

CENTRO UNIVERSITARIO ASSIS GURGACZ

ROBERTO SHODI INAGAKI

**ANÁLISE DA LIGA DE ALUMÍNIO-CHUMBO NOS PARÂMETROS DUREZA E
DESGASTE DE MANCAL DESLIZANTE**

**CASCABEL
2018**

CENTRO UNIVERSITARIO ASSIS GURGACZ

ROBERTO SHODI INAGAKI

**ANÁLISE DA LIGA DE ALUMÍNIO-CHUMBO NOS PARÂMETROS DUREZA E
DESGASTE DE MANCAL DESLIZANTE**

Trabalho apresentado à disciplina de Trabalho de conclusão de curso II, do Curso de engenharia mecânica, do Centro Universitário Assis Gurgacz – FAG, com requisito parcial para obtenção do título de bacharel em engenharia mecânica.

Professor Orientador (a):
José Claudio Terra Silveira

CASCADEL
2018

CENTRO UNIVERSITARIO ASSIS GURGACZ

ROBERTO SHODI INAGAKI

**ANÁLISE DA LIGA DE ALUMÍNIO-CHUMBO NOS PARÂMETROS DUREZA E
DESGASTE DE MANCAL DESLIZANTE**

Trabalho apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica do Centro Universitário Assis Gurgacz, sob a orientação do professor José Claudio Terra Silveira.

BANCA EXAMINADORA

Orientador (a) Prof. José Claudio Terra Silveira
Centro Universitário Assis Gurgacz - FAG
Engenheiro mecânico

Professor Esp. Geovane Duarte Pinheiro
Centro Universitário Assis Gurgacz - FAG
Engenheiro de controle e automação

Professor Me. Rogério Luiz Ludegero
Centro Universitário Assis Gurgacz - FAG
Engenheiro mecânico

Cascavel, 07 de dezembro de 2018.

AGRADECIMENTO

A o Centro Universitário Assis Gurgacz, pelo ambiente cedido para realização do trabalho.

A o professor orientador Jose Claudio Terra Silveira, pelo apoio e dedicação para a elaboração desse trabalho.

Aos laboratoristas da universidade, pela atenção e ajuda na coleta de dados.

A empresa Avicéu, pela ajuda na compra dos materiais.

A o leitor e a banca avaliadora, por estar dedicando o tempo de estar lendo e avaliando este projeto.

Por fim agradeço aos meus pais e amigos, pelo apoio e companheirismo nas horas difíceis que passei durante este período.

RESUMO

No presente trabalho realizou o estudo sobre o comparativo do desempenho de uma nova liga de alumínio ainda não normalizada com uma liga normalizada, através de ensaios de dureza e desempenho em desgaste de ambas as ligas alumínio-chumbo com a liga existente alumínio-estanho (ISO 6279), o assunto veio através da busca de novos materiais para bucha de mancais de deslizamento e pelas busca de novos materiais capazes de oferecer mais vida útil e maior tempo de funcionamento do equipamento, foi encontrado em uma das pesquisas a patente norte americana PI 8907895-0 A2 que despertou o interesse em testar essa liga. Os inventores dessa ideia criaram um material para bucha de mancal radial de contato direto através da fundição utilizando alumínio e chumbo. A tentativa foi de criar um material de qualidade igual ou superior á liga alumínio-estanho. O objetivo do trabalho é então de realizar um comparativo da liga de alumínio-chumbo, nos testes de dureza e desempenho em desgaste desse material com uma liga alumínio-estanho ISO 6279 (AlSn20Cu). A metodologia utilizada foi de fundir o alumínio (ABNT 6063) com o chumbo em uma proporção de 15% e fundir o alumínio ABNT 6063 com o estanho na proporção de 20% e 1% de cobre em peso, a realização dos testes de dureza foi através dos corpos de provas testado na maquina de ensaio de dureza no laboratório de metalografia do Centro universitário Assis Gurgacz e na sequência realizado os testes de desempenho em desgaste em uma banca desenvolvida para simular o funcionamento do elemento, ao final de todo o processo concluiu que o material tem um desempenho considerável, comparando com a liga alumínio-estanho.

Palavras-chave: Mancais. Dureza e desgaste. Liga alumínio-chumbo. Liga alumínio-estanho.

Abstract

In this paper the study was carried out on the comparison of the performance of a new alloy non-normalized yet with a normalized alloy, through tests of hardness and wear performance of both aluminum-lead alloys with the existing aluminum-tin alloy (ISO 6279), the issue came through the search for new materials for sliding bearing bush and the search for new materials capable of offering longer life and longer time of the equipment operation, it was found in one of the researches the US patent PI 8907895-0 A2 which aroused interest in testing this alloy. The inventors of this idea, to create a material for radial bearing bushing for direct contact through the foundry using aluminum and lead. The attempt was to create a material of equal or superior quality to the aluminum-tin alloy. The objective of the work is to perform a comparison of the aluminum-lead alloy in the hardness tests and wear performance of this material with an aluminum alloy ISO 6279 (AlSn20Cu). The methodology used was to melt the aluminum (ABNT 6063) with the lead in a proportion of 15% and to melt the aluminum ABNT 6063 with the tin in a proportion of 20% and 1% of copper by weight, the hardness tests were performed through the specimens tested in the hardness test machine in the metallography laboratory of the Assis Gurgacz University Center and in the sequence were performed the tests of development in wear, it was done on a bench developed to simulate the functioning of the element, at the end of the whole process it was concluded that the material performs considerably compared to the aluminum-tin alloy.

Keyword: Bearings. Hardness and Wear. Lead-aluminum alloy. Aluminum-tin alloy.

LISTA DE FIGURA

Figura 1- Mancal radial	13
Figura 2 - Mancal axial.....	13
Figura 3 - Mancal mista.....	13
Figura 4 - Casquilho semicilíndrico do mancal.....	16
Figura 5 - Balança de precisão	20
Figura 6 - Materiais já separado e pesado	21
Figura 7 – Moldes.....	21
Figura 8 - Forno Mufla.....	22
Figura 9 - Processo de usinagem dos tarugos das ligas de alumínio	23
Figura 10 - Corpos de prova depois de usinado	24
Figura 11 - Máquina lixadora e polidora	24
Figura 12 - Lixas utilizadas para o processo de lixamento.....	25
Figura 13 - Materiais utilizados para o processo de polimento	25
Figura 14 – Durômetro	26
Figura 15 - Projetor de perfil	27
Figura 16 - Buchas após usinas e marcadas para determinação das medidas	28
Figura 17 - Micrômetro interno de três pontas	28
Figura 18 - Micrômetro externo e pino de ajuste	30
Figura 19 – Eixos com as divisões	30
Figura 20 – Haste.....	32
Figura 21 - Bucha com o furo para a entrada de lubrificante	32
Figura 22 - Banca de teste	33
Figura 23 – Fina camada de chumbo no fundo	34
Figura 24 - Imagem da superfície dos eixos.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela com as medidas em milímetro do diâmetro interno das buchas com o número da peça e posição, conforme figura 16	29
Tabela 2 - Medidas do diâmetro do eixo em milímetro e posição, conforme figura 19.....	30
Tabela 3 - Tabela de dureza das ligas.....	36
Tabela 4 - Tabela com as médias das durezas em HB das ligas testadas	36
Tabela 5 - Medidas em milímetro do diâmetro da bucha após o teste, conforme figura 16	37
Tabela 6 - Total desgastado em milímetro das buchas das ligas de alumínio.	38
Tabela 7 - Medida do diâmetro do eixo após os testes em milímetro, conforme figura 19	39
Tabela 8 - Total desgastado do eixo após os testes em milímetro, conforme figura 19.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT- Associação brasileiras de norma técnica

ISO - International Organization for Standardization

HB – Hardness Brinell

mm – Milímetros

CV - Cavalo-vapor

RPM – Rotações por minuto

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	9
1.1 ASSUNTO/ TEMA	9
1.2 JUSTIFICATIVA	9
1.3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	10
1.4 FORMULAÇÃO DAS HIPÓTESES	10
1.5 OBJETIVOS DA PESQUISA	10
1.5.1 Objetivo geral	10
1.5.2 Objetivos específicos	11
CAPÍTULO 2	12
2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1.1 Mancais	12
2.1.2 Dureza e desgaste	13
2.1.3 Liga alumínio-estanho	15
2.1.4 Liga alumínio-chumbo	16
CAPÍTULO 3	18
3.1 ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO	18
3.2 MATERIAIS	19
3.3 MÉTODO	19
3.3.1 Processo de fabricação dos corpos de prova da liga alumínio-chumbo	19
3.3.2 Processo de fabricação da liga alumínio-estanho	22
3.4 ANÁLISE DA DUREZA DO MATERIAL	23
3.4.1 Processo de usinagem dos corpos de prova	23
3.4.2 Processo de polimento e lixamento dos corpos de prova	24
3.4.3 Processo teste da dureza do material	26
3.5 DESENVOLVIMENTOS DA BANCA PARA O TESTE DE DESGASTE DE MANCAL	27
3.5.1 Processo de usinagem do material	27
3.5.2 Processo de aferição de medidas antes de iniciar o teste de desgaste	27
3.5.3 Desenvolvimento e teste da banca de teste de desgaste	31
CAPÍTULO 4	34
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
4.1.1 Análises do processo de fundição das ligas de alumínio	34

4.1.2 Análise da dureza do material	35
4.1.3 Desempenho dos materiais na banca de teste	37
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	41
REFERÊNCIAS	42
ANEXOS	44

CAPÍTULO 1

1.1 ASSUNTO/ TEMA

Assunto comparativo do desempenho de uma nova liga de alumínio com uma liga normalizada (ISO 6279).

