

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA

**INFLUÊNCIAS DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA
NAS MICROESTRUTURAS DE LIGAS DE
COBRE COM ESTANHO, ZINCO, CHUMBO E
ALUMÍNIO.**

Fernanda Moreira Silva

Diego Lopes de Mattos Paula Santos

Pindamonhangaba - SP

2017

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA

**INFLUÊNCIAS DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA
NAS MICROESTRUTURAS DE LIGAS DE
COBRE COM ESTANHO, ZINCO, CHUMBO E
ALUMÍNIO.**

Fernanda Moreira Silva

Diego Lopes de Mattos Paula Santos

Monografia apresentada à Faculdade de
Tecnologia de Pindamonhangaba para
graduação, no Curso Superior de
Tecnologia em Processos Metalúrgicos.

Área de Concentração /Metalografia

Orientador / Me Amir Rivaroli Junior

**Pindamonhangaba - SP
2017**

S586i

Silva, Fernanda Moreira.

Influências da composição química nas microestruturas de ligas de cobre com estanho, zinco, chumbo e alumínio / Fernanda Moreira Silva; Diego Lopes de Mattos Paula Santos / FATEC Pindamonhangaba, 2017.

52f.; il.

Orientador: Professor Me. Amir Rivaroli Junior

Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. 2017

1. Cobre. 2. Ligas de cobre. 3. Metalografia. 4. Microdureza. 5. Propriedades I. Silva, Fernanda Moreira. II. Santos, Diego Lopes de Mattos Paula. III. Rivaroli Junior, Amir. IV. Título.

CDD 669

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA

**INFLUÊNCIAS DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA
NAS MICROESTRUTURAS DE LIGAS DE
COBRE COM ESTANHO, ZINCO, CHUMBO E
ALUMÍNIO.**

Fernanda Moreira

Diego Lopes de Mattos Paula Santos

Monografia apresentada à Faculdade de
Tecnologia de Pindamonhangaba para
graduação, no Curso Superior de
Tecnologia em Processos Metalúrgicos.

Comissão Examinadora

Orientadora – Prof. Me. Amir Rivaroli Junior

marcela B. de Carvalho

Membro – Prof. Me. Marcelo Bergamini de Carvalho

coml

Membro – Sra. Ane Caroline Celestino Silva

Pindamonhangaba, 18 de Agosto de 2017.

DEDICATÒRIA

Fernanda Moreira Silva

Dedico este trabalho aos meus pais Magda Regina Andrade Moreira Silva e Denilson Alves Silva a quem devo tudo que sou a Deus por toda oportunidade, proteção e bênçãos que tenho e ao meu namorado Rodrigo Pellicciotti Tavares de Oliveira pelo companheirismo e estímulo. A estes dedico esta vitória, tudo que conquistei principalmente esta jornada que faz deste momento único.

Diego Lopes de Mattos Paula Santos

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia, ao meu pai Osvaldo de Paula Lopes, minha mãe Rosemeire Lopes de Mattos Paula Santos, aos meus irmãos Michelle Lopes de Mattos Paula Santos e Leonardo Lopes de Mattos Paula Santos e a minha noiva e companheira Maria Fernanda Moreira Martins.

AGRADECIMENTO

Fernanda Moreira Silva

Agradeço a minha família, meus amigos e companheiros neste trajeto de muitas conquistas e descobertas. A esta entidade que tão carinhosamente me acolheu e principalmente a este orientador Professor Mestre Amir Rivaroli Junior extremamente atencioso, que nos encaminhou durante este longo processo de desenvolvimento e construção do conhecimento, tornando o trajeto mais iluminado. A cada um que vencera esta etapa com estímulo de que o conhecimento sempre se multiplique.

Diego Lopes de Mattos Paula Santos

Primeiramente a Deus que permitiu e me guiou ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, Ele é o maior dos mestres.

