

# ESTUDO COMPARATIVO DA UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS EM ANÉIS DE VEDAÇÃO: PTFE VERSUS BRONZE (CuAl) COM Sn SUPERFICIAL VERSUS BRONZE (CuAl) COM Pb SUPERFICIAL\*

Lucas de Mendonça Neuba<sup>1</sup>

Alexsandro de Oliveira<sup>2</sup>

Alexandre Alvarenga Palmeira<sup>3</sup>

Sergio Neves Monteiro<sup>4</sup>

## Resumo

O estudo comparativo feito no presente trabalho relaciona as características de anéis de vedação utilizando bronze (CuAl) com estanho (Sn) superficial e anéis de bronze (CuAl) com Pb superficial, ambos aplicados em uma caixa de vedação de uma bomba de deslocamento positivo ou volumétrica. 6 amostras de bronze alumínio SAE-68D, com dimensões de 2,5 x 2,5 x 50 cm, foram utilizadas para se obter uma camada superficial de Pb. Três anéis de bronze alumínio SAE-68D, possuindo dimensões de diâmetro interno 35,4mm e diâmetro externo 46,9mm, foram utilizadas como amostras. Através um processo de tratamento termoquímico, após ter atingido a temperatura de 150°C, com períodos de tratamento diferentes de 3, 4 e 5 horas. Durante esses períodos ocorreu uma difusão do chumbo na superfície dos anéis. Análises feitas a partir de micrografias capturadas de cada anel de bronze com Sn superficial por um microscópio eletrônico de varredura e 2 amostras de cada tempo para o Pb sendo que foram seccionadas com intuito de se comprovar a migração do chumbo ao interior da mesma. O Pb apresentou facilidade de difusão na superfície do metal base, contudo não se difunde nas camadas internas do metal base não alterando as propriedades do mesmo..

**Palavras-chave:** Bomba; Chumbo; Bronze; Difusão

## COMPARATIVE STUDY OF THE USE OF MATERIALS IN SEALING RINGS: PTFE VERSUS BRONZE (CuAl) WITH SUPERFICIAL SP VERSUS BRASS (CuAl) WITH SURFACE Pb.

### Abstract

The constant search for the improvement of projects and products is of extreme importance to guarantee the product availability and reliability of them. The comparative study done in the present work relates the characteristics of sealing rings using CuAl bronze with tin surface (Sn) as a material with CuAl brass rings with superficial Pb, both applied in a positive displacement or volumetric displacement pump. 6 samples of SAE-68D aluminum bronze, with dimensions of 2.5 x 2.5 x 50 cm, were used to obtain a superficial layer of superficial Pb. 3 SAE-68D aluminum bronze rings, having internal diameter dimensions 35.4mm and external diameter 46.9mm, were used as samples. Through a thermochemical treatment process, after with periods of treatment different from 3, 4 and 5 hours. For these periods a diffusion of lead occurred on the surface of the rings. Analyzes made from captured images of each brass ring with shallow Sn by a scanning electron microscope and 2 samples for the Pb were sectioned in order to prove the migration of the lead. Pb showed an easiness diffusion on the base metal surface, however, it does not diffuse in the inner layers of the base metal without altering the properties.

**Keywords:** Pump; Lead; Diffusion.

<sup>1</sup> Eng. Mecânico, Mestrando em Ciência dos Materiais no PGCM/SE8-Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Administrador, Mestre em Ciência dos Materiais no MEMAT UniFOA, Volta Redonda/RJ, Brasil.

<sup>3</sup> Eng. Mecânico, Doutor em Ciência dos Materiais, Dptº de Mecânica e Energia, UERJ, Resende/RJ, Brasil.

<sup>4</sup> Eng. Metalúrgico, Doutor em Ciência dos Materiais, PGCM/SE8- Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

A busca constante para um melhor desempenho de um equipamento ou processo industrial é o fator decisivo que conduz o setor de engenharia a substituição de materiais que anteriormente cumpriam determinadas funções e que após pesquisas, testes, erros e acertos dão lugar a materiais de custo menor e mais eficientes. Mediante algumas condições de serviço os materiais podem sofrer adição de outro elemento, como o metal patente ou Babbit contendo em sua fórmula original 89,3% de Sn; 7,1% de antimônio; 3,6% de Cu fórmula ainda hoje em comercialização como ASTM B-23 grau 2 . Sua estrutura de liga compõe-se de pequenos cristais duros dispersos em uma matriz de liga mais suave porém à medida que os elementos rolantes gastam os cristais duros são expostos fornecendo assim a passagem para o lubrificante entre os pontos em destaque que proporcionam a superfície de apoio. [1,2].