O tema é sobre o comparativo do desempenho via ensaio de dureza e desgaste da liga em desenvolvimento alumínio-chumbo com a liga existente alumínio-estanho (ISO 6279).

1.2 JUSTIFICATIVA

As ligas de alumínio para fundição são ligas que estão sendo desenvolvida no sentido de melhorar as propriedades mecânicas do alumínio como, resistência mecânica, ductilidade, resistência ao desgaste. As ligas de alumínio são metais não ferrosos, são materiais metálicos que não contêm o elemento ferro em sua composição, como o cobre, zinco, chumbo, estanho, magnésio e entre outros (SMITH, 1998, p. 17 e p. 540).

O que leva a estudar a liga alumínio-chumbo são as diversas aplicações do alumínio e suas diversidades tendo ótimas características de baixa densidade, resistência específica grande ductilidade e resistência á corrosão, o chumbo por ser um material muito utilizado como elemento de liga de alto lubrificante que reduz o atrito e o desgaste das peças que estão em contato com esse material.

A liga de alumínio-chumbo é uma liga pouco conhecida. O primeiro material encontrado descrevendo sobre a liga é de um experimento realizado pelos norte americano George C. Pratt e Warren J. Whitney. Segundo Pratt e Whitney (1992), a origem dessa ideia veio da liga de alumínio-estanho, á decisão de trocar o estanho por chumbo, é devido a sua abundancia de material. A liga foi feito em um processo de fundição, onde foi refinar o chumbo e depois diluir ao alumínio em fusão e na sequencia derramado em um molde. Foi utilizada para mancais de deslizamento com uma proporção de 15% de chumbo em peso de alumínio. O experimento não trás com clareza os resultados obtidos.

Atualmente vem tendo uma grande utilização de mancais de deslizamento, a utilização desse elemento é pela sua capacidade de suportar grandes cargas, trabalhar em condições severas sem lubrificação e não possui partes moveis. Os mancais de deslizamento são muito

utilizados em máquinas pesadas, articulações de pás-carregadeiras, equipamentos agrícolas, de elevação e transporte, entre outros (REVISTA MANUTENÇÃO E TECNOLOGIA, 2012).

Os mancais de deslizamento são elementos que são projetados para ter longa vida útil, se desgastam antes dos componentes mais caros e seu custo em relação ao tempo é barato, o sistema de auto-lubrificante dispensa a utilização de graxa que evita a contaminação, a precisão após o desgaste é boa mesmo nas piores condições (REVISTA MANUTENÇÃO E TECNOLOGIA, 2012).

Para a sociedade tem como vantagem uma atualização dos dados da liga chumbo-alumínio e pode ser usado como material alternativo na fabricação de mancais. Tem uma grande relevância para o meio acadêmico, pois alimenta o banco de dados de materiais que se têm poucos conhecimento, e que futuramente possa ser utilizado como material para aplicação em projeto.

1.3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

É possível utilizar a liga alumínio-chumbo em mancais de deslizamento que tenha desempenho melhor do que a liga alumínio-estanho?

1.4 FORMULAÇÃO DAS HIPÓTESES

H_0 – A liga alumínio-chumbo terá um desempenho inferior à liga alumínio-estanho.

H_1 – A liga alumínio-chumbo terá um desempenho igual à liga alumínio-estanho.

H_2 – A liga alumínio-chumbo terá um desempenho superior à liga alumínio-estanho.

1.5 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.5.1 Objetivo geral

Comparar a liga de alumínio-chumbo em desenvolvimento com a liga alumínio-estanho ISO 6279 através dos ensaios de dureza e desgaste.

1.5.2 Objetivos específicos

- Fabricar corpo de prova de liga alumínio-chumbo e liga alumínio-estanho (ISO 6279), através do processo de fundição para o ensaio de dureza e desgaste.
- Ensaiar os corpos de provas de liga alumínio-chumbo e liga alumínio-estanho (ISO 6279) nos ensaios de dureza e desgaste.
- Comparar a liga alumínio-chumbo com a liga alumínio-estanho (ISO 6279) usando os resultados obtidos nos ensaios.

CAPÍTULO 2

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1.1 Mancais

Mancais são elementos que permitem o movimento entre superfícies, o dispositivo é utilizado para suportar carga e dar apoio adequado ao eixo e componentes gerais de uma transmissão (PANZERA, 2007).

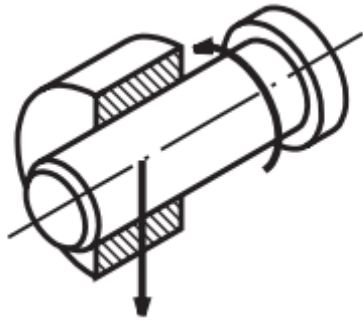
Atualmente os mancais mais conhecidos são os mancais de rolamento cujo movimento é feito pelos elementos rolantes, mancais de contato direto, onde o coeficiente de atrito é baixo, o que possibilita o deslizamento rotativo dos elementos, mancais de filme fluido, que uma fina camada de fluido ajuda a minimizar o atrito, mancais magnéticos, cujo atrito é eliminado pela repulsão magnética (PANZERA, 2007). Stoeterau (2004) define mancal como sendo “um elemento de máquina que geralmente possui apenas um grau de liberdade, permitindo apenas movimento de rotação”.

Toda vez que duas partes têm movimento relativo, elas constituem um mancal, por definição não levando em consideração sua forma ou disposição. Mancais têm movimentos de escorregamento, rolamento ou ambos simultaneamente (WANDEMBRUCK e BARIONI, 2015).

Os primeiros mancais surgiram com a fabricação dos carros de boi, veículo muito utilizado para transporte de carga, onde não há veículo automotor. O carro de boi é constituído de duas guias, carroceria, eixo e roda. O eixo é preso à carroceria por meio dos dois pedaços de madeira que são as guias, nas pontas do eixo são presos às rodas. As duas guias e o eixo constituem o mancal. No ponto de contato entre a superfície do eixo e a superfície do mancal, ocorre também o atrito e o desgaste. (ESSEL, 2016).

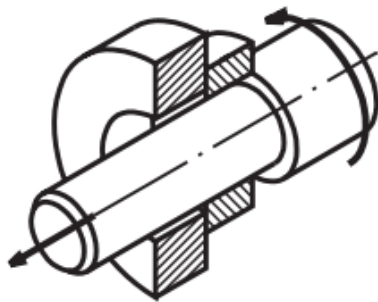
Segundo Stoeteraus (2004), “os mesmos apresentam elevada precisão de giro, podendo encontrar aplicações muito específicas em máquinas-ferramenta”. Os mancais de deslizamento de contato direto de lubrificação a seco são divididos em mancal radial (figura 1), esse tipo de mancal é usado para suportar o esforço no sentido vertical, mancal axial (figura 2), a força atuante está sobre o mancal, no sentido paralelo ao eixo, mancal misto (figura 3), utilizada para suportar esforços no sentido radiais e axiais são exigidos, normalmente são requeridos dispositivos de fixação, sendo por isso pouco empregado (ESSEL, 2016).

Figura 1- Mancal radial



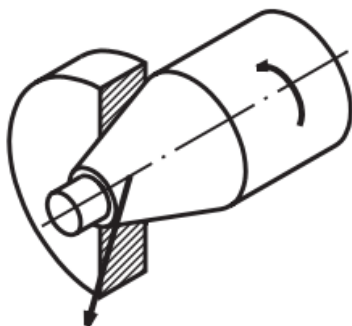
Fonte: ESSEL, (2016).

Figura 2 - Mancal axial



Fonte: ESSEL, (2016).

Figura 3 - Mancal mista



Fonte: ESSEL, (2016).

