e aprendizado deste TCC.

Lista de Figuras

Figura 1: Caminhão munck.....	14
Figura 2: Configuração mancal, bucha em muncks.....	15
Figura 3: Desgaste Adesivo.....	17
Figura 4: Desgaste Abrasivo	17
Figura 5: Desgaste com 3 corpos.....	18
Figura 6: Desgaste Corrosivo	19
Figura 7: Desgaste por Fadiga	20
Figura 8: Buchas de polímero e liga de bronze - vista superior(a) e vista lateral(b).....	21
Figura 9: Estereoscópio e computador.....	22
Figura 10: Balança Toledo	22
Figura 11: Buchas de bronze (a) e (b), buchas poliméricas (c) e (d).	23
Figura 12: (a) e (b) Desenho esquemático das buchas superior e inferior, (c) Eixo	24
Figura 13: Pontos analisados - Bucha de bronze 1(inferior)	24
Figura 14: Região de análise 1(bucha de bronze inferior)	25
Figura 15: Região de análise 2(bucha de bronze inferior).....	25
Figura 16: Bronzina em aço-latão com desgaste por 3 corpos.....	26
Figura 17: Região de análise 3(bucha de bronze inferior).....	26
Figura 18: Região de análise 4(bucha de bronze inferior)	27
Figura 19: Pontos analisados Bucha de bronze 2(superior)	27
Figura 20: Região de análise 1(bucha de bronze superior)	28
Figura 21: Bronzina de biela com indentações de partículas (Motorservice)	29
Figura 22: Região de análise 2(bucha de bronze superior).....	29
Figura 23: (a) Região de análise 3 e (b) região de análise 4.....	30
Figura 24: Pontos analisados na bucha 1 de PA6 (inferior).....	30
Figura 25: Região de análise 1 (bucha de PA6 inferior).....	31
Figura 26: Região de análise 2 (bucha de PA6 inferior).....	32
Figura 27: Região de análise 3 (bucha de PA6 inferior).....	32
Figura 28: Pontos analisados na bucha 1 de PA6 (superior)	33
Figura 29: Região de análise 2 (bucha de PA6 superior)	33
Figura 30: Região de análise 3 (bucha de PA6 superior)	34
Figura 31: Deslocamento do eixo (A representação foi exagerada para melhor visualização).....	35

Lista de Tabelas

Tabela 1: Propriedades dos materiais das buchas 21

Tabela 2: Massas Aferidas..... 34

Resumo

Muncks são equipamentos hidráulicos capazes de movimentar e transportar cargas de forma rápida e segura, utilizando seu braço mecânico. E um dos elementos que auxilia na articulação desse braço são as buchas. As ligas bronze são utilizadas em diversos componentes mecânicos por conta de suas propriedades, como sua notável resistência ao atrito e ao desgaste, o que a torna excelente na fabricação de buchas para muncks, porém, existem outros materiais que também se encaixam nos requisitos para ser transformados nestes elementos de apoio, como a poliamida, que possui resistência a elevados tipos de óleos, boas propriedades deslizantes, e boa resistência mecânica. O presente trabalho tem como foco o estudo de caso de buchas poliméricas de PA6 e liga de bronze TM 23, utilizadas em muncks, buscando entender os mecanismos de desgaste que elas estão sujeitas. Esses fenômenos estudados pela tribologia são essenciais para determinação do tempo de vida útil desses componentes, assim como os fatores que as levam a falhas. Os resultados apontam para uma melhor resistência ao desgaste da liga de bronze TM 23 e um acúmulo de partículas de aço, e maiores desgaste por abrasão sofridos pelas buchas PA 6. Assim esta análise mostrou fenômenos estudados teoricamente afetando as buchas na prática, evidenciando sua principal função que é se desgastar para proteger o eixo que está diretamente apoiado nessas buchas.

Palavras-chave: Muncks, Desgaste, Buchas, Resistência Mecânica, Falhas, Abrasão.

Abstract

Muncks are hydraulic equipment capable of moving and transporting loads quickly and safely, using their mechanical arm. And one of the elements that help in the articulation of this arm are the bushings. Bronze alloys are used in various mechanical components because of their properties, such as their remarkable resistance to friction and wear, which makes them excellent in the manufacture of bushings for muncks. However, there are other materials that also fit the requirements to be transformed into these support elements, such as polyamide, which has resistance to high types of oils, good sliding properties, and good mechanical strength. The present work focuses on the case study of polymeric bushings made of PA6 and bronze alloy TM 23, used in muncks, seeking to understand the wear mechanisms to which they are subjected. These phenomena studied by tribology are essential for determining the lifetime of these components, as well as the factors that lead them to failure. The results point to a better wear resistance of the bronze alloy TM 23 and an accumulation of steel, particles and higher abrasion wear suffered by the PA 6 bushings. Thus this analysis showed theoretically studied phenomena affecting the bushings in practice, evidencing their main function which is to wear to protect the shaft that is directly supported on these bushings.

Keywords: Muncks, Wear, Bushings, Mechanical Resistance, Failures, Abrasion.

Sumário

Agradecimentos	5
Lista de Figuras.....	6
Lista de Tabelas	7
Resumo	8
Abstract.....	9
1. Introdução.....	11
2. Justificativas	12
3. Objetivos.....	13
3.1 Objetivo Geral	13
3.2 Objetivos Específicos	13
4. Revisão Bibliográfica	14
4.1 Muncks	14
4.2 Buchas	15
4.3 Desgastes	16
4.3.1 Desgaste por Adesão.....	16
4.3.2 Desgaste por Abrasão	17
4.3.3 Desgaste por Corrosão	18
4.3.4 Desgaste por Fadiga Superficial	19
4.4 Reciclagem de Polímeros e Ligas de Bronze	20
5. Metodologia.....	21
6. Resultados.....	23
7. Discussões	35
8. Considerações Finais	36
Referências	37

1. Introdução

A utilização de materiais diferentes em diversas partes de equipamentos faz com que haja constante estudos para aprimoramento, substituição e atualização desses materiais, isto resulta numa melhoria da performance destes equipamentos, podendo obter redução de peso, aumento da vida útil, melhor resistência ao desgaste e outros fatores que aumentem a produtividade e ajudem na redução de falhas ou até mesmo em questão do custo benefício.

As buchas estão presentes em diversas partes dos muncks, pois este equipamento hidráulico precisa delas para os pinos dos cilindros e articulações, e na mesa de giro para realização da rotação de forma suave e precisa além da preservação do eixo que suporta a maior parte da carga içada. Assim o estudo desses elementos são importantes fatores de prevenção de acidentes, quebras e manutenções não planejadas, evitando gastos desnecessários.

Elementos de máquinas são componentes que agem de forma conjunta para transmissão de movimentos, sustentação mecânica, interação com o operador ou outros fatores que tornem o equipamento funcional para determinadas atividades, e a seleção do material para essas estruturas ou para peças de máquinas são de extrema importância para definir se ela terá capacidade de realizar sua função da melhor forma, suportando as forças e fatores que a levem a falha a qual ela está sujeita [1].

Se houver perda de material da superfície de um sólido de forma progressiva ocasionado por ação mecânica, significa que houve o desgaste. Assim, estudar este comportamento em buchas e outras peças, torna possível prever seu desempenho para se montar um planejamento estratégico para manutenção evitando quebras indesejadas.

Existem apenas três maneiras segundo as quais peças ou sistemas podem “falhar”: *obsolescência*, *quebra* ou *desgaste acentuado*. A falha por obsolescência é de alguma maneira arbitrária. A falha por quebra é frequentemente repentina e pode ser permanente. A falha por desgaste geralmente é um processo gradual e, em alguns casos, reparável, ela ocorre quando existe contato entre as superfícies das mesmas com outras peças ou agentes corrosivos. Em último caso, qualquer sistema que não seja vítima de um dos dois outros modos de falha irá inevitavelmente falhar por desgaste se mantido em serviço por um

tempo suficientemente longo. Desgaste é o modo final de falha ao qual nada escapa. Assim, deve-se perceber que não se pode projetar para evitar completamente todos os tipos de desgaste, somente adiá-los [1, 2].

O presente trabalho visa comparar o desempenho das buchas de polímero PA 6 reforçadas com fibra de vidro e buchas de bronze PM 23, enfatizando os desgastes sofridos, a perda de material e a possibilidade de reciclagem, para definir qual oferece melhor desempenho e/ou tem melhor custo benefício.