O chumbo é um metal de baixa resistência mecânica onde essa característica se reflete nas chapas produzidas desse metal possuindo assim alta ductilidade e maleabilidade e ainda pode ser utilizado em formas de ligas e especialmente para fabricações de metais anti fricção [2]. O cobre por sua vez destaca-se pela coloração avermelhada e elevados índices de condutividade térmica e elétrica sendo de vital importância na composição como elemento de liga em sistemas como duralumínio(Al – Cu) e monel (Ni –Cu) e nas mais comuns como bronzes (Sn – Cu) e latão (Cu – Zn). [3]

O objetivo deste trabalho é fazer um estudo comparativo através de micrografias obtidas por uma análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) do comportamento dos elementos químicos estanho (Sn) e chumbo (Pb) depois de adicionados à superfície de anéis de vedação de bronze (CuAl) por meio de um processo de difusão.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados utilizando seis amostras de bronze alumínio SAE-68D, sendo as mesmas obtidas nas seguintes dimensões: 2,5 x 2,5 x 50 cm, as principais características do material estão apresentados na tabela 1.

**Tabela 1.** Propriedades do Bronze

Composição Química(%p)	Propriedades Físicas	Propriedades Mecânicas
<b>Fe 3,0- 5,0%</b>	Densidade 7,50 g/m <sup>3</sup>	Limite de Resistência 6,47 Mpa
<b>Cu 78,0%</b>	Condução Térmica 42 W/cm.k	Limite de Escoamento 284 Mpa
<b>Mn 3,5%</b>	Condução Elétrica 8,5%	Alongamento 6%
<b>Ni 3,0 – 5,5%</b>	Expansão Térmica 1,62-10,5	Dureza 170 Brinell
<b>Al 10 – 11,5%</b>		Coeficiente Poisson 0,34

As amostras foram adquiridas no formato de uma barra sendo posteriormente cortadas com o auxílio de uma serra circular com disco de corte de Óxido de Silicato em seis pedaços, devido a ranhuras na face geradas pelo corte foi realizado um acabamento segundo NBR 13284 – PREPARAÇÃO DE CORPOS-DE-PROVA

PARA ANÁLISE METALOGRAFICA - sendo utilizadas lixas de Óxido de Alumínio com numerações entre 100 e 120

Com o intuito de preparar as amostras para o processo de difusão as amostras em formato de barras foram divididas em seis setores, com três posições sendo: Borda Externa, Centro, Borda Interna, e Corte Longitudinal. Foi aplicada uma pasta para soldagem na superfície das amostras para retirar a película de óxido do material e ajudar na aderência do chumbo, em seguida as amostras foram colocadas em recipientes e receberam camadas de chumbo na parte inferior e superior. Além disso, foi utilizado pó de chumbo para a realização do tratamento termoquímico das amostras com as seguintes características presentes na tabela 2.

**Tabela 2.** Características dos pós de Chumbo (Pb) encontrados no mercado

<b>Produto</b>	<b>Grau</b>	<b>Composição (%)</b>
<b>Pó de chumbo</b>	CNPC – Pb 200 CNPC - 300	Pb 99,8 Mínimo
<b>Composição Química</b>	Pb $\geq 99,9$ Cu $\leq 0,01$	Sb $\leq 0,005$ Fe $\leq 0,005$
<b>Nome do produto</b>	Pb em pó	-
<b>Tamanho de partícula</b>	Tamaho da malha 200 a 300 mesh	-
<b>Pureza</b>	99,9%	-