2.1.2 Dureza e desgaste

Desgaste é um fenômeno muito comum que acontece entre os mancais de contato direto, isso é resultante do atrito entre o eixo ou árvore que estão em contato com o material

alto lubrificante do mancal, o atrito causa uma retirada de material superficial da parte mais mole (mancal), para isso quando se deseja projetar um equipamento que utiliza um desse elemento é necessário fazer superdimensionamento de componentes (WANDEMBRUCK e BARIONI, 2015). O desgaste de peças na indústria causa uma perda significativa de rendimento do sistema de transmissão, muitas vezes quando se tem um desgaste muito elevado é necessário realizar uma manutenção para não perder a precisão ou outros elementos através do desgaste, (BAPTISTA e NACIMENTO, 2009).

Para Wandembruck (2015), define desgaste, como sendo, “Desgaste é o dano de uma superfície sólida, quando ocorre perda progressiva de material devido à interação com outro corpo”. Quando dois materiais estão em contato, as pontas das asperezas e a real área em contato determina a deformação do material nas áreas em que existe a aplicação dos carregamentos, área a qual é pequena. Visto o desgaste do âmbito fenomenológico, divide-se em: por adesão, abrasão, fadiga (NUNES, 2008).

O desgaste por adesão acontece devido ao processo em que é transferido material de uma superfície para outra durante o movimento relativo entre elas (NUNES, 2008). Dentre os fatores que aumentam o desgaste por adesão, destacam-se coeficiente de deslizamento entre os materiais, dureza e relações das áreas de contato (DETTOGNI, 2010), desgaste por abrasão, é quando um material que tem uma dureza e rugosidade muito elevada desliza sobre um material mais mole e de menos rugosidade e há uma retirada de material ou um amassamento, segundo Wandembruck e Barioni (2015), “os fatores que influenciam no desgaste, são tamanhos das partículas, formato das partículas, dureza, acabamento do material, ângulo de incidência da partícula no material do mancal”, desgaste por fadiga, acontece quando as concentrações de tensão são maiores que as do material podem suportar.

Segundo Mendes (2014), “Um material com grande resistência à deformação plástica permanente também terá alta resistência ao desgaste, alta resistência ao corte e será difícil de ser riscado, ou seja, será duro em qualquer uma dessas situações”.

A dureza é uma propriedade importante é uma medida que estima o quanto um material resiste á deformação plástica localizada quando uma força conhecida é aplicada, a propriedade é muito utilizada para estudos de pesquisa mecânica e metalúrgica, (MENDES, 2014).

Existem diferentes modos de avaliar a dureza de um material, com isso surge varias escalas. Atualmente existentes vários tipos de escala de dureza e métodos como Rockwell, Brinell, Mohs, Vickers, knoop e entre outras medidas.

A dureza Rockwell, é um ensaio de dureza mais utilizada, pela facilidade e rapidez de sua execução, já que o resultado pode ser lido diretamente na máquina, esse ensaio utiliza um penetrador de aço para materiais macios e um cônico de diamante para materiais duros, a medição é representada na unidade (HR), (MENDES, 2014).

A dureza Brinell é um processo que comprimi lentamente uma esfera de aço temperado de diâmetro conhecido sob a superfície plana, polida e limpa de um metal de teste, por meio de uma aplicação de força determinada, por um tempo pré-estabelecido, formando uma calota esférica permanente na superfície do material. Essa calota é medida com o auxílio de uma lupa graduada e o tamanho do diâmetro obtido é comparado com uma tabela para a determinação da dureza do material em escala (HB). (LIMA; YURGEL e SCHAEFFER , 2010).

A dureza vickers, é uma medida feita com base na penetração de uma ponta losangular com ângulo 136° na superfície do corpo de prova, posteriormente é relaciona a carga aplicada com o tamanho da impressão e a escala Brinell, essa escala é indicada para grandes precisões na determinação de resultado (LIMA; YURGEL e SCHAEFFER , 2010).

2.1.3 Liga alumínio-estanho

Segundo Smith (1998, p.423, p.424), o alumínio é um dos materiais mais abundantes na crosta terrestre, ela é encontra ligada com outros elementos como ferro, silício e entre outros, atualmente, cerca de 25% do alumínio produzido é utilizado na fabricação de latas de bebidas, 25% é utilizado no setor de transporte, aproximadamente 15% é utilizado no setor de construção, 15 % em aplicações elétricas, 20% em outras aplicações.

O alumínio tem as propriedades de boa resistência á corrosão, excelente resistência especifica, tem alta condutividade térmica e elétrica, tem baixa dureza e baixa resistência ao resgaste (SMITH, 1998,p.423).

A liga alumínio-estanho (Al-Sn) é uma liga utilizada em mancais como componente anti-fricção. Segundo Barbosa (2017), “Os componentes anti-ficção são utilizados em motores e outros tipos de dispositivos, nos quais atuam carregamentos dinâmicos em condições de atrito entre superfícies metálicas, como no caso de mancais que envolvem eixos rotatórios”.

A liga de alumínio-estanho deve apresentar a características de superfície deslizante que minimize o atrito com o eixo girante ou algum outro elemento que lhe transmita esforços mecânicos que exijam considerável resistência ao desgaste, além de adequada lubricidade, que favoreça o deslizamento entre o eixo ou peça semelhante como mancal ou componente de

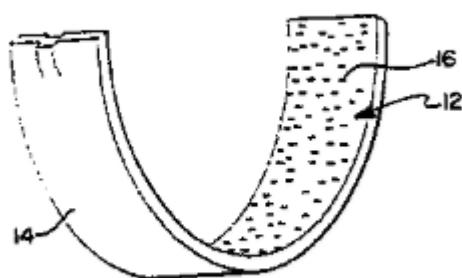
suporte (BARBOSA, 2017). Atualmente a liga de alumínio-estanho são fabricadas por fundição e classificada pela *Aluminum Association* e são representada pela serie 8xx.x. A partir dos anos 60 foi introduzida no mercado a liga de alumínio-estanho com proporção de 20% de estanho e 1% de cobre e o restante com alumínio (INFOMET, 1998).

2.1.4 Liga alumínio-chumbo

A liga de alumínio-chumbo é uma liga pouco não normalizada. Segundo informações coletadas em um dos experimentos realizado pelos Pratt e Whitney, inventaram um material que tivesse a características igual ou superior a liga alumínio-estanho. No experimento realizado obtiveram os resultados não muito agradáveis, mas, porém já tiveram informações do comportamento do chumbo na composição, segundo os inventores Pratt e Whitney (1992), “O revestimento de bimetel após ligação ao aço, não tem variação na composição de chumbo, porém contém tiras de chumbo, que são muito menores do que aquelas produzidas pelos processos de fundição existentes usados para ligas de alumínio-estanho”.

No experimento foram usados casquilhos com a liga alumínio-chumbo nos mancais (figura 4), verificou se também que a microestrutura também interfere na capacidade de suportar carga, quanto maior for a micro estrutura, maior é a capacidade de suportar carga nos mancais. (PRATT E WHITNEY, 1992).

Figura 4 - Casquilho semicilíndrico do mancal



Fonte: (PRATT, 1992).

O interesse no alumínio como material para mancais resultou da tentativa de aumentar a capacidade de carga dos mancais sem incorrer nos problemas de fabricação apresentados pelas ligas cobre-chumbo, (SOARES e GUERRA, 2006).

Em outro processo a liga de alumínio-chumbo é usada em camadas de materiais, normalmente o mancal tem de uma, duas ou três camadas, fabricados com ligas de alumínio, podem atualmente trabalhar na mesma faixa de carga, ligas de cobre-chumbo e bronze com alto teor de chumbo, elementos como silício, cobre, níquel, magnésio e manganês aumentam a resistência mecânica (SOARES E GUERRA, 2006).

CAPÍTULO 3

O trabalho se trata de uma pesquisa experimental, com a finalidade de provar a hipótese que diz respeito à convicção ao pesquisador, ela envolve grupos de controle seleção aleatória e manipulação de dados, busca-se generalização por meio de técnicas de coleta de amostragem realizada durante a experiência.

A pesquisa é de cunho qualitativo e quantitativo, tem como objetivo de compreender fenômenos através de coletas de dados, estudando as particularidades específica de cada elemento, é usado para fornecer informações sobre problema, desenvolvimento de ideia e hipóteses para pesquisa.

3.1 ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO

Neste capítulo são detalhados os materiais utilizados bem como o método utilizado durante o experimento e suas etapas.