2. Justificativas

O estudo do desgaste de peças de máquinas e equipamentos é extremamente relevante para melhoria na produção, no tempo de trabalho e para evitar paradas para manutenção que mantenham o equipamento fora de serviço por um longo período de tempo. O estudo do comportamento desses elementos é justificável pois permite entender seu funcionamento e como ele se comporta perante aos esforços sofridos e para o acompanhamento do seu desgaste, essa análise tem influência direta na economia, por levar a utilização de materiais mais adequados para cada equipamento que minimizem o desgaste ou quebras de outras partes do equipamento, reduzindo os custos e aumentando a produtividade.

Nos munks as buchas encontram-se em diversas partes, nesse estudo escolheu-se as buchas localizadas na mesa de giro do equipamento onde é encaixado o eixo da torre dos munks, essas buchas são responsáveis por reduzir o atrito durante a rotação do equipamento e amortecer choques e vibrações, para essas características a indústria utiliza dois materiais em especial, as buchas de ligas de bronze e as buchas poliméricas, assim o estudo do desgaste e desempenho destes materiais é importante porque pode sugerir se existe um melhor ou qual terá custo benefício mais interessante.

3. Objetivos

3.1 Objetivo Geral

Realizar a análise de desgaste de duas buchas de materiais diferentes, liga de bronze e polimérica, utilizados na mesa de giro de munks.

3.2 Objetivos Específicos

- Verificar como cada material se desgasta ao longo de suas vidas uteis;
- Comparar os resultados dos dois materiais de estudo;
- Avaliar os tipos de desgaste sofrido;
- Avaliar a possibilidade de reaproveitamento ou reciclagem das buchas;

4. Revisão Bibliográfica

4.1 Muncks

Fundada em 1960 pelo norueguês Tore Albert Munck, a empresa Munck S/A equipamentos industriais foi detentora da marca Munck, com o passar dos anos, o nome foi associado a um tipo de veículo equipado com o equipamento hidráulico e assim ficou conhecido como caminhão munck, como tem-se na Figura 1 [3].

Figura 1: Caminhão munck



Fonte: Autor (2022)

O que torna esses equipamentos tão icônicos é sua versatilidade nas operações de carregamento e transporte de cargas. Sua característica de poder ser estendido para alcançar cargas em distâncias mais longas é de grande importância. As buchas são componentes essenciais neste equipamento pois estão justamente nessas articulações que permitem o movimento deste equipamento para abertura e içamento de carga, apoiando os pinos dos cilindros, eixo da torre de giros e diversas outras partes do equipamento incluindo dos próprios caminhões.

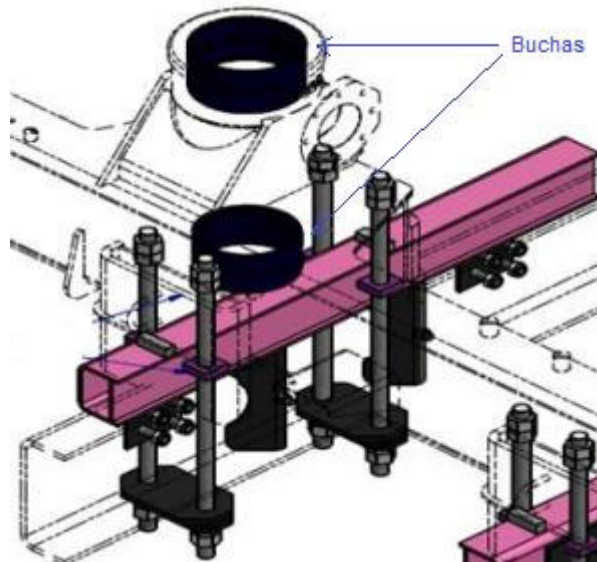
Além disso, por serem compactos e terem estas articulações, estes podem ser dobrados para ocuparem menor espaço para serem transportados, possuem manutenção mais simples, onde seus componentes podem ser substituídos e avaliados com maior agilidade além do menor custo de mão de obra. Tais equipamentos podem ser comparados aos guindastes aos quais eles podem substituir com segurança, fazendo com que eles

sejam cada vez mais utilizados nas indústrias, nas construções civis, usinas e serviços de manuseio e mobilidade [3].

4.2 Buchas

As buchas (Figura 2), são elementos de máquinas com forma cilíndrica ou cônica. Elas servem para apoiar eixos e guiar brocas e alargadores. Nos casos em que o eixo desliza dentro da bucha, deve haver lubrificação. Elas podem ser fabricadas de metal antifricção ou de materiais poliméricos. Normalmente a bucha deve ser fabricada com material menos duro que o material do eixo. O metal antifricção é uma liga de cobre, zinco, estanho, chumbo e antimônio e outros, e o polímero são termoplásticos como a poliamida, poliuretano e outros [4].

Figura 2: Configuração mancal, bucha em muncks.



Fonte: [5]

Esses elementos podem ser fabricados em diversos materiais e tamanhos desde que mantenham sua principal característica que é evitar o desgaste do componente que desliza em seu interior. Sendo assim, estudos são realizados para desenvolvimento de materiais que atendam determinadas necessidades para aprimoramento ou substituição de um material por outro que confira alguma vantagem a essa bucha. A exemplo tem-se as buchas de bronze que vem sendo substituídas por buchas poliméricas as quais são estudadas nesse trabalho.

Um material que é bastante utilizado é a liga de bronze TM 23. Essa liga possui cobre (Cu) como base e nela é acrescentado estanho (Sn) como elemento de liga, além de outros elementos que melhoram suas propriedades mecânicas, conferindo boa resistência a corrosão, antifricção, usinabilidade, propriedades importantes para elementos mecânicos como as buchas, pois é desejável o desgaste mais controlado [6].

Outro material utilizado para fabricação de buchas, são os polímeros, em especial a Poliamida 6 fundida (PA 6). Esse material tem como principais características a resistência a grandes variedades de óleos, graxas e combustíveis, alta tenacidade, uma boa resistência mecânica, além de menor peso e demandar menos energia para fabricação se comparadas a buchas de ligas de bronze [7].

4.3 Desgastes

A ciência que estuda a interação entre superfícies que estão em movimento relativo é a tribologia, caracterizada pela resistência ao movimento que resulta em dissipação de energia, muitas vezes em ruídos, liberação de calor, desprendimento de particulados, resultando na corrosão e degradação de uma ou de ambas as superfícies em contato.

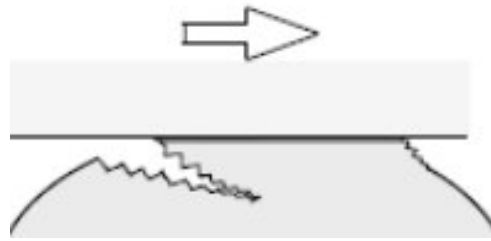
De forma geral, o desgaste pode ser definido como uma mudança cumulativa e indesejável em dimensões motivada pela remoção gradual de partículas discretas de superfícies em contato devido, predominantemente, a ações mecânicas. O desgaste é um processo complexo, resultado de diferentes operações que podem ocorrer de forma independente ou em combinações. Podem ser salientadas quatro formas de desgaste: desgaste por adesão, por abrasão, por corrosão e por fadiga superficial [8].

4.3.1 Desgaste por Adesão

O desgaste por adesão ocorre quando as asperezas de duas superfícies em contato se rompem quando há movimento, transferindo material de uma peça para a outra, ou para fora do sistema. Esse tipo de desgaste, depende de série complexa de fatores, onde variáveis como a natureza das superfícies em cisalhamento, compatibilidade entre os materiais das duas superfícies e a existência de lubrificantes ou contaminantes na interface são fatores que podem determinar o grau de agressividade no processo [9].

O desgaste por adesão é a forma mais comum de desgaste encontrada, sendo que sua teoria tem as mesmas bases da teoria do atrito por abrasão, e apresentam um longo histórico de pesquisa. Segundo a teoria do atrito por adesão, fortes soldagens a frio (caldeamentos) são formadas em alguns pontos de contato entre pico das superfícies, e essas soldagens devem ser rompidas para permitir a continuidade do escorregamento. O rompimento das asperezas soldadas provoca severo dano à superfície, em geral sob a forma de crateras visíveis (macroscópicas). Este tipo de desgaste pode ser um problema quando se tem dois materiais de mesma natureza em contato, como por exemplo aços e suas ligas, ou quando ocorre uma lubrificação deficiente e temperaturas altas, ou velocidades de escorregamento elevadas [8, 10].