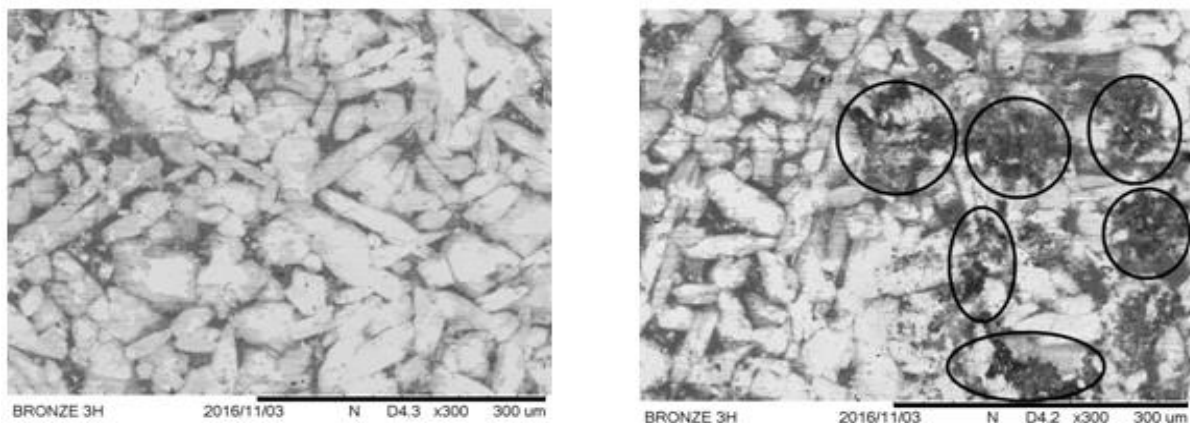
Foi utilizado um forno elétrico da marca Mufla Quimis para o tratamento termoquímico depois de atingir a temperatura de 150 °C, foram introduzidas todas as amostras no forno. Foram utilizadas 6 amostras de Bronze divididas em 3 grupos sendo submetidas à temperatura de 150° C em forno elétrico. As amostras permaneceram no interior do forno com a temperatura previamente homogeneizada por 3, 4 e 5 horas cada grupo. Retiradas do forno foram colocadas para resfriamento ao ar livre. A primeira amostra foi retirada do forno em 3 horas, a segunda em 4 horas e a terceira e última em 5 horas de tratamento. Depois de 12 horas de resfriamento as amostra foram retirados dos recipientes e removidos o excesso de pó de Chumbo.

Com a finalidade de obter micrografias para a análise de MEV foram separadas 2 amostras de cada tempo – 3, 4 e 5 horas – sendo que essas amostras foram seccionadas com intuito de se comprovar a migração do chumbo ao interior da mesma. Foram coletadas imagens da superfície que entrou em contato diretamente com o chumbo a fim de se observar a ação direta desse metal sobre a superfície do bronze no intuito de se verificar a formação de ilhas de chumbo o que em conjunto com a tomada de durezas comprovaria uma mudança na dureza superficial da liga. Foi utilizado o equipamento da marca HITACHI modelo TM 3000 TELETOP MICROSCOPE com intensidade de feixe de elétrons de 15 Kv. Para a revelação das imagens obtidas foi utilizado Cloreto Férrico na concentração de 10%. As dimensões das amostras obtidas foram de 2,5 x 2,5 x1,0 cm. A amostra precisou ser seccionada com uma serra de disco circular o que gerou ranhuras na mesma, que poderia ocasionar erros de leitura por isso antes dos ensaios foram utilizadas lixas de alta numeração –800 a 1200 – feita em carbeto de silício o que proporcionou um acabamento fino adequado às imagens que se desejava. Foram feitas micrografias tanto na face que entrou em contato com o Pb quanto na face interna. Na face que

externa o objetivo era visualizar a formação de ilhas de Pb o que indicaria a capacidade do metal se difundir pela rede cristalina e formar uma camada superficial que atuaria como material auto lubrificante devido às características do chumbo. Na face interna o objetivo era verificar se o Pb se difundiu através da rede cristalina mais profunda o que inviabilizaria a fabricação de determinadas estruturas uma vez que as características mecânicas poderiam ficar comprometidas.

