

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS

**PROCEDIMENTO TÉCNICO/OPERACIONAL PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE
DE REAPROVEITAMENTO DE METAL PATENTE (SN-SB-CU) PARA
FABRICAÇÃO DE MANCAIS DE DESLIZAMENTO PARA OS NAVIOS DA
MARINHA DO BRASIL.**

Procedimento Técnico apresentado como produto final ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais.

Elaborado por:
Ednei Duarte Rezende

Orientadora:
Prof^a Dr^a Monique Osório T. da Conceição

Coorientador:
Prof. Dr. Luiz de Araújo Bicalho

VOLTA REDONDA

2019

PROCEDIMENTO TÉCNICO/OPERACIONAL PARA
ANÁLISE DE VIABILIDADE DE REAPROVEITAMENTO DE
METAL PATENTE (SN-SB-CU) PARA FABRICAÇÃO DE
MANCAIS DE DESLIZAMENTO PARA OS NAVIOS DA
MARINHA DO BRASIL.



Sumário

Propósito.....	4
Campo de Aplicação.....	4
Introdução.....	4
Requisitos operacionais básicos para a recuperação do metal patente.....	5
Limpeza das peças retiradas de bordo.....	5
Pré-seleção do material.....	6
Armazenagem.....	6
Recipiente de fundição.....	7
Análise do material.....	8
Preparação das amostras para os ensaios.....	8
Preparação para o ensaio de tração.....	8
Preparação para a metalografia.....	8
Resultados esperados dos ensaios.....	9
Ensaio de tração.....	9
Microscopia óptica.....	9
Microscopia eletrônica de varredura.....	10
Análise química.....	11
Análise de possíveis defeitos.....	13
Fluxograma do processo.....	15
Conclusão.....	16
Bibliografia.....	17

Propósito

Garantir os resultados esperados para cada tarefa a ser executada, mediante a padronização de processos de verificação da viabilidade técnica de se reaproveitar metal patente na fabricação de mancais de deslizamento, e definir os parâmetros para aceitação ou não do material, determinando os requisitos necessários para a preparação das amostras e realização dos ensaios.

Campo de aplicação

Ainda que as informações aqui contidas sirvam para orientar, principalmente, as ações de reaproveitamento de metal patente pela Marinha do Brasil, os procedimentos e as instruções descritas podem se aplicar a toda empresa que descarte o metal patente quando da necessidade de reenchimento de um mancal, podendo ser utilizadas como orientação básica para todo e qualquer processo de padronização que envolva este serviço, com pequenas variações.

Introdução

Procedimentos técnico/operacionais são instrumentos de padronização de processos, que permitem a padronização e o gerenciamento de um processo, seja ele técnico ou operacional. É a descrição das atividades envolvidas no fluxo do processo de trabalho, ou seja, é um roteiro padronizado sobre as operações do processo.

O presente procedimento técnico/operacional parte do princípio da possibilidade de reaproveitamento do Metal Patente, um material com características antifricção, cuja liga é formada por antimônio, estanho e cobre, muito utilizado nos mancais de deslizamento das linhas de eixo dos navios da Marinha do Brasil, que ao invés de ser descartado é recuperado e utilizado para a produção de novos mancais. Neste procedimento encontra-se o roteiro para detectar o grau de adequação do material recuperado com a Norma ASTM-B23 realizando testes, tais como MEV, MO, análise química e ensaio de tração. Além de como preparar as amostras do material para os ensaios e corrigir a composição da liga.

1. Requisitos operacionais básicos para a recuperação do metal patente

1.1. Limpeza das peças retiradas de bordo

Uma providência simples e obrigatória é a limpeza, descontaminação e secagem do mancal ao ser retirado de bordo, antes do derretimento do material.

Este procedimento elimina a maior parte da contaminação por graxa, óleo e impurezas externas advindas do ambiente durante o uso e o procedimento de desmontagem.



Figura 1 - Mancal danificado retirado de bordo, já limpo aguardando a retirada do metal patente.



Figura 2 - Mancais limpos, após a retirada do metal patente, prontos para enchimento.

1.2. Pré-seleção do material

Outro fator importante é a pré-seleção do material, pois como há várias faixas de ligas do metal patente conforme a norma ASTM-B23, é importante que não se misture os tipos de mancais diferentes durante o processo. Caso haja a mistura de dois ou mais tipos da liga o resultado, com certeza, será uma terceira liga com porcentagens desconhecidas de cada elemento.