A esta universidade e a todos os professores, por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional. Em especial cito o Professor e Mestre Amir Rivaroli Junior, meu orientador por toda dedicação e empenho para que tal obra pudesse atingir seu objetivo.

A toda minha família, a minha noiva e amigos que por todo tempo estiveram ao meu lado apoiando e incentivando durante toda ciclo universitário.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

“Se eu fosse parar para saber o sabor deste instante não iria jamais perceber do que é feito o durante.”

Rodrigo Garcia Lopes

SILVA, F.M.; SANTOS,D.L.M.P. **INFLUÊNCIAS DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA NAS MICROESTRUTURAS DE LIGAS DE COBRE COM ESTANHO, ZINCO, CHUMBO E ALUMÍNIO**. 2017. 52p. Trabalho de Graduação (Curso de Tecnologia em Processos Metalúrgicos). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2017.

RESUMO

O cobre e suas ligas estão entre os metais mais utilizados no mundo, principalmente nas indústrias elétricas e eletrônicas. No setor siderúrgico tem sido empregado em peças com alta condutividade elétrica e térmica, como em ventaneiras e lanças de convertedores. Outra característica muito considerada é a boa resistência à corrosão a exposição atmosférica. Entre os setores menos comuns se ressalta a soldagem onde os processos tratam com minúcia cada um dos componentes das ligas devido às influências bruscas na escolha do metal de adição e procedimento de soldagem. No processo de fundição podem ocorrer defeitos, afetando a obtenção de um material com alta qualidade. Para este trabalho foi estudado a caracterização metalográfica e micro dureza de nove ligas de cobre, onde a variação considerada na composição química foi verificada junto ao diagrama de fases das mesmas, principalmente para verificar se os mesmos estavam correspondentes com as estruturas e durezas encontradas. Foi possível determinar com os resultados encontrados que a composição química influencia diretamente na microestrutura dessas ligas, bem como na dureza. O maior valor de dureza foi encontrado nos materiais que possuem alto teor de alumínio, zinco e um percentual de ferro, devido a presença da fase β na microestrutura.

Palavras-chave: Cobre, Ligas de Cobre, Metalografia, Microdureza, Propriedades.

SILVA, F. M.; SANTOS, D.L. M.P. **INFLUENCES OF CHEMICAL COMPOSITION IN THE MICROSTRUCTURES OF COPPER ALLOYS WITH TIN, ZINC, LEAD AND ALUMINUM.** 2017. 52 p. Graduation Project (Technology in Metallurgical Processes). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2017.

ABSTRACT

Copper and its alloys are among the most widely used metal in the world, mainly in the electrical and electronic industries. In the steel sector have been employed in parts with high electrical and thermal conductivity, as in tuyeres and lance tip of LD converters. Another very characteristic considered is the good corrosion resistance to atmospheric exposure. Among the sectors less common is the welding where the processes deal with detail each of the components of alloys due to sudden influences the choice of filler metals and welding procedure. In the process of casting defects may occur, affecting the obtaining a material with high quality. For this work it was studied the metallographic characterization and micro hardness of nine copper alloys, where the variation found in chemical composition has been verified by the phase diagram of the same, especially to check if they were corresponding with the structures and hardness found. It was possible to determine the results found that the chemical composition influence directly on the microstructure of these alloys, as well as in hardness. The highest hardness value was found in materials with high aluminum, zinc and iron percentage, due to the presence of β phase in the microstructure.