Figura 3: Desgaste Adesivo

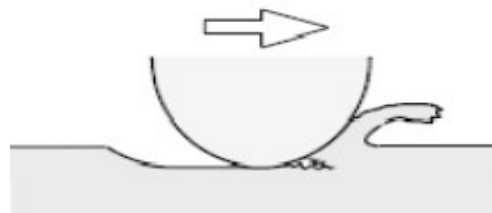


Fonte: [11]

4.3.2 Desgaste por Abrasão

No desgaste abrasivo assim como no desgaste adesivo ocorre remoção de material da superfície e está diretamente relacionado ao formato e a dureza dos dois materiais em contato exemplificado na Figura 4, onde o material mais duro é responsável por arrancar material da outra superfície que possui menor dureza.

Figura 4: Desgaste Abrasivo

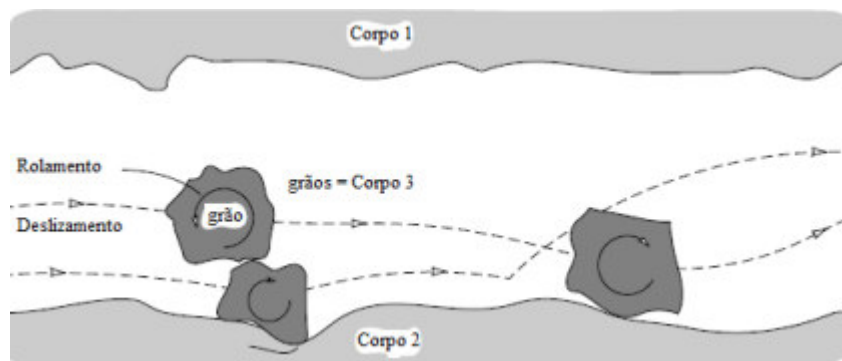


Fonte: [11]

Esta é a forma de desgaste que ocorre quando uma superfície rugosa e dura, ou uma superfície mole contendo partículas duras, desliza sobre uma superfície mais mole, levando a uma série de ranhuras nesta superfície. Há também o desgaste abrasivo com três corpos (Figura 5), que exige existência de uma terceira partícula. Essa partícula pode ser dos próprios materiais das superfícies em contato, que se desprenderam por conta do desgaste entre eles, ou de um material diferente proveniente de partículas contaminantes existente no meio ambiente e que são introduzidas no sistema deslizante. Tais partículas devem possuir uma dureza mais elevada e assim ocorrer o desgaste.

O material das ranhuras é deslocado na forma de partículas de desgaste, geralmente soltas. Quando o deslizante inicia o desgaste abrasivo pode se tornar um problema, porque os fragmentos de desgaste provenientes de outros processos de desgaste, frequentemente endurecidos por oxidação, começam a se acumular no sistema [8, 12].

Figura 5: Desgaste com 3 corpos



Fonte: [11]

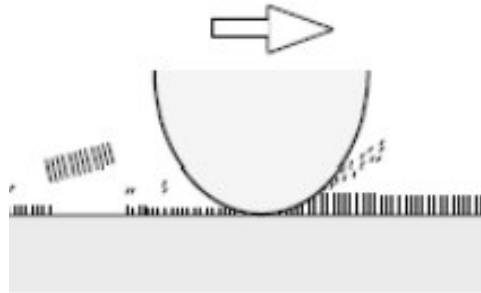
4.3.3 Desgaste por Corrosão

Esse tipo de desgaste ocorre em meios corrosivos, líquidos ou gasosos. Neste tipo de desgaste são formados produtos de reação devido às interações químicas e eletroquímicas. Essas reações são conhecidas como reações triboquímicas e produzem uma intercamada na superfície que depois é removida como tem-se na Figura 6.

Os mecanismos de corrosão e desgaste não atuam separadamente, mas sim, dependem um do outro de uma forma bastante complexa, onde a corrosão é acelerada

pelo desgaste e o desgaste é afetado pela corrosão e, nesse processo podem ser incluídos o deslizamento ou desgaste abrasivo, erosão por particulados sólidos, por escoamento de fluidos, cavitação ou fadiga. Ambientes corrosivos podem ser complexos, altamente secos, ou podem ser molhados em condições aquosas à temperatura ambiente [9, 13].

Figura 6: Desgaste Corrosivo



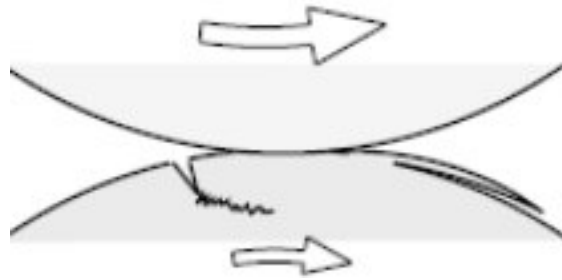
Fonte: [11]

4.3.4 Desgaste por Fadiga Superficial

Quando duas superfícies atuam em contato com rolamento, o fenômeno de desgaste é diferente do desgaste que ocorre entre superfícies que escorregam. Em superfícies em contato com rolamento surgem tensões de contato, as quais produzem tensões de cisalhamento cujo valor máximo ocorre logo abaixo da superfície. Com o movimento de rolamento, a zona de contato desloca-se, de modo que a tensão de cisalhamento varia de zero a um valor máximo e volta a zero, produzindo tensões cíclicas que podem levar a uma falha por fadiga do material.

Abaixo da superfície pode se formar uma trinca que se propaga devido ao carregamento cíclico podendo chegar à superfície destacando-a e fazendo surgir uma partícula superficial macroscópica com a correspondente formação de uma cavidade (pit). Essa ação, chamada de desgaste por fadiga superficial, é um modo comum de falha em mancais de rolamento, dentes de engrenagens, cames e em partes de máquinas que envolvem superfícies em contato com rolamento [8, 9].

Figura 7: Desgaste por Fadiga



Fonte: [11]

4.4 Reciclagem de Polímeros e Ligas de Bronze

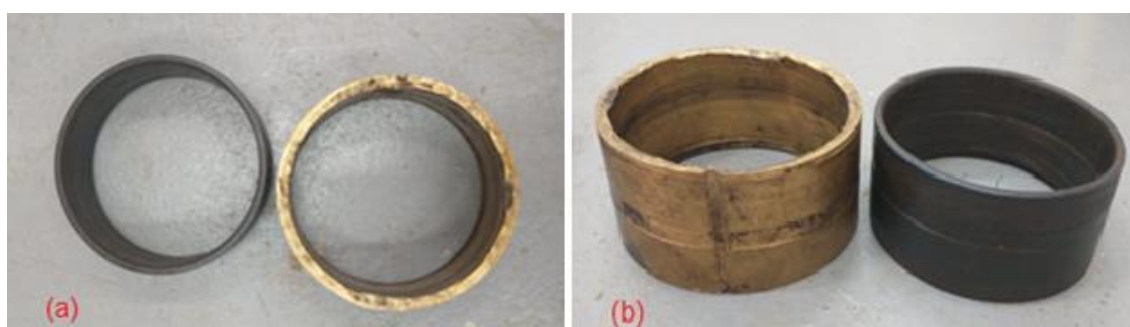
Polímeros são materiais fabricados geralmente a partir de petróleo e sua decomposição leva centenas de anos, tais fatos fazem com que se persigam metas de remoção, redução ou eliminação do meio ambiente. Os termoplásticos são materiais que podem ser transformados através do reprocessamento ou reutilização de alguma forma, é o caso do PA6 que pode ser submetido ao aquecimento a temperaturas adequadas para que chegue ao ponto de fusão e possa ser moldado, formando novos componentes, esse tipo de plástico mesmo reciclado mantém suas características de ser resistente a corrosão, ao impacto e um fator importante é que gasta muito menos energia se comparado a reciclagem das ligas de bronze também utilizadas em buchas, e este material reciclado pode ser utilizado nas indústrias automobilísticas, têxteis, de calçados e muito mais [14].