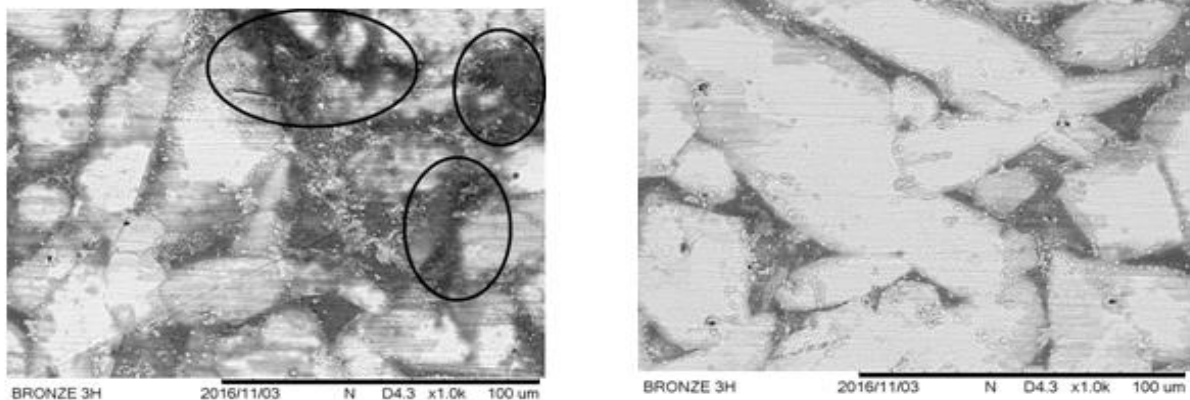
#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o tratamento termoquímico do Bronze foram obtidas imagens das bordas que permaneceram em contato com o Pb e as partes internas que não entraram em contato. Para as amostras que passaram um período de 3 horas de tratamento foram obtidas imagens a 300x de aumento retirado no meio da amostra que foi exposta ao chumbo onde se pode observar, mesmo com baixa resolução, o chumbo preenchendo os contornos de grão. Na figura 1 pode se observar maiores concentrações de Pb já se formando na superfície do metal base.



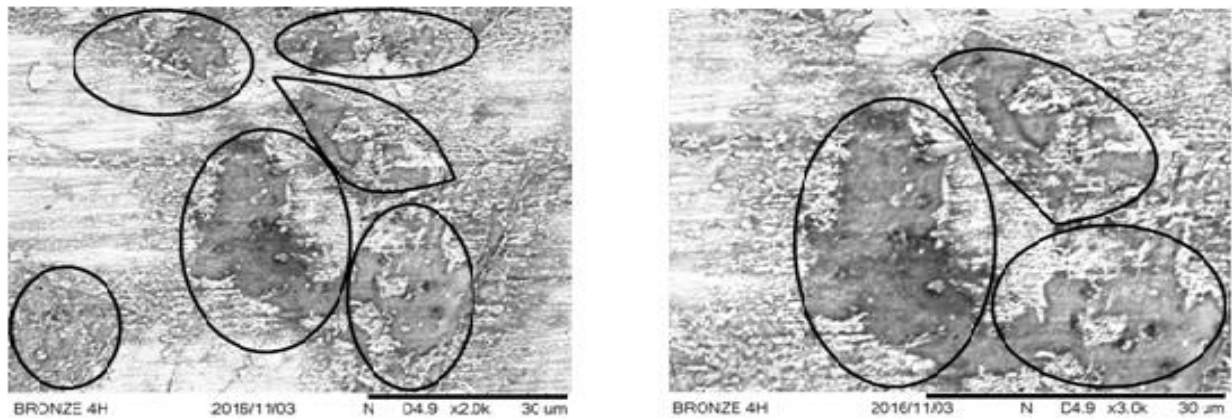
**Figura 2.** (A) e (B) Concentração de Chumbo (Pb).

Imagens obtidas com aumento de 1000X revelaram nitidamente a maior aglomeração de Pb já nas primeiras 3 horas do experimento. Como citado por PEREIRA, R, L. [3] o Chumbo encontra certa resistência na difusibilidade através do Bronze, porém como observado por GEIER, H, J. – (LAUCHNER, J, H. [4] os átomos de Chumbo se incorporaram nas camadas superficiais, porém sem formar uma nova fase, ou seja, foram formadas ilhas de Pb puro nas camadas superficiais, como observado na figura 2.