Keywords: Copper, Copper Alloys, Metallography, Microhardness, Properties.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação das ligas de Cobre.....	17
Tabela 2 – Tratamento de Banho	22
Tabela 3 – Composição química das ligas estudadas	29
Tabela 4 – Dureza das Amostras	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1–Corrosão Uniforme.....	27
Figura 2–Corrosão por pite.....	27
Figura 3- Cobre puro com 100x.....	32
Figura 4 - Cobre puro com 200x.....	32
Figura 5 - Diagrama Cobre Oxigênio	33
Figura 6 - Liga 68C Bronze com 100x	34
Figura 7 - Liga 68C Bronze com 200x	34
Figura 8 - Diagrama Cobre Alumínio.....	34
Figura 9 - Liga 660 Bronze com 200x.....	35
Figura 10 - Liga 660 Bronze com 500x.....	35
Figura 11 - Diagrama Cobre Estanho	36
Figura 12 - Liga SAE 40Bronze com 100x	37
Figura 13 - Liga SAE 40 Bronze com 200x	37
Figura 14 - Diagrama Cobre Estanho	38
Figura 15 – Liga LatãoTomback 100x	39
Figura 16 – Liga LatãoTomback 200x	39
Figura 17 - Diagrama Cobre Zinco.....	39
Figura 18– Liga SAE 43 Bronze com 100 x	40
Figura 19 – Liga SAE 43 Bronze com 200 x	40
Figura 20- Diagrama Cobre Zinco	41
Figura 21 – Liga SAE 62 Bronze com 100x	42
Figura 22 - Liga SAE 62 Bronze com 200x.....	42
Figura 23 - Diagrama Cobre Estanho	43
Figura 24 - Liga SAE 65 Bronze com 100x	44
Figura 25 - Liga SAE 65 Bronze com 200x	44
Figura 26- Diagrama Cobre Estanho	45
Figura 27 – Liga SAE 67 Latão 100x	46
Figura 28–Liga SAE 67 Latão 200x	46
Figura 29 - Diagrama Cobre Estanho	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1. História do cobre.....	15
2.2. Obtenção do Cobre	15
2.3. Características do Metal e Aplicações.....	16
2.4. Classificação conforme ASTM.....	16
2.5. Cobre ligados e suas características	18
2.6. Condutividade e Impurezas na liga	18
2.7. Classificação e características do cobre comercial	19
2.8. Ligas Fundidas.....	20
2.9. Processos e defeitos de Fundição	22
2.10. Soldagem de Cobre.....	23
2.11. Corrosão	26
2.11.1. Corrosão atmosférica no cobre.....	26
2.11.2. Corrosão sob tensão	26
2.11.3. Dezincificação	26
2.11.4. Corrosão uniforme	26
2.11.5. Corrosão por pite	27
2.11.6. Corrosão por aeração diferencial	27
2.12. Dureza.....	28
2.12.1. Ensaio de Dureza	28
2.12.2. Microdureza Vickers	28
3. MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1. Materiais.....	29
3.1.1. Corpos de Prova	29
3.1.2. Insumos Metalográficos	29
3.1.3. Equipamentos utilizados.....	30
3.2. Metodologia	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES DE RESULTADOS	32
4.1. Amostra Cobre Puro.....	32
4.2. Amostra SAE 68C.....	33
4.3. Amostra SAE 660	35
4.4. Amostra SAE 40	36

4.5.	Amostra Latão Tombac.....	38
4.6.	Amostra SAE 43	40
4.7.	Amostra SAE 62	41
4.8.	Amostra SAE 65	43
4.9.	Amostra SAE 67	46
4.10.	Comparação de Dureza.....	48
5.	CONCLUSÃO	49
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

1. INTRODUÇÃO

O cobre é um metal que foi descoberto por volta de 1300 a.C. e com o passar dos anos evoluiu e se tornou um minério mais facilmente encontrado. É mais comumente em compostos como Cuprita (Cu_2O) e Tenorita (CuO) do que Cobre puro (Cu). No processo de fabricação são adicionados elementos de liga como: manganês, níquel, silício, alumínio, estanho e chumbo com o intuito de promover no mesmo propriedades mecânicas das quais não são características tais como: resistência a tração, facilidade para formabilidade, melhora da fluidez, refino do grão e outros.