As ligas de bronze são materiais que tem como elemento principal o cobre(Cu) que é um metal com concentração muito baixa na natureza se comparado ao ferro(Fe) e ao alumínio(Al), e levando em consideração que este é um metal extremamente utilizado nas indústrias, pois possui boa ductilidade, alta condutividade térmica e elétrica, excelente resistência a corrosão, podendo ser utilizado em fiações elétricas, componentes eletrônicos, e componentes mecânicos, tudo isso torna sua reciclagem muito importante, assim a liga de bronze TM 23 por ser uma liga com 70% é reciclada e pode ser aquecida e fundida para formar novos componentes, inclusive novas buchas [15].

5. Metodologia

Foram utilizadas quatro amostras de buchas de mesa de giro de munck para análise e comparação nesse estudo de caso. As duas são fabricadas em uma liga comercialmente conhecida como Bronze TM23, com um tempo de uso de mais ou menos 4 anos, e as outra duas de Poliamida 6 comercialmente conhecida como TCAST T MO BLACK, com o tempo de uso de mais ou menos 2 anos. Estas são utilizadas em munkes diferentes, mas com mesma capacidade máxima de momento de carga, cerca de 16 700 Kgfm, mostradas na Figuras 8(a) e 8(b).

Figura 8: Buchas de polímero e liga de bronze - vista superior(a) e vista lateral(b)



Fonte: Autor (2022)

As propriedades e características das amostras estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades dos materiais das buchas

	BRONZE TM 23	TCAST T MO
Lim. De resistência	275 MPa	74 MPa
Escoamento	157 MPa	43,5MPa
Alongamento	23%	22%
Dureza Brinell	75 HB10	--
Dureza Shore D	--	79

Fonte: [6, 7]

Para análise das superfícies desgastadas das buchas foi utilizado um estereoscópio QUIMIS Q735S-TZ (Figura 9), presente no Instituto Federal do Maranhão, campus Monte-Castelo, que permitiu a visualização e análise da superfície de forma ampliada, bem como fotografar as mesmas.

Figura 9: Estereoscópio e computador



Fonte: Autor (2022)

Para aferição da massa das buchas foi utilizada a balança TOLEDO 15 kg Prix 3 mostrada na Figura 10, onde também houve a aferição da massa de uma bucha nova de cada material para efeito comparativo.

Figura 10: Balança Toledo



Fonte: [16]

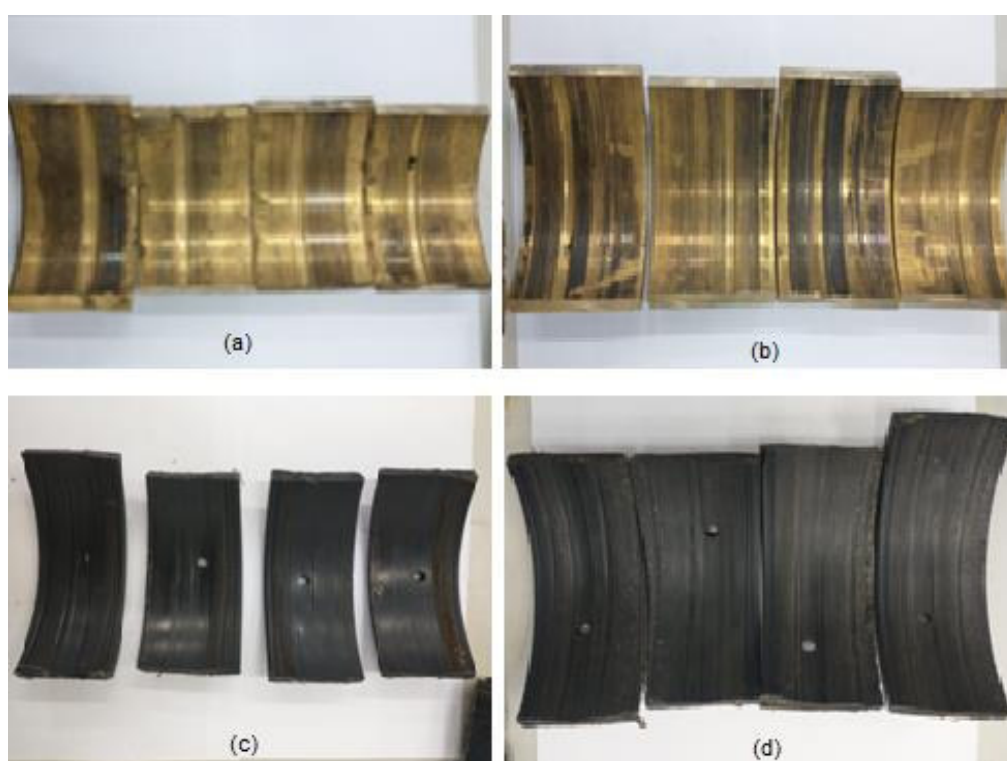
A realização das análises ocorreu da seguinte forma:

1. Coletou-se as buchas cedidas pela empresa Magalhães e Farias Ltda;
2. Fez-se a lavagem das buchas com desengraxante, seguido de sabão neutro e água para retirada de impurezas como resto de graxas e óleos;
3. Fez-se a aferição das massas das buchas;
4. Realizou-se 4 cortes em cada bucha, dois deles dividiu cada uma em duas partes e os outros dois dividiu essas partes em mais duas, como é possível ver na Figura 11, deixando-as em condições para análise no estereoscópio;
5. Realizou-se a análise dos dados.

6. Resultados

Seguindo a metodologia, na Figura 11 pode ser observada as regiões internas das buchas cortadas em quatro partes. A olho nu, é possível identificar tanto nas buchas de liga de bronze TM 23, Figuras 11(a) e 11(b), quanto nas buchas TCAST T MO BLACK, Figuras 11(c) e 11(d), as linhas de desgastes confirmando que esses componentes, durante o uso, estavam sujeitos ao contato deslizante com o eixo o que levou ao desgaste da superfície de contato. Para uma visualização mais ampliada dessas regiões e uma análise mais detalhada dos fenômenos associados ao desgaste foi empregado o estereoscópio.

Figura 11: Buchas de bronze (a) e (b), buchas poliméricas (c) e (d).

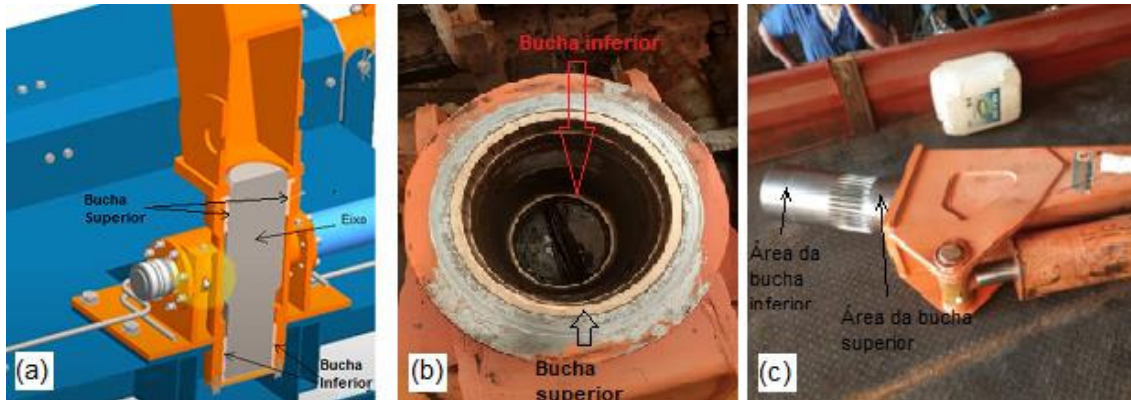


Fonte: Autor 2022

Para um melhor entendimento do funcionamento dessas buchas é apresentado um desenho esquemático, Figura 12(a), que mostra o posicionamento das duas buchas, uma na parte superior e outra na parte inferior da base do munck. Na Figura 12(b) é mostrado duas buchas de bronze, em suas localizações, fixadas na mesa de giro do munck. Já na Figura 12(c) tem-se o eixo onde pode ser visto os dentes de engrenagem que transmitem o movimento gerado pelas cremalheiras acionadas hidráulicamente, e sabe-se que acima

desses dentes fica a área destinada a bucha superior e abaixo, na ponta do eixo é a área destinada a bucha inferior.