As etapas do trabalho são:

- Comprar materiais para a fabricação das buchas (alumínio 6063, chumbo, estanho, cobre).
- Fundir os materiais com as suas respectivas proporções para fabricação das ligas.
- Usinar os tarugos fabricados no processo de fundição.
- Preparar os corpos de prova para o teste de dureza através do lixamento e polimento.
- Realizar o teste de dureza nos corpos de provas.
- Usinar os corpos de prova realizando o processo de abertura do furo central onde irá passar o eixo.
- Desenvolver e montar a banca de teste de desgaste.
- Medir o diâmetro interno das buchas e o diâmetro externo do eixo.
- Testar as buchas na banca de teste de desgaste.

- Medir novamente o diâmetro interno da bucha e o diâmetro externo do eixo após o termino dos testes.

3.2 MATERIAIS

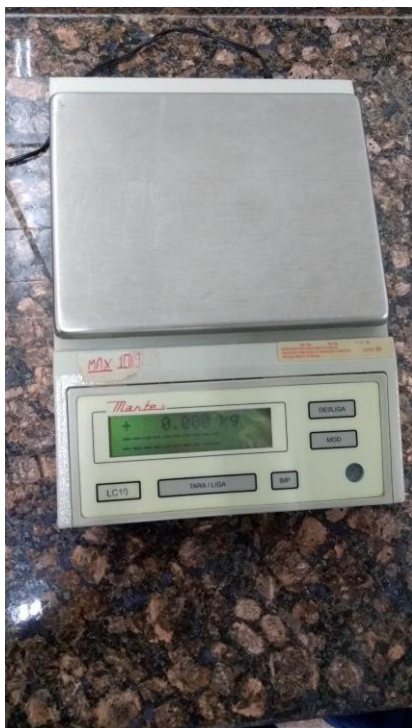
Os materiais a serem utilizados como corpos de prova é uma bucha com a liga alumínio-chumbo e outra com a liga alumínio-estanho usado como forma de comparação, barra chata de alumínio (6063), chumbo de pesca, barras de estanho da marca (SOFT), recipientes feitos de tubos de aço (8 x 8), barras de aço ABNT 1020 trefilado de diâmetro 25 mm por 500mm de comprimento, motor monofásico de 0,25 CV, barra chata de aço de 6,5mm de espessura 38,5 mm de largura e 500mm de comprimento, abraçadeira para suporte, 4 anéis elásticos, forno tipo Mufla do laboratório de metalografia, moldes para a confecção de corpos de prova, areia para isolamento térmico, balança de precisão, micrometro interno para coletar medidas, micrometro externo para coletar medida do eixo, torno mecânico para acabamento das peça fundida e laboratório de metalografia para a análise da dureza do material do Centro Universitário Assis Gurgacz.

3.3 MÉTODO

3.3.1 Processo de fabricação dos corpos de prova da liga alumínio-chumbo

Para confecção da liga foi utilizado, barra chata de alumínio de 25,4 x 3,17mm, chumbo de pesca, ambos os materiais passaram por um processo de pesagem em uma balança de precisão da marca (MARTE) (figura 5) do laboratório de ensaios mecânicos, estrutura e construção civil. A proporção utilizada é de 15% de chumbo e o restante de alumínio, que corresponde em uma mistura de 1Kg de liga alumínio-chumbo, 150gr de chumbo para 850gr de alumínio.

Figura 5 - Balança de precisão



Fonte: (Autor, 2018).

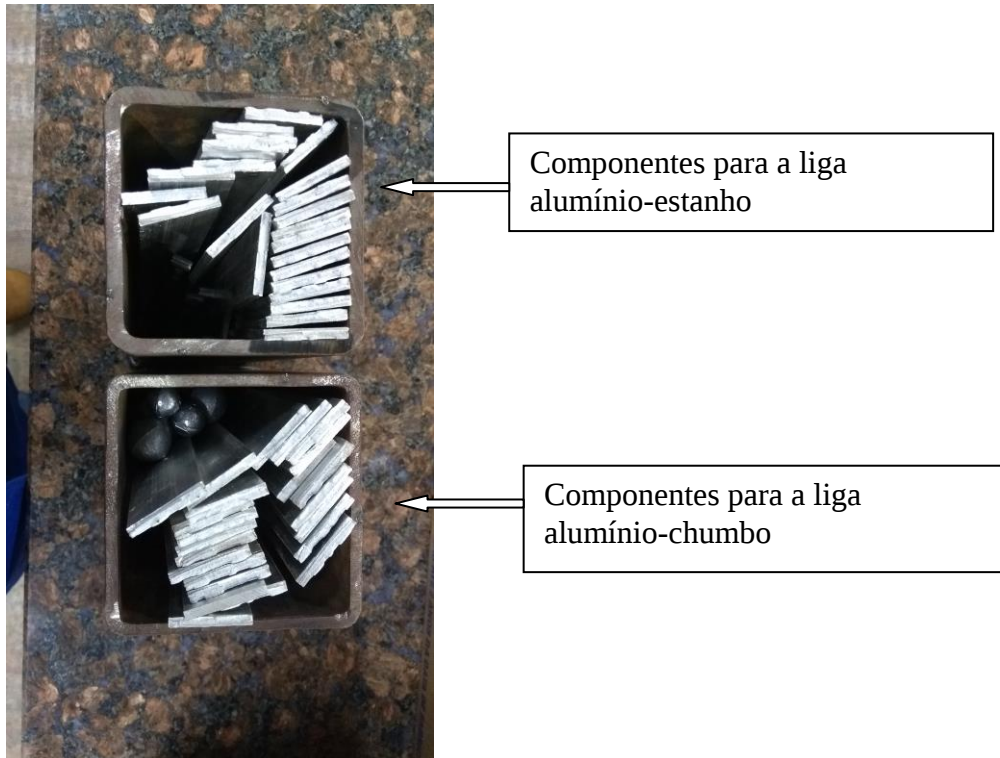
Os materiais foram colocados em um cadinho feito com tubo de aço de (80 x 80x 200 mm) (figura 6), foram levados a o forno do tipo Mufla da marca (JUNG) (figura 8) do laboratório de metalografia, a uma temperatura média de 850°C, até o derretimento do material.

Depois de fundir o material, foi retirado o cadinho do forno, com o auxílio de uma colher de metal, foi agitado para garantir uma mistura mais homogênea e colocada novamente ao forno com uma temperatura de 900°C, até o derretimento completo do material.

Durante o período de fundição foi preparado um molde, que foi utilizado uma caixa de madeira para dar sustentação, areia seca como isolante térmico, casco de inseticida aerossol com aproximadamente 200 mm de altura e 55 mm de diâmetro para conformação do corpo de prova (figura 7).

Na sequencia foi derramado á mistura no molde, que permaneceu ate a solidificação e resfriamento do corpo de prova.

Figura 6 - Materiais já separado e pesado



Fonte: (Autor, 2018).

Figura 7 – Moldes



Fonte: (Autor, 2018).

Figura 8 - Forno Mufla



Fonte: (Autor, 2018).

3.3.2 Processo de fabricação da liga alumínio-estanho

Para o processo de fabricação da liga alumínio-estanho, foi utilizado o mesmo processo de fabricação da liga alumínio-chumbo, porém com as diferenças nos elementos. Para criar a liga de alumínio-estanho AlSn20Cu , foi adicionado 1% de cobre e 20% de estanho. Ambos os materiais foram pesados na balança de precisão, para uma mistura de 1Kg, foi adicionado 10gr de cobre 200gr de estanho e 790gr de alumínio. Após passar pelo processo de pesagem, os elementos foram colocados em um novo cadinho (figura 6) e levados ao forno Mufla, com uma temperatura de 800°C até chegar ao ponto de derreter o alumínio e o estanho. Devido ao ponto de fusão do cobre ser de 1000°C , foi então elevado à temperatura do forno para 1000°C até derreter o cobre.

Na sequência é retirado o cadinho do forno para ser agitado, para obter uma mistura mais homogênea e então levado novamente ao forno com uma temperatura de 900°C por um tempo de 10 minutos. Ao término do tempo é derramado a mistura no molde. O procedimento de preparo do molde é o mesmo usado na liga alumínio-chumbo (figura7).

3.4 ANÁLISE DA DUREZA DO MATERIAL

3.4.1 Processo de usinagem dos corpos de prova

Para dar sequência do processo, as peças fundidas anteriormente (capítulo 3.2.1 e 3.2.2), passaram por um processo de usinagem para a retirada da camada externa da peça deixando em um diâmetro de 54 milímetros (figura 9). As peças passaram pelos procedimentos de faceamento e sangramento, para separar os corpos de prova e acabamento (figura 10). Todos os processos foram utilizados água para evitar o aquecimento do material.

Ambas as ligas passaram pelo processo de usinagem e obteve-se três corpos de prova com a liga alumínio-estanho e três com a liga alumínio-chumbo, totalizando seis corpos de prova com dimensões de 35 milímetro de comprimento e 54 milímetro de diâmetro.