Caso isso venha a ocorrer, será necessário realizar no mínimo mais duas análises para determinar a porcentagem correta dos elementos da liga desejada. Ou seja, o primeiro exame para se determinar qual o grau atual e outro exame após o balanceamento da liga para se certificar do resultado. Caso o resultado não seja positivo, outras análises serão necessárias até se encontrar a liga correta, o que com certeza tornará inviável o proposto, pois aumentaria muito o custo para obter o resultado desejado.

1.3. Armazenagem

O recipiente onde o metal patente fundido será armazenado após ser retirado do mancal deve ser limpo, seco e isento de impurezas e óleos.

Apesar de parecer uma observação simples, este é o momento onde o material recebe muita contaminação. Deve-se manter cuidados especiais, não misturando o metal patente com outras sobras de metais, sucatas diversas, cordoalhas (material utilizado para vedar o mancal durante o enchimento), e até mesmo lixo comum, o que provavelmente impossibilita manter uma liga homogênea e correspondente com a original.

O cuidado no armazenamento do metal patente a ser reaproveitado deve ser mantido até o momento da fundição.



Figura 3 - Recipiente de depósito do metal patente para descarte, com acúmulo de impurezas.

1.4. Recipiente de fundição

O recipiente de fundição, deve ter o orifício de escoamento do metal fundido no meio ou próximo ao fundo, o que forçaria o metal líquido escoar enquanto a escória ficaria retida no recipiente.



Figura 4 - Exemplo de forno onde o vazamento não é pela borda superior.

2. Análise do Material

2.1. Preparação das amostras para os ensaios

A preparação pode variar dependendo do laboratório que executará os ensaios. Alguns preferem que as amostras sejam enviadas brutas, outros que as empresas enviem as amostras já preparadas para o ensaio.

2.1.1. Preparação para o ensaio de tração

Deverão ser confeccionados dez corpos de prova baseados na norma NBR 6892-1, para a realização do ensaio de tração. As amostras devem ter a base de 50 mm, célula de carga de 500 kg e velocidade de ensaio de 3mm/min. A partir deste ensaio é obtido o valor do limite de escoamento do material para ser comparado com o que a norma ASTM B23 relata.

2.1.2. Preparação para a metalografia

Para a microscopia óptica (MO) e a microscopia eletrônica de varredura (MEV) pode-se retirar uma amostra das partes seccionadas do teste de tração. Em seguida deve-se embutir o material em resina (baquelite). Após isto, realizar o lixamento com lixas de carbeto de silício com granulometrias de 220, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200 e 1500 e polimento com feltro e alumina na granulometria de 1µm, 0,3 µm e 0,05 µm. Por último atacar a amostra quimicamente por 3 segundos com reagente químico Nital a 2% (solução de HNO₃ dissolvido em álcool etílico).

3. Resultados esperados dos ensaios

3.1. Ensaio de tração

A figura 5 apresenta as curvas de engenharia de deformação x tensão obtidas pelo ensaio de tração (NBR 6892-1) de um metal patente novo, recebido de um fornecedor e refundido para confecção das amostras. De acordo com a norma ASTM B23, a liga do tipo 2 do metal patente deve apresentar como padrão o limite de escoamento igual a 23,1 MPa a 20° C.

No material apresentado seu limite de escoamento, médio entre as amostras, ficou em aproximadamente 64 MPa, superando o solicitado na norma.

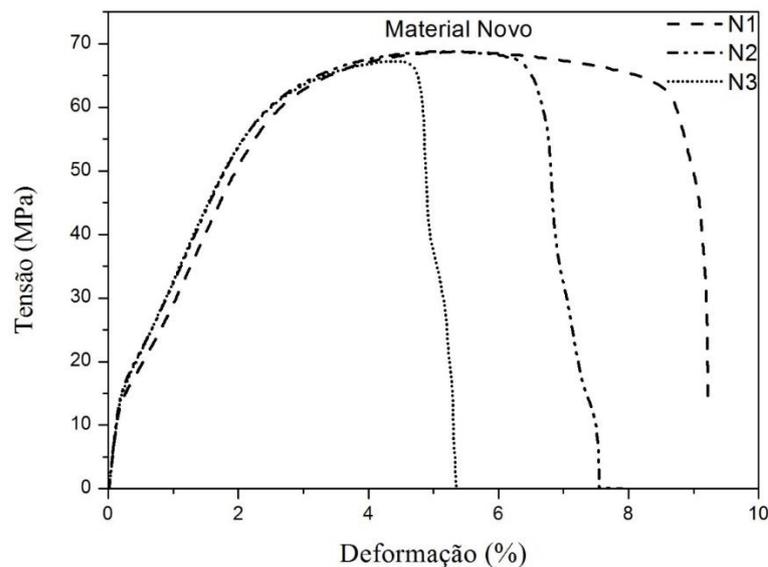


Figura 5 - Curva de engenharia do ensaio de tração tensão x deformação do metal patente novo