Figura 12:(a) e (b)Desenho esquemático das buchas superior e inferior, (c)Eixo



Fonte: Adaptado [17, Autor 2022].

Esse posicionamento das buchas, superior e inferior ao eixo, resulta em forças que atuam de forma diferenciada em cada componente. Assim, para uma melhor análise dos resultados, essas buchas serão avaliadas em separado, visualizando pontos específicos da parte interna de cada uma.

Na Figura 13, é apresentada a região de análise para a bucha de bronze que fica na parte inferior, com as marcações específicas que foram posteriormente visualizadas no estereoscópio.

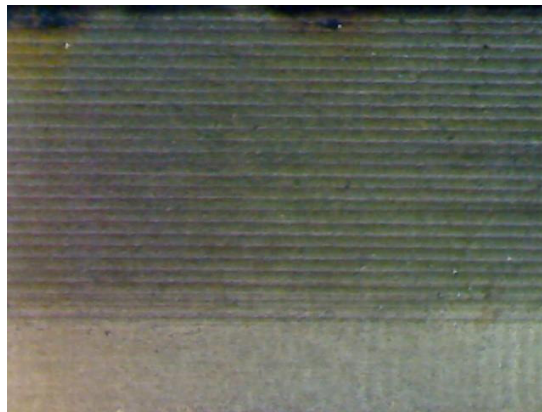
Figura 13: Pontos analisados - Bucha de bronze 1(inferior)



Fonte: Autor 2022

A região 1, mostrada na Figura 14, fica localizada em um sulco ou rebaixo situado no centro da parte interna da bucha por onde passa a graxa que é inserida para lubrificação e melhoria no deslizamento durante o movimento de rotação do munck. Pode ser notado nessa região linhas horizontais que são marcas de usinagem e essa é uma região que não entrou em contato com a superfície do eixo do munck onde nota-se que nela não houve desgaste.

Figura 14: Região de análise 1(bucha de bronze inferior)



Fonte: Autor 2022

Na região 2, é possível observar que já existe marca de desgaste por abrasão caracterizadas pelas listras pretas, tendo retirada mais incisiva de material na região demarcada na Figura 15, que pode ter sido ocasionada por desgaste abrasivo que se caracteriza pela a perda de material pela passagem de partículas duras sobre uma superfície [11].

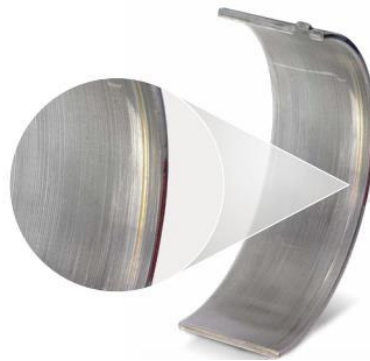
Figura 15: Região de análise 2(bucha de bronze inferior)



Fonte: Autor 2022

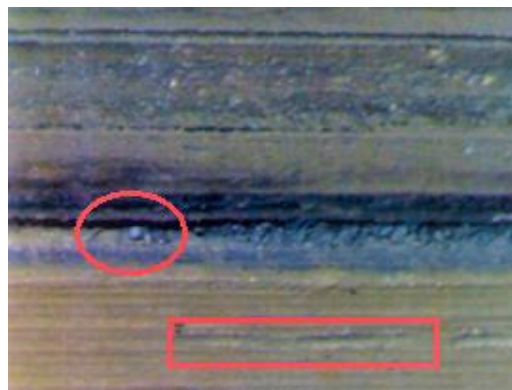
Na Figura 16, tem-se um exemplo de desgaste analisado pela Motorservice,2022 [18], onde a parte dourada foi causada por, segundo os estudos, partículas estranhas não ficaram encrustadas por inteiro e a parte saliente provocou o desgaste sob a forma de estrias, ou seja, desgaste por três corpos. Assim, utilizando a Figura 16 para comparação, podemos analisar a Figura 17, onde existe uma região de fronteira entre o rebaixo por onde passa graxa e a parte que fica para baixo, nela é possível perceber na região circulada o acúmulo de partículas que se desprenderam e também desgaste por abrasão a três corpos, pois a forma como os grãos passam sobre a superfície desgastada determina a natureza do desgaste abrasivo [11]. Uma dessas partículas ficou entre as superfícies e ao deslizar, deixou uma marca característica, também exemplificado na figura na região demarcada pelo retângulo que se asselha a marca dourada da Figura 16, que sofreram desgaste do mesmo princípio.

Figura 16: Bronzina em aço-latão com desgaste por 3 corpos



Fonte: [19]

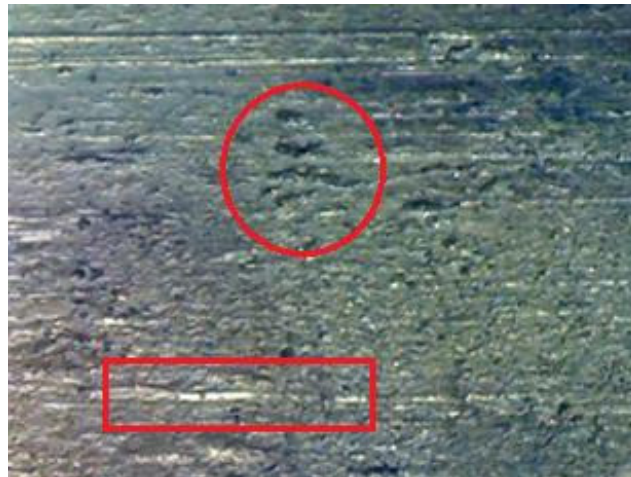
Figura 17: Região de análise 3 (buchas de bronze inferior)



Fonte: Autor 2022

Na Figura 18, pode ser visto claramente o desgaste sofrido pela bucha nessa região mais superior do acoplamento, onde tem-se desgaste por fadiga superficial, região do círculo, onde macropits se formam e tem um aumento gradativo de tamanho causando perda de material gerando cavidades. Tem-se também desgaste com 3 corpos [8], que deixou marcas na superfície vista na demarcação retangular.

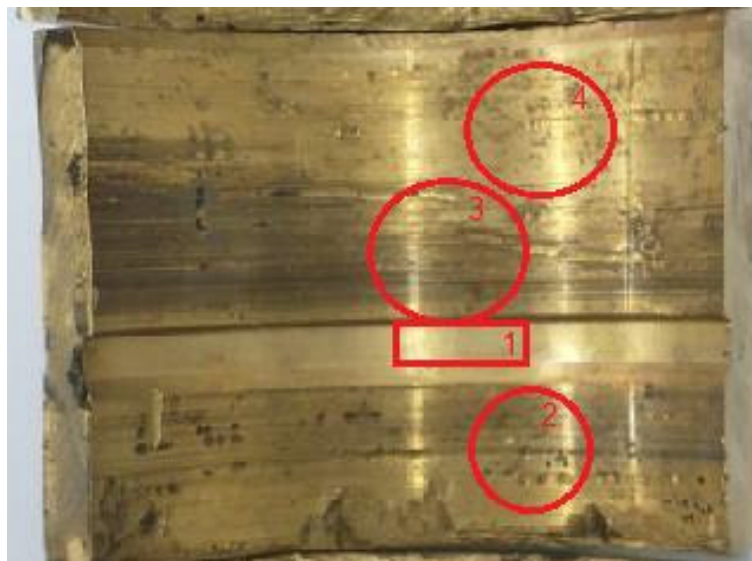
Figura 18: Região d análise 4(bucha de bronze inferior)



Fonte: Autor 2022

Na Figura 19 tem-se as regiões da bucha de bronze TM 23 da parte superior, para análise de cada região.