Figura 9 - Processo de usinagem dos tarugos das ligas de alumínio



Fonte: (Autor, 2018).

Figura 10 - Corpos de prova depois de usinado



Fonte: (Autor, 2018).

3.4.2 Processo de polimento e lixamento dos corpos de prova

Para início do processo da determinação da dureza dos materiais, foi necessário realizar um processo de lixamento e polimento nos corpos de prova de ambas as ligas. Para o processo de lixamento foi utilizada a máquina que realiza o processo de lixamento, a POLIPAN da marca PANTEC (figura 11), utilizando uma rotação de 400 RPM e várias lixas de água com granulações diferentes, começou utilizando a lixa de granulação de 320 para retirada de riscos profundos nas peças, a segunda lixa com granulação de 400, terceira com 600, quarta com 1500 (figura 12).

Figura 11 - Máquina lixadora e polidora



Fonte: (Autor, 2018).

Figura 12 - Lixas utilizadas para o processo de lixamento



Fonte: (Autor, 2018).

Para o processo de polimento foi utilizado outra máquina de mesma marca e mesmo modelo, um folha coberta com pano com nomenclatura de (BOINA), com os produtos alumina em suspensão MICROPOLISH numero 4 com granulação de 1 micro metro e lubrificante DIAPOL da marca PANTEC (figura 13). Foi utilizada uma rotação de 600RPM.

O processo foi realizado em todos os corpos de prova e nos dois lados da peça, para que no processo de teste da dureza possa obter vários dados e obter a média da dureza dos dois lados do material.

Figura 13 - Materiais utilizados para o processo de polimento



Fonte: (Autor, 2018).

3.4.3 Processo teste da dureza do material

A análise foi feita no laboratório de metalografia do centro universitário FAG, utilizando o equipamento que mede a dureza da marca *mitutoyo*, (figura 14) usando a escala de medida *Brinel*. O processo utilizou uma ponta de aço de 5 milímetro e carga de ensaio de 62,5kgf

Figura 14 – Durômetro



Fonte: (Autor, 2018).

Para obter uma media do resultado do material, foi feito uma distribuição de pontos na face do material em aproximadamente 120° de distancia uma da outra, com três pontos próximos da borda e três pontos medianos com referencia ao centro. O processo foi realizado nas duas faces da peça e em todos os corpos de prova

Figura 15 - Projetor de perfil



Fonte: (Autor, 2018)

3.5 DESENVOLVIMENTOS DA BANCA PARA O TESTE DE DESGASTE DE MANCAL

3.5.1 Processo de usinagem do material

Os corpos de prova utilizados no processo anterior passaram por um processo de usinagem, realizando o procedimento de faceamento e a abertura do furo no centro da peça, obtendo o formato de bucha que serão utilizados para os testes de desgaste.

O processo foi realizado em todas as peças, com as dimensões de 34 milímetro de diâmetro externo, 25 milímetro de diâmetro interno e 30 milímetro de comprimento. As dimensões do diâmetro interno e comprimento forma adotadas da norma (NBR 14220-1), para deixar próximo das medidas padrões de fabricação de mancais.

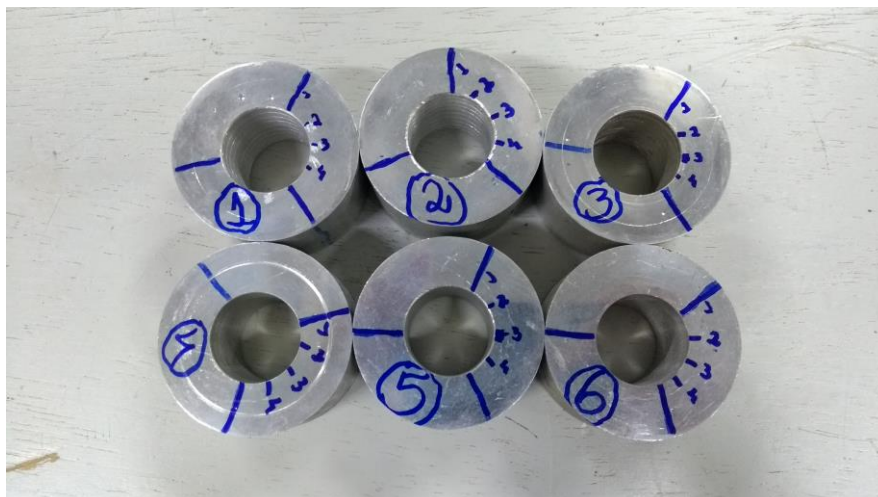
3.5.2 Processo de aferição de medidas antes de iniciar o teste de desgaste

Para obter o quanto que foi desgastado o material das buchas, foi realizado uma conferencia do diâmetro interno das buchas e o diâmetro externo do eixo, os dois processos utilizaram micrômetros para determinação das medidas mais exatas.

Foram feita quatro medidas em cada bucha, para que seja feito uma média das medidas, as posições forma marcadas nas buchas para que no final dos testes seja realizada novamente a conferência (figura 16).

O processo utilizou o micrômetro de três pontas da marca PANTEC com intervalos de medidas entre 25 a 30 milímetros e precisão de 0,005 milímetros (figura 17) e registradas na tabela com o numero das posições e o numero do corpo de prova (tabela 1).

Figura 16 - Buchas após usinas e marcadas para determinação das medidas



Fonte: (Autor, 2018).

Figura 17 - Micrômetro interno de três pontas



Fonte: (Autor, 2018).

Tabela 1 - Tabela com as medidas em milímetro do diâmetro interno das buchas com o numero da peça e posição, conforme figura 16

Numero da bucha	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Média
LIGA ALUMÍNIO-CHUMBO					
1	25,130	25,135	25,125	25,130	25,130
2	25,040	25,075	25,080	25,095	25,073
3	25,095	25,095	25,095	25,090	25,094
LIGA ALUMÍNIO-ESTANHO					
4	24,995	24,995	25,000	24,995	24,996
5	25,005	24,990	24,995	25,005	24,999
6	25,085	25,085	25,095	25,085	25,088

Fonte: (Autor, 2018)

Para obter as medidas do eixo, foi utilizado o micrômetro externo digital da marca PANTEC com os intervalos de medição entre 25 – 50 milímetros e precisão de 0,001 e pino de ajuste para determinação de medidas mais aproximadas (figura 18). As medidas foram retiradas em três pontos nas seções que estão divididas em A, B e C no comprimento dos eixos (figura 19) (tabela 2).

Figura 18 - Micrômetro externo e pino de ajuste



Fonte: (Autor, 2018).

Figura 19 – Eixos com as divisões



Fonte: (Autor, 2018).

Tabela 2 - Medidas do diâmetro do eixo em milímetro e posição conforme figura 19

Numero do eixo	Posição A	Posição B	Posição C
1	24,976	24,971	24,968
	24,971	24,971	24,967
	24,975	24,968	24,964
2	24,977	24,976	24,975
	24,977	24,974	24,976
	24,978	24,974	24,978
Média eixo 1	24,974	24,970	24,966
Média eixo 2	24,974	24,972	24,969

Fonte: (Autor, 2018).

3.5.3 Desenvolvimento e teste da banca de teste de desgaste

No experimento utilizou um mancal de rolamento de esfera, duas barra de aço trefilado ABNT 1020 com diâmetro de 25 mm, anéis elásticos, graxa da marca BARDAHL, motor WEG 110V de 0,25 CV á 60Hz e pesos de 7,5 Kg para simular as condições próximas as do real. A simulação é uma solicitação de carga radial, é quando as forças estão em direção ao eixo, como mancais de deslizamento são elementos constituídos de uma bucha fixada a um suporte (ESSEL, 2016), foi adotado como base para elaboração da bancada de teste.

A banca utilizou dois eixos, que passou por um processo de usinagem para encaixe do anel elástico e abertura do furo na ponta do eixo para o acoplamento do eixo na árvore do motor (figura 19). Para a simulação da carga de ensaio foi desenvolvida um sistema de alavanca, onde uma ponta permanece apoiada, com o eixo no meio da alavanca e o peso de 7,5kg em outra, a alavanca é de perfil barra chata de 6,5mm espessura e 38,5mm de altura com comprimento de 500mm, o eixo está posicionado na distancia de 300m da ponta apoiada, para a fixação da bucha, foi produzido uma abraçadeira de 40mm de comprimento com furo oblongo de 25mm para facilitar o acesso para a entrada de lubrificante (graxa)(figura 20). Na bucha foi realizado um furo perpendicular a extremidade na distância de 15mm, utilizando broca de 4 mm para a entrada de lubrificante (figura 21).

Figura 20 – Haste



Fonte:(Autor, 2018).