3.2. Microscopia óptica

A figura 6 mostra a imagem obtida por MO do metal patente após a fundição. Observa-se que a microestrutura apresenta precipitados a base de cobre (η) com a matriz de estanho (α) e a presença de antimônio, precipitado na forma de cubos, (β) no metal patente.

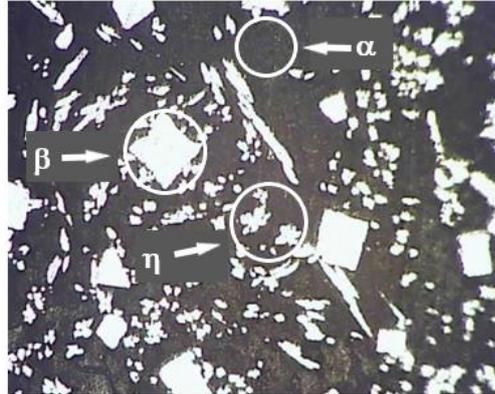


Figura 6 - Microestrutura do material novo realizado por MO com aumento de 100X

3.3. Microscopia eletrônica de varredura

Pode-se observar nas imagens geradas pelo MEV, figuras 7 e 8, a estrutura do metal patente. Percebe-se nitidamente as fases α (solução sólida de Sn, Cu e Sb), β (composto Sn-Sb) e η (composto Cu_6Sn_5).

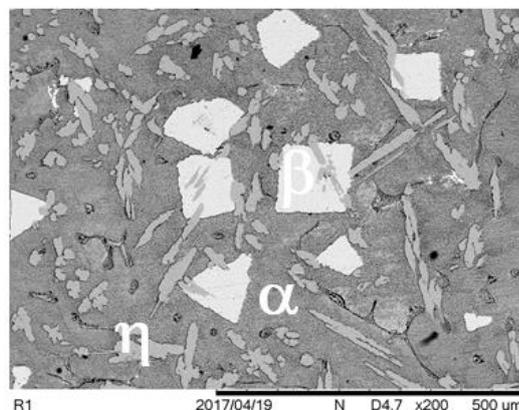


Figura 7 - Microestrutura do material novo realizado por MEV com aumento de 200X

Com aumento de 1000X observa-se também as três fases presentes, mostrando a estrutura de cristais duros e resistentes ao desgaste combinada com a matriz mole advinda do estanho, que permite a circulação do óleo lubrificante entre os cristais durante o funcionamento.

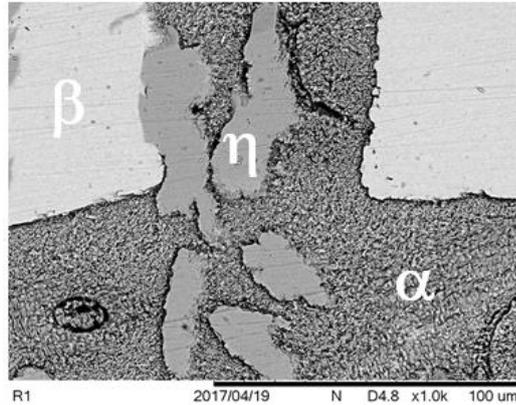


Figura 8 - Microestrutura do metal patente realizado por MEV com aumento de 1000X

3.4. Análise química

Os resultados apresentados na análise química devem estar de acordo com a norma ASTM B-23, mostrada na tabela 1. Na tabela 2 segue um extrato com os principais elementos e faixas percentuais dentro de cada tipo de liga de metal patente.