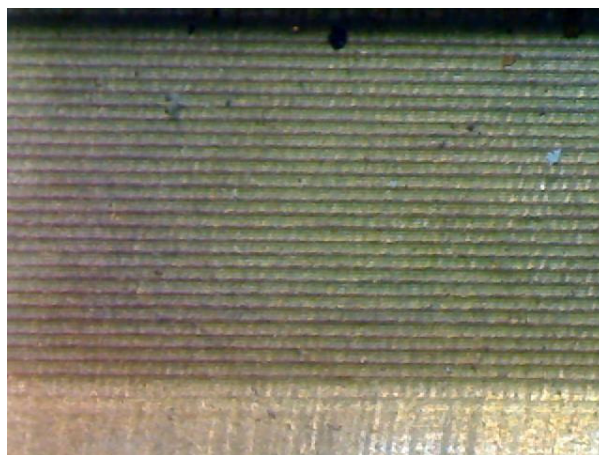
Figura 19: Pontos analisados Bucha de bronze 2(superior)



Fonte: Autor 2022

Na Figura 20, a região da cavidade para transporte de graxa é visualizada, e assim como na bucha TM 23 da parte inferior, não se nota sinais de desgaste, apenas as marcas de usinagem bem definida. Além disso, a região está bem limpa e sem sinais de corrosão.

Figura 20: Região de análise 1 (bucha de bronze superior)

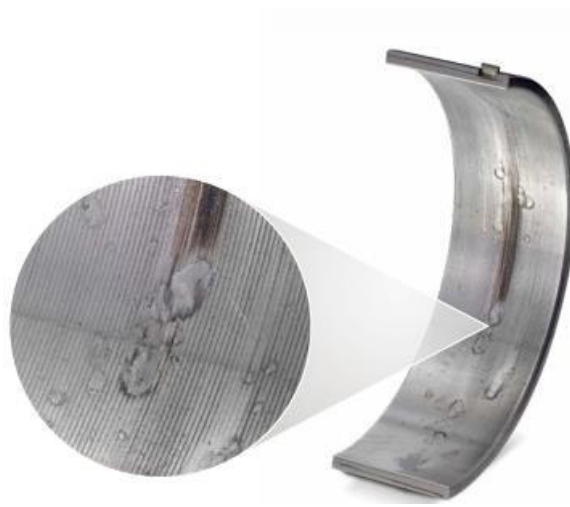


Fonte: Autor 2022

Um estudo feito pela Motorservice, 2022 [18] em bronzinas, gerou resultados que mostra indentações nesses mancais (Figura 21), onde a entrada de partículas estranhas nas superfícies de contato gerou indentações ou amassados, isso ocorre quando um material é desgastado por um grão abrasivo sofrendo deformações repetidamente.

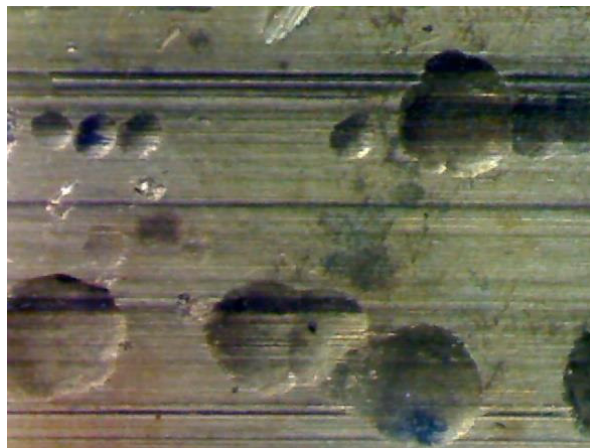
Quando se analisa a região 2 da bucha TM 23 superior, Figura 22, nota-se claramente que partículas desprendidas de alguma das superfícies deixaram marcas bem nítidas na superfície interna, sinais de deformação plástica, que são idênticas as da Figura 22 estudada pela Motorservice, 2022 [18] permitindo, por comparação, denotar que ela também sofreu danos por indentação gerando sucos na superfície da bucha de bronze. É importante notar que esses particulados não ficaram encrustados na superfície dos mancais, tal comportamento pode ser associado as propriedades do material das buchas, como a dureza.

Figura 21: bronzina de biela com indentações de partículas (Motorservice)



Fonte: [19]

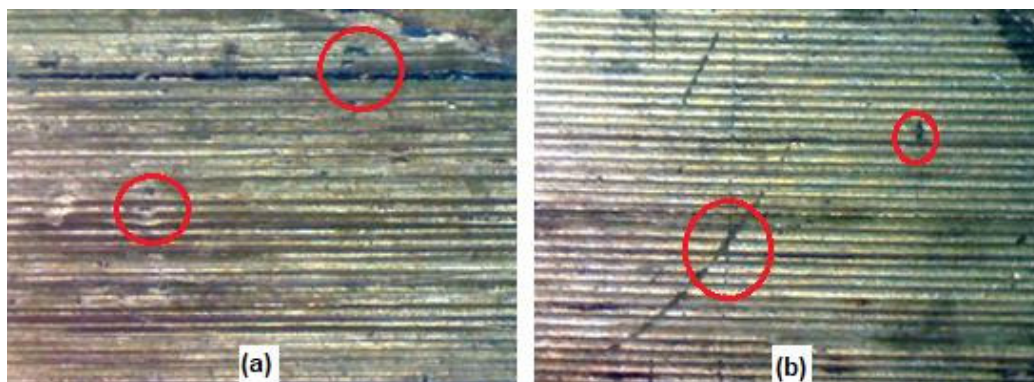
Figura 22: Região de análise 2(bucha de bronze superior)



Fonte: Autor 2022

Ao se analisar as regiões 3 e 4 da bucha TM 23 superior, Figura 23, é possível notar que essas duas regiões apresentaram um menor desgaste, quando comparadas com as regiões similares na bucha TM 23 superior. Algumas marcas de desgaste abrasivo podem ser notadas, alguns pontos de desgaste adesivo com marcas na superfície, mas também é possível ver as marcas de usinagem na peça mostrando que nessa região o desgaste foi menos intenso por conta desta bucha está mais próxima do ponto de apoio do eixo do munck.

Figura 23:(a) Região de análise 3 e (b) região de análise 4



Fonte: Autor 2022

Assim como nas buchas de bronze TM 23, as buchas poliméricas PA6 também foram analisadas em pontos específicos. A Figura 24 destaca os pontos da amostra da bucha de PA 6 inferior analisada.

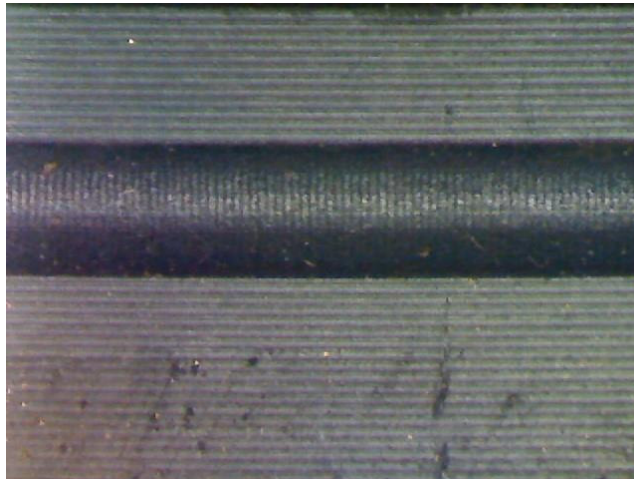
Figura 24: Pontos analisados na bucha 1 de PA6 (inferior)



Fonte: Autor 2022

Na Figura 25, tem-se uma região onde existe um rebaixo e a observação dessa área é onde o desgaste é muito pequeno ou imperceptível serve justamente para comparação com os outros pontos analisados, além disso nota-se listras horizontais próximas a essa região que devem ter sido passadas do molde ao qual estas peças são feitas já que a usinagem não faz parte do processo de fabricação delas.