Tais elementos em quantidades específicas fazem com que ocorram as divisões, gerando classificações específicas para as ligas de cobre: Bronzes, Latões, Cupro-níquel, Bronzes/ Alumínio, Cobre/ Zinco/ Níquel, Cobre e ouro, Cobre e berílio, Cobre e silício(SARTORI, 2014).

Esta pesquisa visa interpretar o que cada liga de cobre fundido selecionada tem de específico em suas propriedades, correlacionando com os elementos nela empregados, sendo utilizados para estudo o Cobre Puro (Cu), Bronze SAE 68C (Cu-Al), Bronze SAE 660 (CuSnPb), Bronze SAE 40 (CuSnPbZn), Latão Tombac (CuZn), Latão SAE 43, (CuZn) Bronze SAE 62 (CuSnZn), Bronze SAE 65 (CuSn), Bronze SAE 67 (CuSnPb). Serão aplicados nos corpos de prova testes como análise da composição química (espectrômetro), ensaios de dureza e metalográficos. A cada etapa dos ensaios realizou-se a comparação dos resultados fazendo as observações pertinentes de acordo com cada uma das ligas de cobre, compreendendo suas aplicações e utilizações.

Neste trabalho será possível compreender as particularidades sobre as ligas de cobre fundido, e aprofundar nos detalhes do processo de obtenção e a importância dos elementos de liga nas propriedades, comprovando sua aplicação, aperfeiçoando o conhecimento já existente e adquirindo mais entendimento sobre o assunto para futuras aplicações, oportunizando um crescimento profissional, além de demonstrar as aplicações das ligas analisadas no seu uso efetivo comercialmente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. História do cobre

O cobre foi um dos minerais que marcou a era histórica e continua sendo empregado até os tempos atuais mesmo sendo relativamente raro na crosta terrestre.

O cobre tem como suas propriedades principais a densidade de $8,96\text{g/cm}^3$, ponto de fusão 1083°C , calor específico $0,0912\text{ cal/g}^\circ\text{C}$ e forma cristalina cubica de face centrada. Além do custo x benefício do cobre tem a seu favor a facilidade de se trabalhar com ele, sua boa resistência à corrosão e a longa vida útil (BARBOSA, 2008).

O cobre tem sido o terceiro metal mais utilizado na indústria atrás somente do ferro e do alumínio, porém por sua alta condutividade elétrica (aproximadamente 100% IACS) não consegue ser substituído por outro metal com melhor custo x benefício, além das características químicas e físicas favoráveis (BARBOSA, 2008).

2.2. Obtenção do Cobre

A obtenção do cobre consiste em extrair o mineral, fazer a britagem e moagem o mesmo, posteriormente utilizar a flotação para separar a parte rica em cobre para transforma-lo em um concentrado de cobre de aproximadamente 30% que será fundido para a oxidação do ferro e do enxofre alcançando assim um *matte* que possui 60% de cobre (BARBOSA, 2008).

Posteriormente o *matte* é colocado em um conversor e transformado em cobre *blister* pelo processo de oxidação ficando com 98,5% de cobre, este ainda no estado liquido é refinado e moldado se transformando em ânodo de 99,5% de cobre que sofrerá aplicação de corrente elétrica chegando ao seu estagio final de cátodo de cobre com 99,99% ou mais de cobre podendo sofrer futuros processos para fins comerciais (BARBOSA, 2008).

As reservas do Brasil estão mais concentradas na região norte, no estado do Pará e de Rondônia, ainda existem reservas no estado de Alagoas, Bahia, Ceará, Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul (DNPM, 2009).

Conforme dados de 2001 a 2008 as maiores reservas de cobre estavam localizadas no Chile, Peru e EUA, e o Brasil se encontrava em 13º (DNPM, 2009).

Nos últimos 10 anos houve um aumento de 26% a.a do consumo mundial de cobre refinado. E com o inicio dos projetos Sossego e Chapadão Brasil conseguiu alcançar o patamar de 222 ton (DNPM, 2009).