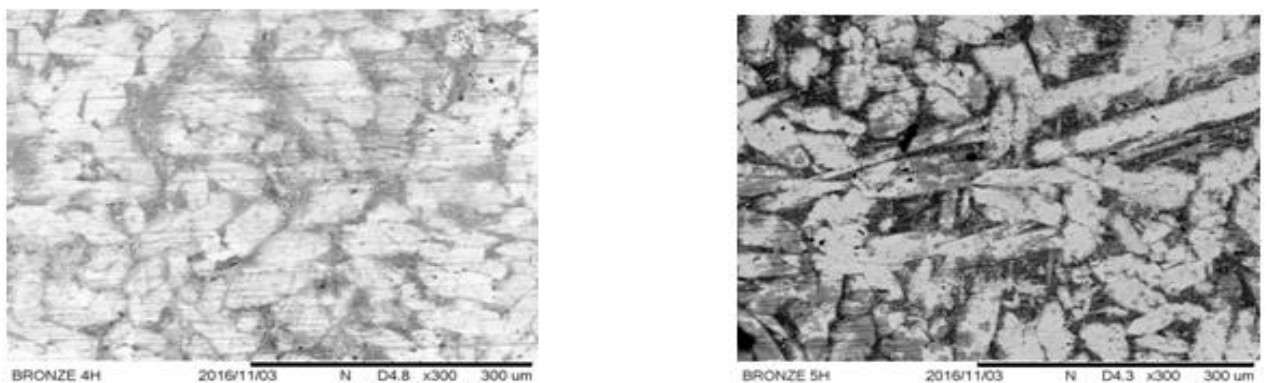
**Figura 2.** (A) e (B) Concentração de Chumbo (Pb).

A figura 3 mostra as amostras com um tratamento de 4 horas com imagens a 2000 e 3000X de resolução, por sua vez, indicaram uma tendência a aglomeração das ilhas de Chumbo (Pb) ao longo do tempo.



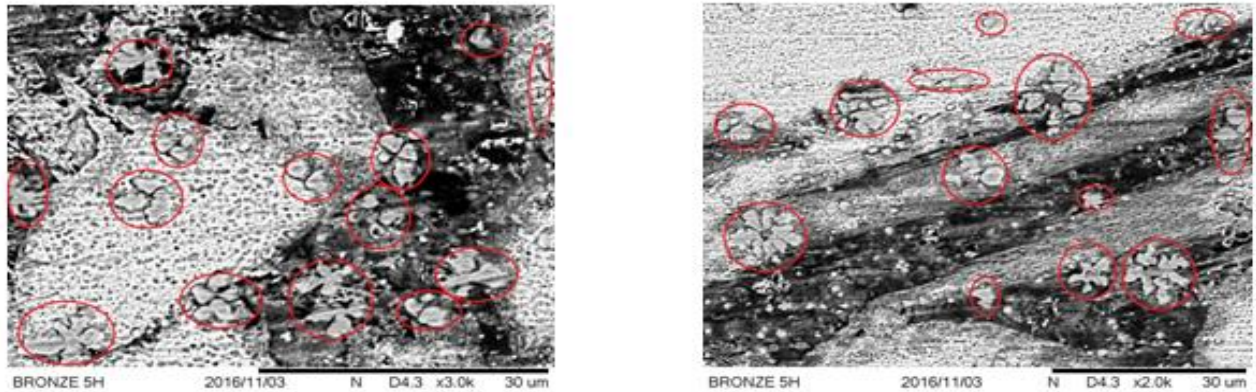
**Figura 3.** (A) e (B) Concentração de Chumbo (Pb).

Para os períodos de 4 e 5 horas foram observadas nas imagens à 300X se nota visivelmente as diferenças entre as duas categorias de tempo de exposição observando-se uma maior quantidade de chumbo nos contornos de grão da amostra de 5 do que na de 4 horas indicando assim uma maior migração desse material e conseqüentemente maior interação dos materiais que compõem a liga conforme a figura 4.



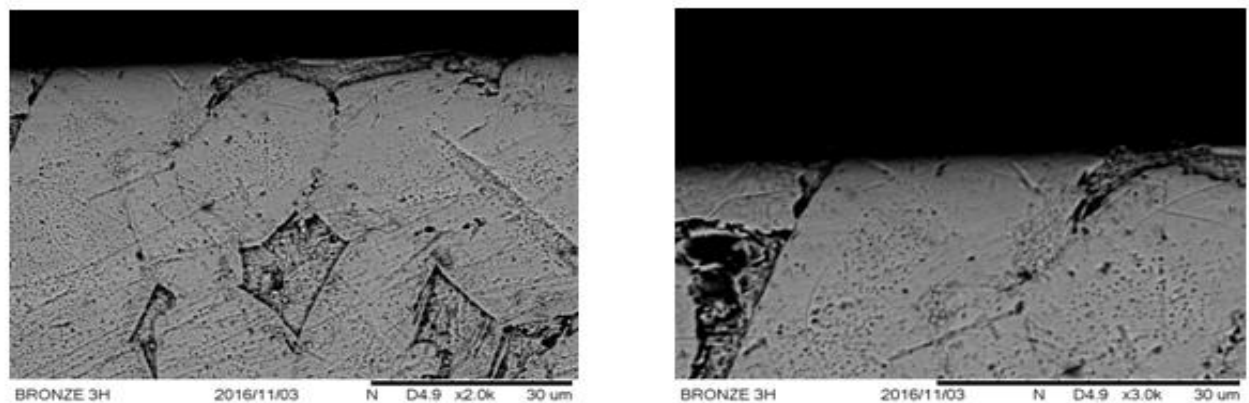
**Figura 4.** (A) e (B) Concentração de Chumbo (Pb).