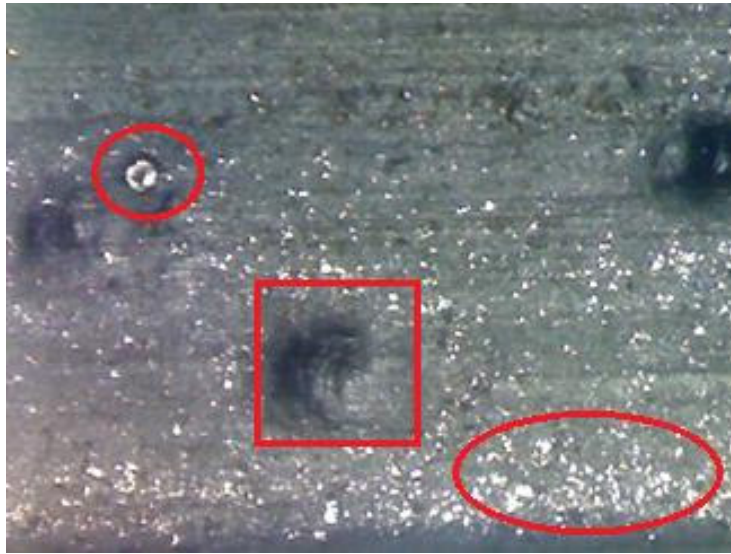
Figura 25: Região de análise 1 (bucha de PA6 inferior)



Fonte: Autor 2022

O comportamento da bucha de Poliamida apresenta alguns aspectos diferentes das de bronze TM 23, a começar pela quantidade de partículas de aço (prateadas) na imagem da Figura 26. Essas partículas parecem ser provenientes do aço do qual é feito o eixo que trabalha em contato com bucha. Desgaste de superfície também pode ser observado na região demarcada com um quadrado, que deve ter sido causado por outras partículas maiores que se colocaram entre as superfícies de contato causando indentações assim como aconteceu com a bucha de bronze (Figura 21) e a bronzina de estudo da Motorservice,2022[18] (Figura 22), só que aqui ocorreu na bucha polimérica que por ter dureza muito inferior aos metais está mais suscetível a essa deformação plástica. Propriedades como a dureza da superfície e a força com que o grão, de maior dureza, passa sobre a superfície mais macia são importantes para o desgaste a três corpo [11] observado na Figura 26.

Figura 26: Região de análise 2 (bucha de PA6 inferior)



Fonte: Autor 2022

Na Figura 27, fica mais nítido esses particulados e nota-se que durante o contato das superfícies no instante em que eles ficam prensados entre o eixo e a bucha, essas partículas aderem à superfície da bucha, ficam presas e vão se acumulando cada vez mais, e isso é por conta de o material ter menor dureza e limite de resistência baixo se comparado as buchas de liga de bronze.

Figura 27: Região de análise 3 (bucha de PA6 inferior)



Fonte: Autor 2022

Na figura 28 destaca-se os pontos de análise para a bucha de PA6 superior.

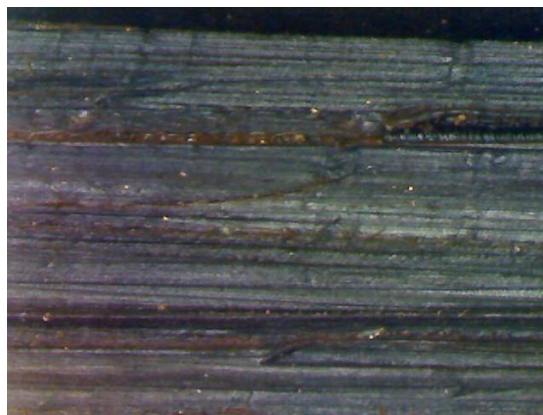
Figura 28: Pontos analisados na bucha 1 de PA6 (superior)



Fonte: Autor 2022

Nota-se algo diferente das demais na Figura 29, que são listras amarronzadas ou fiapos, isso ocorreu por conta do desgaste por abrasão que iniciou a retirada de material da bucha, por conta de ciclos repetidos de contato de partículas abrasivas. No caso, chamada formação de fiapos foi a consequência possível, onde as rugosidades da superfície do eixo de aço ou até partículas incrustadas cortaram a superfície da bucha e removem material deixando fiapos poliméricos [8, 11].

Figura 29: Região de análise 2 (bucha de PA6 superior)

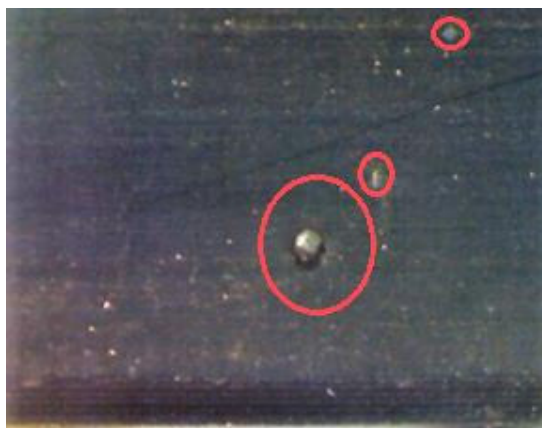


Fonte: Autor 2022

Assim como na bucha de poliamida inferior, a bucha superior também apresenta partículas fixadas em sua superfície interna como mostra a Figura 30, porém, em quantidade muito inferior, algumas áreas da bucha superior sofreram muito menos desgaste que se comparado as mesmas áreas da bucha inferior, isso pode se dar porque esses particulados devem vir do desgaste da superfície da cremalheira e dos dentes de

engrenagem do próprio eixo, pois ambos são feitos de aço e são mais propícios a perderem material por cisalhamento já que estão engrenados para realização do movimento do rotação do equipamento.

Figura 30: Região de análise 3 (bucha de PA6 superior)



Fonte: Autor 2022

Na Tabela 2 tem-se o valor das massas aferidas onde se pode comparar as massas das buchas analisadas com buchas novas. Assim, nota-se que as buchas inferiores foram as que mais perderam material. A bucha de bronze TM23 inferior perdeu $\pm 0,87\%$ (50g) de material, em quanto a bucha superior perdeu $\pm 0,35\%$ (20g) de material. Já para as buchas de PA6, a inferior perdeu cerca de $16,67\%$ (85g) de material e a superior perdeu cerca de $13,73\%$ (70g) de material, ainda assim, esses valores não mostram a realidade com clareza, pois a análise das buchas mostrou que houve adesão de particulados de aço na superfície das buchas, principalmente nas buchas poliméricas, com mais ênfase nas inferiores, que ficou com a borda cheia desse material, ou seja, a quantidade de material perdido principalmente pelas buchas de PA 6 tende a ser maior.

Tabela 2: Massas Aferidas

	BRONZE TM 23	TCAST T MO (PA6)
NOVA	5,735 Kg	0,510 Kg
bucha 1 (inferior)	5,685 Kg	0,425 Kg
bucha 2 (superior)	5,715 Kg	0,440Kg
Tempo de uso	+ 4 anos	+ 2 anos

Fonte: Autor 2022

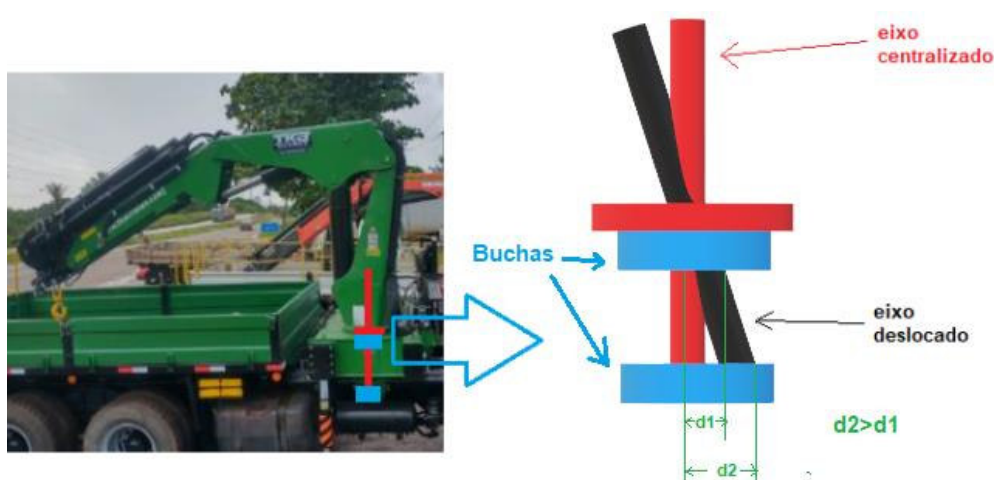
7. Discussões

Em se tratando das partículas aderidas as superfícies das buchas nota-se que as buchas de bronze, apesar de possuírem marcas de desgaste provocados por essas partículas, poucas delas se fixaram na superfície do material, a maioria causou o desgaste e em seguida foram expelidas. Por outro lado, na superfície das buchas de Poliamida 6, estes particulados se depositaram em grande quantidade, e, ao invés de causar desgaste abrasivo por rolamento estes se incrustaram no ponto em que foram esmagados pelas duas superfícies em contato, podendo continuar a causar danos ao eixo a cada movimentação.