2.3. Características do Metal e Aplicações

O cobre é considerado um metal de boas propriedades mecânicas em temperaturas baixas, média e moderadamente elevadas, principalmente com metais de liga, além de possuir cor avermelhado (SARTORI, 2014).

Suas características são maleabilidade, boa ductibilidade, baixo ponto de fusão e resistência a corrosão e outros. Dentre estas a alta condutividade elétrica e térmica são as características mais marcantes para se tornar necessário para quase todos os setores industriais, principalmente depois da descoberta do gerador elétrico (DNPM, 2009).

Como sua principal aplicação se encontra como condutor elétrico a maior demanda esta na fabricação de cabos, fios, conectores e motores elétricos que correspondem a 60% do consumo mundial, isto resulta na sua utilização em maiores quantidades nos setores para construção civil (40%), elétrica (25%), máquina (15%), bens duráveis (10%) e transporte (10%) (DNPM, 2009).

2.4. Classificação conforme ASTM

A CDA (*Cooper Development Association*) adotou um sistema de numeração unificado desenvolvido pela ASTM (*American Society for Testing and Materials*) e pela SAE (*Society of Automotive Engineers*) que classifica as ligas de cobre conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1- Classificação das ligas de Cobre

Série CDA / ASTM	Tipo de liga
C 1XX	Cobre comercialmente puro e cobre ligado
C 2XX	Latão binário (cobre-zinco)
C 3XX	Latão com chumbo (Cu-Zn-Pb)
C 4XX	Latão com estanho (Cu-Zn-Sn)
C 5XX	Bronzes (cobre-estanho, com e sem fósforo)
C 6XX	Cobre- alumínio, cobre silício
C 7XX	Cuproníquel e alpaca
C 8XX	Ligas fundidas
C 9XX	Ligas fundidas

Fonte: (BARBOSA, 2008).

Na classificação acima a letra “C” indica que é uma liga de cobre, o primeiro algarismo identifica a classe da liga e os demais algarismos especificam mais detalhadamente a composição química da liga (BARBOSA, 2008).

O cobre puro consiste em um metal com teor igual ou superior de 99,3% de cobre sendo este considerado como cobre eletrolítico que normalmente são produzidos na forma de anodos com teor mínimo de 99,9% de cobre (BARBOSA, 2008).

As ligas de cobre de baixo teor de liga contem teor de todos os elementos de ligas somados não ultrapassam 1%, podendo estes ser cádmio e cromo (BARBOSA, 2008).

Os latões binários são compostos da liga cobre-zinco onde existem outros elementos em teores baixíssimos acabando por serem consideradas impurezas. Os latões com estanho contem cobre – zinco onde parte do zinco é substituída pelo estanho (BARBOSA, 2008).

Porém os bronzes são ligas cobre- estanho podendo conter um teor superior de 10% de estanho (BARBOSA, 2008).

As ligas cobre-alumínio que são conhecidas como bronzes de alumínio podem conter comercialmente de 5 a 8% de alumínio e também teores maiores que 8% de alumínio (BARBOSA, 2008).

As ligas Cuproníquel são constituídas essencialmente de cobre e níquel podendo conter o valor máximo de 65% de níquel, as ligas Alpacas contem cobre-zinco-níquel normalmente tem de 10 a 30% de níquel em sua composição. Existem ainda as ligas de cobre-berílio e cobre-silício (BARBOSA, 2008).