Com o tempo de 5 horas de experimento a 2000x e 3000X de resolução, conforme a figura 5, revelou pontos com alta concentração de Pb presentes em grande parte da superfície.



**Figura 5.** (A) e (B) Concentração de Chumbo (Pb).

Ao contrario do que ocorreu no lado que teve contato com o Chumbo (Pb), o lado polido, perpendicular à este, foi atacado com Cloreto Férrico a 10%, onde com 3h de experimento foi nitidamente observado os contornos de grão preenchidos somente pelo Metal Base a 2000 e 3000X de resolução, de acordo com a figura 6.



**Figura 6.** (A) e (B) Concentração de Chumbo (Pb).

Imagens obtidas dos lados polidos das amostras de 4 e 5 horas que foram expostas a um tempo maior à elevada temperatura e ao pó de chumbo o que proporcionaria uma maior migração desse metal para camadas mais profundas do metal base. Porém se comprovou pelas imagens da borda transversal à que foi exposta que isso não ocorreu e conseqüentemente impossibilitou que houvesse mudanças significativas às características mecânicas do Metal Base, de acordo com a figura 7.

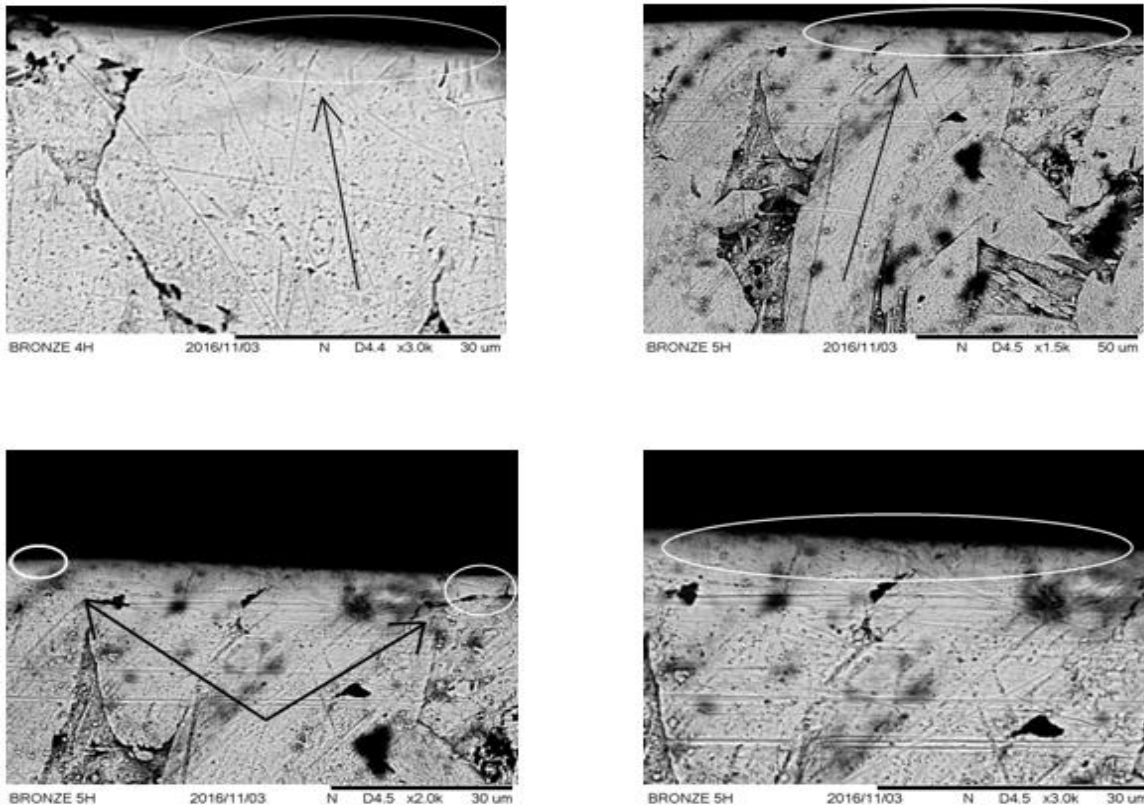


Figura 7. (A) e (B) Concentração de Chumbo (Pb).