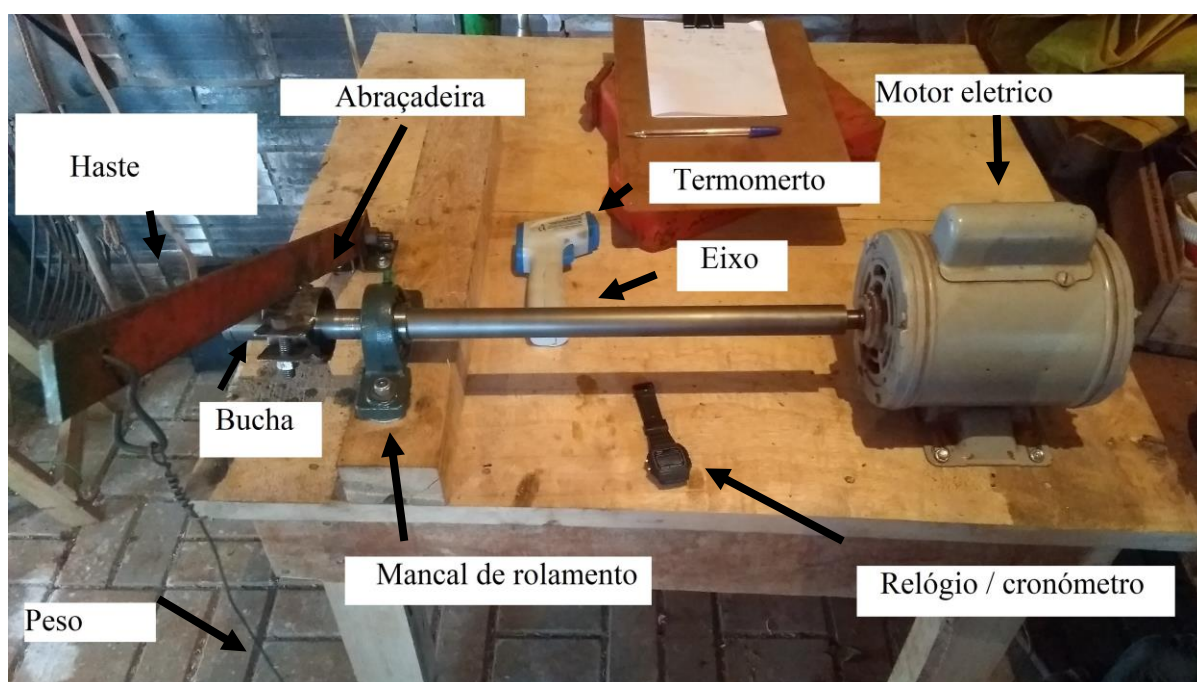
Figura 21 - Bucha com o furo para a entrada de lubrificante



Fonte: (Autor, 2018).

A banca de teste foi montada como mostra a (figura 22), os testes foram realizados monitorando o tempo por um período de 5 horas. Para a determinação da rotação, foi considerada a rotação descrita pela placa de dados técnicos do motor de 1700 RPM. O procedimento de lubrificação é feita com graxa da marca BARDAHL.

Figura 22 - Banca de teste



Fonte: (Autor, 2018).

CAPÍTULO 4

Nesse capítulo será apresentado os resultados, tabelas com valores e observações, e serão discutidas as diferenças entre as ligas com as durezas e seus respectivos desgastes.

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

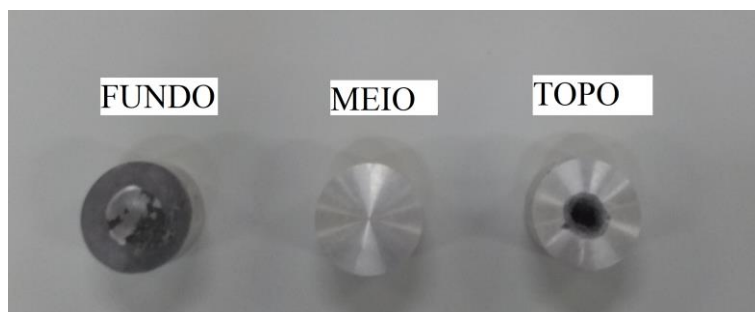
4.1.1 Análises do processo de fundição das ligas de alumínio

Durante o processo de fundição pode ser notado uma observação feita pelos inventores da liga alumínio-chumbo, que o processo de produção dessa liga, a temperatura de fundição são mais altas do que utiliza comumente em praticas de fundição de ligas de alumínio e quanto mais alta for a porcentagem de chumbo na liga mais alto vai ser essa temperatura, assim se torna comercialmente muito cara e inviável (PRATT e WHITNEY, 1992).

A temperatura utilizada foi maior do que a utilizada na liga alumínio-estanho, também teve o maior o tempo para a fundição completa dos materiais, observou-se solidificação, o material tem uma grande dissipação de calor, tendo como consequência a rápida solidificação do material ainda no cadilho, dificultando o escoamento do material a forma.

Os autores também relatam uma pequena precipitação do chumbo ao fundo do recipiente no processo de solidificação devido a ação da gravidade, porém não contendo variação de chumbo na microestrutura (figura 23). Os inventores Pratt e Whitney (1992), dizem que essa camada é removida durante o processo de limpeza e usinagem, portanto não causando interferência no funcionamento do mancal.

Figura 23 – Fina camada de chumbo no fundo



Fonte: (Autor, 2018).

4.1.2 Análise da dureza do material

Foram analisados seis pontos em cada face do corpo de prova, dividindo em face A e face B e registradas na tabela 3. A dureza do material da bucha da liga alumínio-chumbo ficou entre 14 a 17 HB, a dureza da liga alumínio-estanho esteve entre 17 a 19 HB, (Tabela 3).

Segundo a informação encontrada da liga de alumínio (ABNT 6063), diz que a dureza do material é de 60 a 62 HB e esse material tem boas características de resistência ao desgaste, corrosão e fadiga. (DUBRONZE).

Para nível de comparação entre a liga alumínio-chumbo e liga alumínio-estanho pode ser considerado que as durezas se mantiveram iguais. Com as informações acima e informações registrada na (tabela 3) e as média da (tabela 4), é notável que houve a incorporação dos elementos de liga no alumínio no processo de fundição.

Tabela 3 - Tabela de dureza das ligas

LIGA ALUMINIO-CHUMBO				
NUMERO DO CORPO DE PROVA	DUREZA NO PONTO MEDIO FACE A (HB)	DUREZA NO PONTO MEDIO FACE B (HB)	DUREZA NO PONTO EXTERNO FACE A (HB)	DUREZA NO PONTO EXTERNO FACE B (HB)
1	15,2	-	17,0	-
	13,5	-	15,5	-
	17,0	-	13,6	-
2	13,7	17,4	17,0	18,9
	17,5	13,6	12,4	14,5
	14,3	16,4	16,3	16,1
3	16,6	18,5	13,3	18,6
	17,9	18,1	16,5	17,0
	11,1	16,9	13,3	16,5
LIGA ALUMINIO-ESTANHO				
4	18,4	18,0	17,0	17,5
	19,1	17,0	16,8	16,5
	18,0	17,0	18,5	17,9
5	18,5	16,9	17,3	18,0
	19,3	18,6	17,6	17,4
	17,0	18,4	18,4	18,4
6	17,6	17,7	19,5	18,3
	17,0	15,8	18,5	18,8
	17,0	18,0	18,2	19,0

Fonte: (Autor, 2018).

Tabela 4 - Tabela com as médias das durezas em HB das ligas testadas

NUMERO DA BUCHA	MÉDIA FACE A	MÉDIA FACE B	MÉDIA GERAL
LIGA ALUMÍNIO-CHUMBO			
1	15,25	-	15,25
2	15,20	16,15	15,67
3	14,78	17,60	16,19
LIGA ALUMÍNIO-ESTANHO			
4	17,95	17,30	17,63
5	18,01	17,95	17,98
6	17,97	17,90	17,93

Fonte: (Autor, 2018).

4.1.3 Desempenho dos materiais na banca de teste

Para o início dos testes, as buchas foram medidas com o micrometro interno para obter as medidas conforme (tabela 1) e ao final dos testes foram medidas novamente para obter o total de material desgastado (tabela 5).

Tabela 5 - Medidas em milímetro do diâmetro da bucha após o teste, conforme figura 16

Numero da bucha	Posição 1	Posição 2	Posição 3	Posição 4	Média
LIGA ALUMÍNIO-CHUMBO					
1	25,150	25,150	25,135	25,140	25,144
2	25,130	25,115	25,100	25,130	25,119
3	25,705	25,625	25,535	25,755	25,655
LIGA ALUMÍNIO-ESTANHO					
4	25,015	25,010	25,015	25,015	25,014
5	25,145	25,130	25,170	25,175	25,155
6	25,125	25,105	25,105	25,105	25,110

Fonte: (Autor, 2018).