Tabela 1 - Composição das ligas de metal patente ASTM B23

ASTM B 23 – 00 (2005)

TABLE 1 Chemical Composition^A —wt% (range or maximum)

Chemical Composition, %	Alloy Number							
	Tin Base				Lead Base			
	1	2	3	11	7	8	13	15
	UNS—L13910	UNS—L13890	UNS—L13840	UNS—L13870	UNS—L53585	UNS—L53565	UNS—L53346	UNS—L53620
Tin	remainder ^B	remainder ^B	remainder ^B	remainder ^B	9.3–10.7	4.5–5.5	5.5–6.5	0.8–1.2
Antimony	4.0–5.0	7.0–8.0	7.5–8.5	6.0–7.5	14.0–16.0	14.0–16.0	9.5–10.5	14.5–17.5
Lead	0.35	0.35	0.35	0.50	remainder ^B	remainder ^B	remainder ^B	remainder ^B
Copper	4.0–5.0	3.0–4.0	7.5–8.5	5.0–6.5	0.50	0.50	0.50	0.6
Iron	0.08	0.08	0.08	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10
Arsenic	0.10	0.10	0.10	0.10	0.30–0.60	0.30–0.60	0.25	0.8–1.4
Bismuth	0.08	0.08	0.08	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10
Zinc	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Aluminum	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Cadmium	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Total named elements, min	99.80	99.80	99.80	99.80				

^A Alloy Number 9 was discontinued in 1946 and numbers 4, 5, 6, 10, 11, 12, 16, and 19 were discontinued in 1959. A new number 11, similar to SAE Grade 11, was added in 1966.

^B To be determined by difference.

Tabela 2 – Composição das ligas de metal patente - adaptada da ASTM B23

Elemento	Número da Liga							
	Base de Estanho				Base de Chumbo			
	1	2	3	11	7	8	13	15
Estanho	restante	Restant	Restante	restante	9,3 – 10,7	4,5 – 5,5	5,5 – 6,5	0,8 – 1,2
Antimônio	4,0 – 5,0	7,0 – 8,0	7,5 – 8,5	6,0 – 7,5	14,0 – 16,0	14,0 – 16,0	9,5 – 10,5	14,5 – 17,5
Chumbo	0,35	0,35	0,35	0,50	restante	restante	restante	restante
Cobre	4,0 – 5,0	3,0 – 4,0	7,5 – 8,5	5,0 – 6,5	0,50	0,50	0,50	0,60

4. Análise de possíveis defeitos

Os cubos de Sb não são observados em ligas que contêm Sb com menos de 7,5%. Maior dureza e melhor propriedade tribológica acontecem pela presença e dispersão homogênea da dureza dos cubos na matriz.

Ao se analisar a figura 9 e 10 de um material da liga 2 com 7,2 e 7,3% de antimônio, respectivamente, nota-se que eles não apresentam a precipitação dos cubos de SbSn por estarem com menos de 7,5% de Sn. Desta forma a estrutura do material fica mais refinada, porém tem reduzida a sua resistência à tensão de compressão.

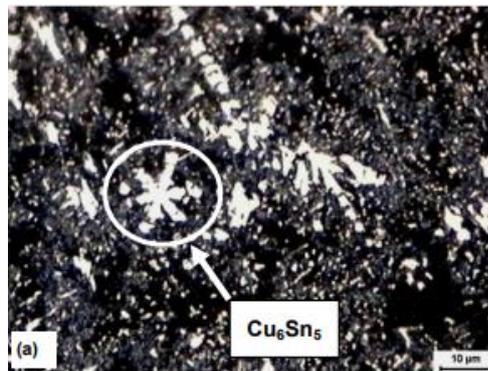


Figura 9 - Metal Patente Liga 2, (89,2% Sn, 7,2% Sb, 3% Cu e 0,4% Pb) 500X.

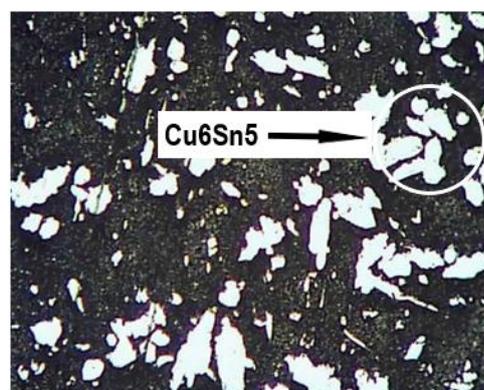


Figura 10 - Metal patente com 7,3% de Sb, ampliado 400X.

Na figura 11 é apresentada a imagem de um metal patente de liga 5 com 20,2% de Sb o que gera os precipitados de SbSn. Comparando-o com a figura 12, de um

metal patente com 7,94% de Sb, nota-se o início da formação de alguns cubos de SbSn.