Em relação ao trabalho de SILVA, L.A. [5] onde foi observado a migração do Sn ao interior da amostra em um tratamento termoquímico com um período de 3 horas. Entretanto com a adição do chumbo a superfície do bronze não foi observado essa migração às camadas mais profundas da rede cristalina o que poderia comprometer o material para o caso de fabricação de peças mais complexas devido à alterações nas características mecânicas originais do Bronze. Desse modo vemos então que o Pb tem uma grande facilidade de difusão pela superfície do metal base porém não se difunde para as camadas inferiores da rede cristalina assim o metal base não perde suas propriedades mecânicas sendo assim ideal para ser utilizado para fabricação de peças onde haja tensões cíclicas contínuas como no caso dos anéis de PTFE conforme descrito por LEANDRO no trabalho relacionado ao estanho.

### 3 CONCLUSÃO

A partir dos resultados de MEV analisados, pode-se concluir que as características atômicas do Pb em relação ao CuAl criam uma limitação na difusão fazendo assim que o processo ocorra somente nas camadas superficiais do metal base preservando as camadas inferiores da rede cristalina da ação do Pb impedindo portanto que suas propriedades mecânicas sejam comprometidas. Além disso, a simplicidade do processo de tratamento termoquímico diante das complexas fases de fabricação das ligas obtidas por fusão onde, em alguns casos, há a necessidade de centrifugação para que haja a total miscibilidade do Pb na matriz de Bronze. Mesmo com a baixa temperatura utilizada no experimento (150°C), que representa cerca de 20% da temperatura (900°C) para obtenção de produtos similares como o Bronze com alto teor de Pb, Metal Patente ou Babbit, aliado ao baixo tempo de

aquecimento do processo, onde a partir de 4 horas já se tem resultados satisfatórios. Tudo isso configura uma considerável economia de energia na obtenção de um produto com características superficiais semelhantes ao do Metal Patente ou Babitt e por consequência mesmas aplicações.

Diante de tais observações vemos o processo de difusão do Pb pela superfície na liga de CuAl, para a obtenção de uma liga anti fricção é uma alternativa extremamente considerável de utilização no futuro em comparação às já em uso no mercado, como as já obtidas por meio de fusão ou ainda as obtidas pela metalurgia do pó.

## REFERÊNCIAS

- 1 ZerenA. Embeddability behaviour of tin-based bearing material in dry sliding. *Materials & Design*. 2007;28( 6):2344-2350.
- 2 NapoleãoFS. *Bombas alternativas industriais: Teoria e prática*. Rio de Janeiro. Interciência.2007.
- 3 MilanJC, HortaE, CostaCE. Comportamento Tribológico de um Metal Patente Produzido por Duas Rotas Distintas: Fundição e Metalurgia do Pó. UDESC. 2013[acesso em 12 jun.2019]; 18:05.  
Disponível em:[http://www.1.udesc.br/arquivos/id\\_submenu/1568/evelise\\_hort.pdf](http://www.1.udesc.br/arquivos/id_submenu/1568/evelise_hort.pdf)
- 4 SobralLGS, OliveiraDM, SouzaCEG, SilvaCAFS, BragaPFA. *Metalurgia do chumbo: processos de produção e refino*. Universidade de Santo Amaro. 1990.
- 5 PereiraRL. *Noções sobre diagrama de equilíbrio de fases aplicadas aos sistemas metálicos*. 3ª Edição. São Paulo. Escola de Engenharia – Seção de Publicações, São Carlos. 1982.
- 6 GeierHJ, LauchnerJH. *Considerações Sobre Miscibilidade Iônica em Sólidos Metálicos*. Centro Técnico Aeroespacial do Ministério da Aeronáutica. Departamento de materiais. Volume 13 (nº 8)
- 7 SilvaLA. *Substituição de anéis de vedação de PTFE por anéis de bronze (CuAl) com adição de Sn superficial*. Volta Redonda. Dissertação [Mestrado Profissional em Materiais] – Fundação Oswaldo Aranha; 2014.