O teste teve a duração de 5 horas de funcionamento em atmosfera não controlada, tendo um total médio de 500000 giros em cada bucha. Com os resultados dos testes obteve o total material desgastado, fazendo a diferença da (tabela 1) com a (tabela 5) resultando na (tabela 6). Com os resultados da (tabela 6), analisou que a liga alumínio-chumbo teve um desempenho razoável, porém a liga não tem boas características de elemento deslizante, comparado com a liga alumínio-estanho que obteve menos material desgastado.

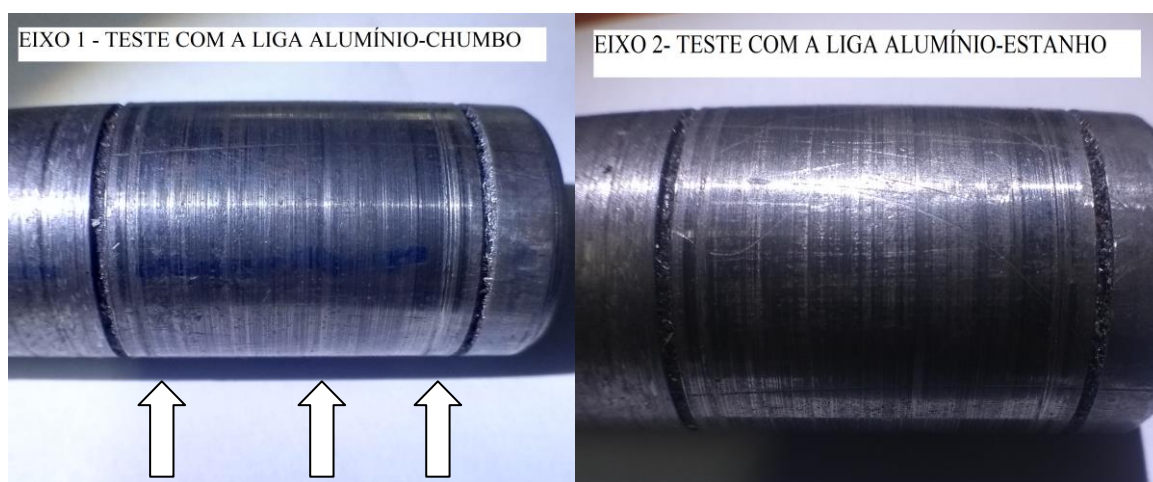
Observou-se que a liga alumínio-chumbo tem problemas com superaquecimento mesmo utilizando lubrificante, causando um desgaste pré-maturo na bucha como pode se visto na (bucha 3 da tabela 6), tendo as características de desgaste por abrasão.

Tabela 6 - Total desgastado em milímetro das buchas das ligas de alumínio.

LIGA ALUMÍNIO-CHUMBO	
NUMERO DA BUCHA	TOTAL DESGASTADO
1	0,014
2	0,046
3	0,561
LIGA ALUMÍNIO-ESTANHO	
4	0,017
5	0,156
6	0,023

Fonte: (Autor, 2018).

Figura 24 - Imagem da superfície dos eixos



Fonte: (Autor, 2018).

Como mostra a figura 24, o eixo 1 apresenta leves ranhuras em quanto que no eixo 2 não apresenta danos a superfície somente o desgaste na bucha. Utilizando a tabela 7 e a tabela 2 que é referente a medições antes e após os testes, é possível fazer a diferença e saber o quanto os eixos foram desgastados (tabela 8). Com os valores obtidos na tabela 8, nota-se que os desgastes em ambos os eixos foram iguais de 0,001mm.

Durante os testes observou que a liga alumínio-chumbo tem dificuldade no deslizamento devido á abrasão do material no eixo mesmo utilizando lubrificante, comparado com a liga alumínio-estanho que não apresentou essa dificuldade.

Tabela 7 - Medida do diâmetro do eixo após os testes em milímetro, conforme figura 19

Numero do eixo	Posição A	Posição B	Posição C
1	24,971	24,969	24,965
	24,972	24,973	24,966
	24,974	24,970	24,966
2	24,973	24,971	24,970
	24,972	24,967	24,968
	24,975	24,972	24,970
Média eixo 1	24,972	24,971	24,966
Média eixo 2	24,973	24,970	24,969

Fonte: (Autor, 2018)

Tabela 8 - Total desgastado do eixo após os testes em milímetro, conforme figura 19

Eixo	Posição A	Posição B	Posição C	Média
1	-0,002	0,001	-0,001	-0,001
2	-0,001	-0,002	0,001	-0,001

Fonte: (Autor, 2018).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho avalia o comportamento da liga de em desenvolvimento, comparando com a liga normalizada ISO 6279, através da realização dos ensaios de dureza e desempenho em desgaste.

A liga de alumínio-chumbo apresentou no teste comparativo, uma semelhança com a liga alumínio-estanho na dureza, porém nos ensaios de desgaste demonstra uma maior variação, na análise da superfície do eixo, a liga apresenta também ser mais abrasivo que a liga alumínio-estanho.

Durante o processo de fabricação, é possível ser analisado os efeitos do estanho na liga. A liga de alumínio-estanho apresenta uma maior solubilidade e menos sensibilidade ao tempo, podendo ser mais fácil de ser transferido para o molde, em quanto á liga alumínio-chumbo apresenta ser mais sensível ao tempo prejudicando a fluidez do material, tendo dificuldades no envasamento, precisando de mais calor para compensar a perda de calor durante a transferência para o molde.

Na realização do teste de desgaste, a liga que contém alumínio-estanho, tem maior desempenho, não apresenta dificuldades no deslizamento. O desgaste da liga é menor que a liga alumínio-chumbo, o contato da liga alumínio-chumbo na superfície do eixo causa uma abrasão e ranhuras, tendo dificuldade no deslizamento.

Sabendo da complexidade do desenvolvimento de mancais de deslizamento e da importância que eles têm nas máquinas e equipamentos, torna-se cada vez mais necessário o estudo de novos materiais que sejam capazes de melhorar o desempenho, reduzindo custos e manutenção. Com isso o presente trabalho, mostrou que a liga de alumínio-chumbo apresenta um desempenho considerável, mas, porém inferior comparando com a liga alumínio-estanho. Contudo, para ser utilizada efetivamente como bucha para mancais, deve ser adicionados mais elementos de liga para melhorar as propriedades para reduzir o atrito e aumentar a dureza, para assim resistir mais ao desgaste e aumentar a vida útil do elemento.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- É importante lembrar que o chumbo tem uma alta concentração de contaminantes, podendo ser um grande causador de doenças.
- Adicionar mais elementos de liga para melhorar as propriedades de dureza e resistência ao desgaste, como cobre e estanho.
- Aumentar o tempo de avaliação para 10 horas nos ensaios de desempenho em desgaste, para determinar com mais precisão o quanto de material será desgastado e determinar a vida útil do mancal.
- Fazer análise química do material, para saber as porcentagens de elementos de liga incorporada no material.
- Medir a rugosidade e diâmetro interno da bucha e externa do eixo, antes e após ensaio de desgaste, para saber se há a interferência da rugosidade no desgaste.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14220-1**: Mancais de deslizamento- buchas formadas – dimensionamento: Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 14220-2**: Mancais de deslizamento- buchas formadas-Especificação em desenho para a medição dos diâmetros externa e interno: Rio de Janeiro, 1998.

BAPTISTA, A. L. B.; NASCIMENTO, I.A. **Revestimentos Duros Resistentes ao Desgaste Depositados por Soldagem Utilizados na Recuperação de Elementos de Máquinas**. 2009.

BARBOSA c., ABUD i.c., LIMA l. g., FREITAS d. s.; **Característica macroestrutural de liga alumínio para componentes antifricção**. Setembro de 2017.

DETTOGNI, M.A. **Principais mecanismos de desgaste e avaliação de diferentes ligas para corpos moedores**. Universidade Federal de Ouro Preto, 2010.

DUBRONZE, **ABNT 6063**, Disponível em: <http://dubronze.com.br/produtos/aluminio/abnt-6063/>. Acesso em 18 de outubro de 2018.

ESSEL, **Elementos de maquina**, 2016. Disponível em: <http://essel.com.br/cursos/material/01/ElementosMaquinas/17elem.pdf>. Acesso em 23 de maio de 2018.

INFOMET, **Outras ligas de alumínio**, 1998 Disponível em: <http://www.infomet.com.br/site/metais-e-ligas-conteudo-ler.php?codAssunto=56>. Acesso em 20 de julho de 2018.