As buchas que ficaram posicionadas na parte inferior do munk tiveram maior desgaste. No caso da bucha de PA 6, a quantidade de particulados aderidos a sua superfície da bucha inferior foi muito superior por conta da ação da gravidade que faz com que os particulados caiam para baixo.

Quanto ao posicionamento, o desgaste menos elevado nas buchas superiores talvez possa ser associado às forças atuantes na mesma, que por estar localizada na parte cima teria uma distribuição de carga menos efetiva, como a parte inferior é que recebe maior parte da força segundo a regra da alavanca, pois como fala Hibbeler, 2015 [19], a força terá maior intensidade nas extremidades da barra se esse for o local mais distante do ponto de apoio, e nesse caso é onde o deslocamento é maior, como mostra a Figura 31.

Figura 31: Deslocamento do eixo (A representação foi exagerada para melhor visualização)



Dentre os dois materiais para as buchas, nota-se que apesar das buchas de bronze terem sido utilizadas por mais tempo como mostra a Tabela 2, elas tiveram menor perda de material. Pode se dizer que o nível de desgaste foi menor nas buchas de bronze. Em contra partida, o custo médio das buchas poliméricas é cerca de 700 reais enquanto as buchas de bronze podem custar até mais que o triplo das poliméricas.

Mais pesadas e mais caras, as buchas de bronze parecem não ser muito viáveis, mas elas compensam em maior tempo de uso até a troca, porém, a indústria já vem substituindo estas buchas de bronze pois, as de polímero são relativamente baratas, principalmente para as montadoras que compram em grandes quantidades, possuem menor peso, o que facilita tanto no transporte quanto na instalação, e além disso já se mostraram eficientes.

8. Considerações Finais

Este trabalho analisou o desgaste sofrido por buchas de bronze TM 23 e de Poliamida 6 (PA 6) – TCAST T MO black.

Os resultados mostraram que ambas as buchas sofreram desgaste, onde as buchas Poliamida 6 (PA 6) – TCAST T MO black, tiveram grande acúmulo de particulado e foram as que mais perderam material por conta do desgaste sofrido.

As buchas posicionadas na parte inferior, foram as que tiveram maior percentual de desgaste e acúmulo de particulado por conta do contato entre as superfícies de aço do eixo e da cremalheira estarem acima destas buchas, assim, esses particulados ao se desprenderem caem por conta da gravidade, resultando no depósito deles em maior quantidade nas buchas inferiores.

Em se tratando de reciclagem, ambos os materiais das buchas, PA6 e bronze TM 23, podem ser reciclados, apesar da poliamida 6 demandar menos energia e poder ser transportadas em maior volume, por ser mais leve, é muito útil a reciclagem do bronze tanto para preservação do meio ambiente quanto pelo fato de seu principal componente, o cobre (Cu) ser bastante utilizado e não ser encontrado em grandes quantidades neste planeta como o ferro (Fe).

A bucha de bronze foi a que se saiu melhor durante a análise feita, sofrendo menos desgaste, mas por serem mais caras e ter maior massa, estão sendo aos poucos substituídas.

Referências

- [1] NORTON, R. L.; **Projeto de Máquinas: Uma abordagem integrada**. 4ª ed. Proto Alegre: Bookman, 2013. 1028 p.
- [2] AMORIM, Gabriel. EFEITO DA ADIÇÃO DE VANÁDIO NO DESGASTE POR ROLAMENTO COM DESLIZAMENTO EM RODAS FERROVIÁRIAS. 2018. 99 p. Dissertação (Mestrado) - Estudante, Unicamp, 2018.
- [3] CUNZOLO, M.; DURÃES, M. **Caminhão munck substitui guindaste com vantagem em operações leves**. [S. l.]: Guia do TRC, 21 fev. 2017. Disponível em:<<http://www.guiadotrc.com.br>>. Acesso em: 20 nov. 2022.
- [4] ROZA, J. **Elementos de Apoio**. Instituto Federal Catarinense, p. 1-75, 2016. Disponível em:<<https://professor.luzerna.ifc.edu.br/david-jose/wp-content/uploads/sites/25/2016/11/02-Elementos-de-Apoio.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2022.
- [5] TKA (Flores da Cunha - RS). **Manual de integração e montagem**. Disponível em <https://pampeiro.com.py/download/gruas_y_canastillas/ManIntVeic.pdf>. Acesso em 01 dez 2022.
- [6] THECNOLUB (São Paulo - SP). Thecnolub. *In: Bucha de bronze tm 23*. São Paulo-SP, 28 out. 2022. Disponível em: <www.thecnolub.com.br/bucha-bronze-tm-23>. Acesso em: 31 out. 2022.
- [7] ENSIGNER INDUSTRIAS PLASTICOS TECNICOS LTDA (Leopoldo-RS). **TECAST T MO black - Semiacabados**. *In: TECAST T MO black - Semiacabados*. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 23 maio 2017. Disponível em: <www.ensingerplastics.com.br>. Acesso em: 23 nov. 2022.
- [8] STOETERAU, R. L.; Leal, L. C. **“Apostila de Tribologia. Departamento de Engenharia Mecânica”** - Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

- [9] MAIER, M. A. L. **Desenvolvimento de bancada para estudos tribológicos em mancais deslizantes**. Orientador: Carlos Renato Paggoto. 2016. 107 p. TCC (Graduação) - Estudante, Juiz de Fora, 2016.
- [10] MENDES, S. S.; “**Estudo da dinâmica de Lubrificação em um Sistema Mecânico Mancal Deslizante**”, UFJF, 2014.
- [11] SILVA, Narciane. ESTUDO DO DESGASTE DE COMPONENTES DE SISTEMAS DE AMARRAÇÃO DE PLATAFORMAS OFFSHORE. Projeto de Graduação, UNB, p. 1-65, 22 jun. 2016. Disponível em: <https://bdm.unb.br/bitstream/10483/14391/1/2016_NarcianeLorenaMunizdaSilva_tcc.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2022.
- [12] FILHO, A. L; SOUSA, A. V; MOREIRA, F. C. **Análise de Desgaste e Desempenho de Eixo Motriz em Função da Lubrificação**. AEDB, Simpósio de excelência em gestão e tecnologia, p. 1-16, 27 ago. 2018. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos18/17226180.pdf>> Acesso em: 22 nov. 2022.
- [13] SILVA, F.N. **Desgaste corrosivo-cavitativo-erosivo de um aço-carbono em meio aquoso com frações de sal (NaCl), CO₂ e particulados solidos (SiO₂)**. Programa de pos graduação em eng. mecanica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, p. 1-208, 24 ago. 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15699/1/FernandoNS_DISSERT.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2022.
- [14] FONSECA, Lúcia. Reciclagem: o primeiro passo para a preservação ambiental, Centro Universitário Barra Mansa, p. 1-30, 17 maio 2013. Disponível em: <<https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/reciclagem.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2022.
- [15] VEIT, Hugo. **Reciclagem de materiais metálicos: cobre**. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/napead/projetos/reciclagem-materiais-metalicos/creditos.php>>. Acesso em: 8 dez. 2022.

[16] TEMPERFRIO. Temperfrio: distribuição e importação de peças para refrigeração LTDA. c2022. Disponível em: <<https://www.temperfrio.com.br/produto.php?produto=190-balana-eletrnica-15kg-prix-3-sem-bateria-e-sem-sada-serial-toledo>> Acesso em: 5 dez. 2022.

[17] MEDINGER, A. **Solidworks | como modelar e calcular o pinhão da torre de giro de um guindaste**. Produção: Andreu Medinger. You tube: [s. n.], 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=phQA0789coM>>. Acesso em: 26 out. 2022.

[18] MOTORSERVICE (São Paulo). Knowledgepool: Danos em bronzinas. Kolsbenschmidt, Rheinmetall, n. MS motorservice International GmbH, p. 2-72, 29 nov. 2022. Disponível em: <https://www.ms-motorservice.com.br/fileadmin/media/MAM/PDF_Assets/Danos-em-bronzinas_924790.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2022.

[19] HIBBELER, Russell Charles. Resistência dos materiais. 7.ed. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2015. 637. p. ISBN: 8576053736.