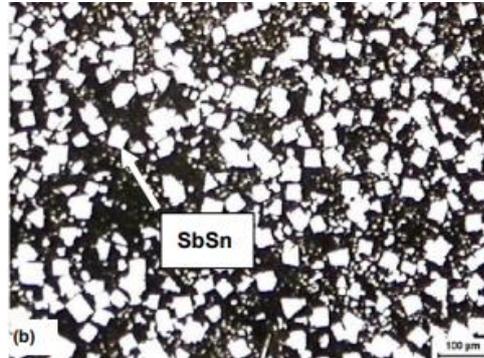


Figura 11 - Metal patente liga 5 (60,3% Sn, 20,2% Sb, 2,6% Cu e 16,6% Pb).

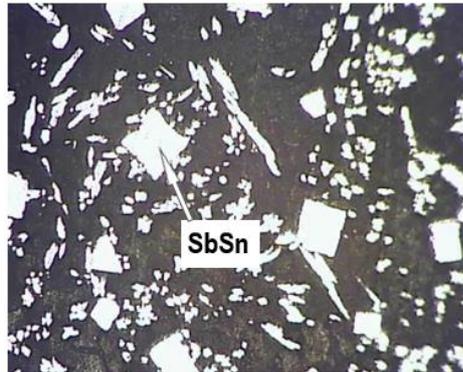


Figura 12 - Metal patente liga 2 (88,45% Sn, 7,96% Sb, 3,32% Cu e 0,241% Pb).

Na figura 13 observam-se alguns pontos pretos, esses pontos são poros no material. Em pequenas quantidades, como na figura apresentada, os poros não apresentam riscos para o material, podendo ser considerado normal.

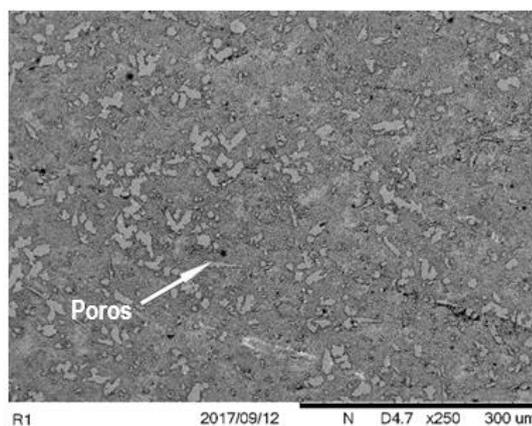
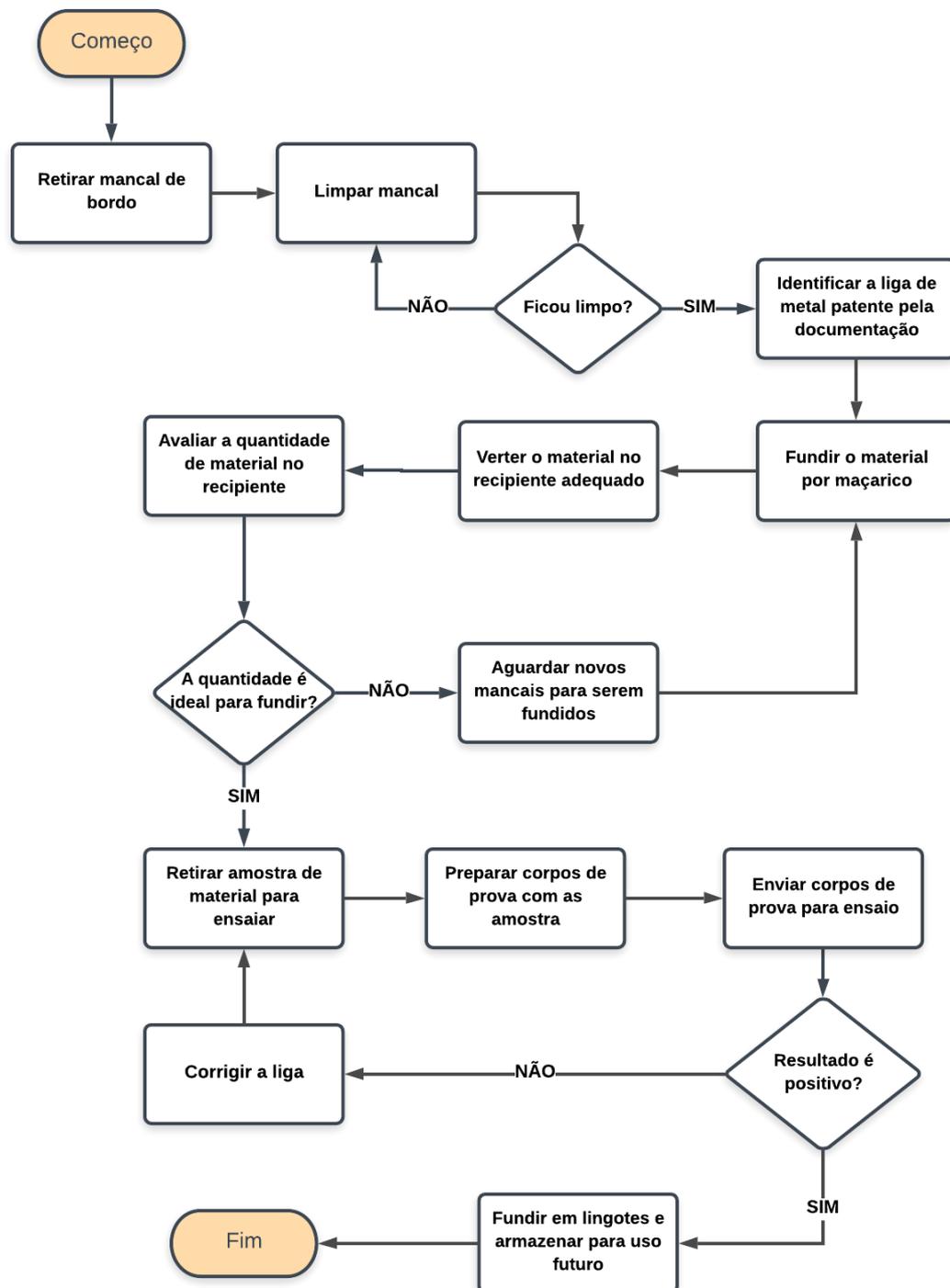