LIMA, D. R. S. ; YURGEL, C.C. ; SCHAEFFER, L. . **Caracterização da evolução da microdureza vickers no processo de forjamento de alumínio**. In: 1º Seminário Baiano de Transformação Mecânica - SBTF, 2010, Salvador, BA. 1º SBTF - Anais. Salvador, 2010.

MENDES S. S. **Estudo da dinâmica de lubrificação em um sistema mecânico mancal deslizante**. Universidade Federal de Juiz de Fora, curso de graduação em engenharia mecânica, Juiz de Fora, 2014.

NUNES, R. A. X., **Abrasão, desgaste e atrito sob deslizamento de recobrimentos preparados por aspersão térmica a partir de PET pós-consumo**. Tese de doutorado. Rede Temática de engenharia de materiais (REDEMAT). Ouro Preto, Minas Gerais. 2008.

PANZERA, T. H.; **Desenvolvimento de um material compósito cerâmico para aplicação em mancais porosos**. Universidade Federal de Minas Gerais, programa de pós-graduação em engenharia mecânica, disciplina de projeto mecânico, Belo Horizonte, 2007.

PRATT J., WHITNEY W., **Liga de alumínio-chumbo para mancal, mancal de motor a explosão e processo para fundição contínua de uma liga de alumínio-chumbo para mancal**, 1992. Disponível em: <https://www.escavador.com/patentes/582956/liga-aluminio-chumbo-mancal-mancal-motor-explosao-processo-fundicao-continua>. Acesso em 25 de fevereiro de 2018.

REVISTA MANUTENÇÃO E TECNOLOGIA, **Mancais** agosto de 2012, disponível em: <http://www.revistamt.com.br/Materias/Exibir/mais-importantes-do-que-parecem>, acesso em 20 de junho de 2018.

SMITH, WILLIAM F., **Principio de ciência e engenharia de materiais**, editora McGRW-WILL de Portugal, 1998.

STOETERAU, R. L.; **Introdução ao Projeto de Máquina-Ferramentas Modernas**. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico Departamento de Engenharia Mecânica, Disciplina de Projeto de Máquinas-Ferramentas . 2004.

SOARES A. R., GUERRA T. R. B. **Análise das causas de falhas do conjunto pino-roda denteada do stelmor através da metodologia 6 sigma**. Universidade Federal Fluminense, Centro Tecnológico Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda, Volta Redonda, dezembro de 2006.

WANDEMBRUCK G. , BARIONI W.E., **Avaliação tribológica de compostos de politetrafluoretileno em ensaio de desgaste tipo mancal sobre eixo sem lubrificação**, Universidade tecnológica federal do Paraná, departamento acadêmico de engenharia mecânica, disciplina de TCC, Curitiba, 2015.

ANEXOS

ANEXO 1 – Tabela com os diâmetros e as durezas em escala Brinell.

Indenter with ball with diameter of 5mm			
Diameter of the indentation	Test loads (kgf)		
	125	62.5	31.25
Brinell Hardness HBS or HBW			
2.4200	25,5	12,7	6,4
2.4250	25,4	12,7	6,3
2.4300	25,3	12,6	6,3
2.4350	25,1	12,6	6,3
2.4400	25,0	12,5	6,3
2.4450	24,9	12,5	6,2
2.4500	24,8	12,4	6,2
2.4550	24,7	12,4	6,2
2.4600	24,6	12,3	6,1
2.4650	24,5	12,2	6,1
2.4700	24,4	12,2	6,1
2.4750	24,3	12,1	6,1
2.4800	24,2	12,1	6,0
2.4850	24,1	12,0	6,0
2.4900	24,0	12,0	6,0
2.4950	23,9	11,9	6,0
2.5000	23,8	11,9	5,9
2.5050	23,7	11,8	5,9
2.5100	23,6	11,8	5,9
2.5150	23,5	11,7	5,9
2.5200	23,4	11,7	5,8
2.5250	23,3	11,6	5,8
2.5300	23,2	11,6	5,8
2.5350	23,1	11,5	5,8
2.5400	23,0	11,5	5,7
2.5450	22,9	11,4	5,7
2.5500	22,8	11,4	5,7
2.5550	22,7	11,3	5,7
2.5600	22,6	11,3	5,6
2.5650	22,5	11,2	5,6
2.5700	22,4	11,2	5,6
2.5750	22,3	11,1	5,6
2.5800	22,2	11,1	5,5
2.5850	22,1	11,1	5,5
2.5900	22,0	11,0	5,5
2.5950	21,9	11,0	5,5
2.6000	21,8	10,9	5,5
2.6050	21,7	10,9	5,4
2.6100	21,6	10,8	5,4
2.6150	21,6	10,8	5,4
2.6200	21,5	10,7	5,4

ANEXO 1 (continuação) - Tabela com os diâmetros e as durezas em escala Brinell.

Indenter with ball with diameter of 5mm			
Diameter of the indentation	Test loads (kgf)		
	125	62.5	31.25
	Brinell Hardness HBS or HBW		
2.2100	30,9	15.5	7.7
2.2150	30,8	15.4	7.7
2.2200	30,6	15.3	7.7
2.2250	30,5	15.2	7.6
2.2300	30,3	15.2	7.6
2.2350	30,2	15.1	7.5
2.2400	30,0	15.0	7.5
2.2450	29,9	14.9	7.5
2.2500	29,8	14.9	7.4
2.2550	29,6	14.8	7.4
2.2600	29,5	14.7	7.4
2.2650	29,3	14.7	7.3
2.2700	29,2	14.6	7.3
2.2750	29,1	14.5	7.3
2.2800	28,9	14.5	7.2
2.2850	28,8	14.4	7.2
2.2900	28,7	14.3	7.2
2.2950	28,5	14.3	7.1
2.3000	28,4	14.2	7.1
2.3050	28,3	14.1	7.1
2.3100	28,1	14.1	7.0
2.3150	28,0	14.0	7.0
2.3200	27,9	13.9	7.0
2.3250	27,8	13.9	6.9
2.3300	27,6	13.8	6.9
2.3350	27,5	13.8	6.9
2.3400	27,4	13.7	6.8
2.3450	27,3	13.6	6.8
2.3500	27,1	13.6	6.8
2.3550	27,0	13.5	6.8
2.3600	26,9	13.4	6.7
2.3650	26,8	13.4	6.7
2.3700	26,6	13.3	6.7
2.3750	26,5	13.3	6.6
2.3800	26,4	13.2	6.6
2.3850	26,3	13.1	6.6
2.3900	26,2	13.1	6.5
2.3950	26,1	13.0	6.5
2.4000	25,9	13.0	6.5
2.4050	25,8	12.9	6.5
2.4100	25,7	12.9	6.4
2.4150	25,6	12.8	6.4

ANEXO 1 (continuação) - Tabela com os diâmetros e as durezas em escala Brinell.

Indenter with ball with diameter of 5mm			
Diameter of the indentation	Test loads (kgf)		
	125	62.5	31.25
	Brinell Hardness HBS or HBW		
2.0050	37,9	19.0	9.5
2.0100	37,7	18.9	9.4
2.0150	37,5	18.8	9.4
2.0200	37,3	18.7	9.3
2.0250	37,1	18.6	9.3
2.0300	37,0	18.5	9.2
2.0350	36,8	18.4	9.2
2.0400	36,6	18.3	9.1
2.0450	36,4	18.2	9.1
2.0500	36,2	18.1	9.1
2.0550	36,0	18.0	9.0
2.0600	35,8	17.9	9.0
2.0650	35,7	17.8	8.9
2.0700	35,5	17.7	8.9
2.0750	35,3	17.6	8.8
2.0800	35,1	17.6	8.8
2.0850	34,9	17.5	8.7
2.0900	34,8	17.4	8.7
2.0950	34,6	17.3	8.6
2.1000	34,4	17.2	8.6
2.1050	34,2	17.1	8.6
2.1100	34,1	17.0	8.5
2.1150	33,9	17.0	8.5
2.1200	33,7	16.9	8.4
2.1250	33,6	16.8	8.4
2.1300	33,4	16.7	8.4
2.1350	33,2	16.6	8.3
2.1400	33,1	16.5	8.3
2.1450	32,9	16.5	8.2
2.1500	32,8	16.4	8.2
2.1550	32,6	16.3	8.1
2.1600	32,4	16.2	8.1
2.1650	32,3	16.1	8.1
2.1700	32,1	16.1	8.0
2.1750	32,0	16.0	8.0
2.1800	31,8	15.9	8.0
2.1850	31,7	15.8	7.9
2.1900	31,5	15.8	7.9
2.1950	31,4	15.7	7.8
2.2000	31,2	15.6	7.8
2.2050	31,1	15.5	7.8