Figura 13 - Presença de poros em ligas de metal patente. MEV com aumento de 250X

5. Fluxograma do processo



Conclusão

Espera-se que com a implantação deste procedimento haja a imediata economia de recursos e uma futura, mas a curto prazo, melhoria na qualidade do ambiente pelo não descarte de material no meio ambiente.

É necessário ressaltar que o processo só é viável financeiramente se os testes forem realizados em uma quantidade razoável de material, não sendo viável realizá-los toda vez que um único mancal for fundido.

Esse manual não esgota o assunto nem encerra a discussão, pois ao se implantar o procedimento outras questões surgirão e outras oportunidades de melhoria aparecerão. Ficando em aberto a possibilidade de melhoria contínua deste processo.

Bibliografia

ZEREN, Adalet. **Embeddability behaviour of tin-based bearing material in dry sliding**. Materials and Design 28 – Elsevier, Turquia, 2007.

NEALE, Michael J. **The Tribology Handbook**. 2th ed. London: Butterworth-Heinemann, 1995. 640 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **B23-00**: Standard Specification for White Metal Bearing Alloys. West Conshohocken, 2000.

ALCOVER, Paulo R. C. Jr., **Microestrutura, propriedades mecânicas e tribológicas de Metal Patente depositado por Aspersão Térmica** – Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Ponta Grossa, 2017.

OBBERG, Erik; et al. **Machinery's Handbook**: Part XI Machine Elements; Cap. 96 Plain Bearings. 30th. ed. South Norwalk: Industrial Press, 2016. 2896 p.

KLAAS, Lucas Selonke. **Estudo da viabilidade de obtenção do metal patente por metalurgia do pó e comparação do desgaste com liga fundida e bronze sinterizado**. 2012. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais – Área: Metais) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Joinville, 2013.

MARINHA DO BRASIL. **Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro – uma pequena história**. Edição 1999. Rio de Janeiro: Arsenal de marinha do Rio de Janeiro. Assessoria de Comunicação Social, 1999. 40p.

<https://www.zollern.com/br/mancais.html> acessado em 18 de outubro de 2018

COMPWORKS – **Mancais**, <http://www.compworksmancais.com.br/produtos.php> acessado em 30 de outubro de 2018

PEIXOTO, Adriano de Lemos Alves; et al. **Manual de elaboração de procedimentos operacionais e instruções de trabalho da Universidade Federal da Bahia – Salvador**. EDUFBA, 2015. 20 p. - Manuais SUPAD