2.5. Cobres ligados e suas características

Como mencionado cobre ligado são ligas cujo teor de todos os elementos não ultrapassam 1%. Segundo Barbosa (2008) seguindo essa denominação podemos dividi-los em três grupos:

- Cobres ligados de alta condutividade térmica e elétrica, encontra-se o cobre-prata tenaz (Cu-Ag IP) e o cobre-prata isento de oxigênio (Cu-Ag OF). O cobre-prata tenaz contém de 0,02 a 0,12 % de prata, que pode ser adicionada intencionalmente ou estar naturalmente contida na matéria-prima, e possui uma estrutura homogênea, já que para esses teores a prata permanece totalmente solubilizada no cobre. Este cobre ligado possui resistência mecânica e à fluência (em temperaturas relativamente elevadas) mais alta do que a maioria dos cobres de alta condutividade (90 a 100 % IACS) (BARBOSA, 2008).

- Cobres ligados de alta resistência mecânica encontram-se o cobre-arsênio desoxidado com fósforo (Cu-As DHP), o cobre-cromo e o cobre-zircônio (Cu-Zr). O cobre arsênio contém arsênio em teores de 0,013 a 0,050 %, que tanto pode ser adicionado intencionalmente como estar presente como impureza proveniente da matéria-prima. A presença do arsênio favorece o aumento da resistência mecânica em temperaturas elevadas, como também aumenta a resistência à corrosão em determinados ambientes (BARBOSA, 2008).

- Cobres ligados de alta usinabilidade podem ser relacionados o cobre- telúrio (CuTe), o cobre-enxofre (Cu-S) e o cobre-chumbo (Cu-Pb). O cobre-telúrio, assim como o cobre enxofre e o cobre-selênio (Cu-Se), combina alta condutividade elétrica com boa usinabilidade. O telúrio, assim como o enxofre e o selênio, forma com o cobre compostos estáveis, que ficam distribuídos na matriz de cobre como partículas finamente dispersas (BARBOSA, 2008).

2.6. Condutividade e Impurezas na liga

A condutividade elétrica do cobre é afetada por pequenas impurezas na liga, das quais podem ser divididos em dois grupos (SARTORI, 2014).

- Grupo 1: consiste nos elementos que já estão presente nos grãos de cobre que reduzem consideravelmente a condutividade elétrica, mas não afetam quando o cobre é empregado visando maior resistência mecânica ou dureza. Alguns desses elementos são o alumínio, o fósforo, arsênio e silício (SARTORI, 2014).

- Grupo 2: consiste os elementos que são praticamente insolúveis na solução sólida do cobre normalmente localizadas no contorno de grão da mistura eutética. Entre estes elementos temos o chumbo, o telúrio, oxigênio (na forma de oxido cuproso), enxofre (na forma de sulfetos e bismuto). Estes elementos tem pouco efeito sobre a condutividade, porém tornam o metal mais frágil podendo causar fraturas intergranulares (SARTORI, 2014).

O arsênio é a impureza mais prejudicial à condutividade, o fósforo tem o mesmo efeito porem sendo um desoxidante (SARTORI, 2014).

O cadmio, cromo e a prata são mais adequados para endurecer a solução sólida, reduzindo a condutividade (SARTORI, 2014).

O oxigênio inicialmente aumenta a condutividade do cobre, pois remove as impurezas precipitando óxidos insolúveis, porem em excesso diminui a condutividade (SARTORI,2014).

A prata não reduz significativamente a condutividade do cobre, mais eleva consideravelmente a temperatura de recristalização, uma característica vantajosa quando se quer manter o encruamento em temperaturas levemente elevadas (SARTORI, 2014).

O ferro quando em pequenas quantidades diminui a condutividade elétrica e reduz a plasticidade, porém aumenta a dureza (SARTORI, 2014).

O antimônio assim como o níquel deve estar em pequenas concentrações, pois diminui a condutividade (SARTORI, 2014).

O selênio e o telúrio quando adicionados facilitam a usinagem (SARTORI, 2014).

O chumbo melhora a usinabilidade, porém o faz reduzindo a ductibilidade, fazendo com que haja uma fragilidade a quente (SARTORI, 2014).

2.7. Classificação e características do cobre comercial

Segundo Rivaroli (2014) o cobre comercial pode ainda ser classificado conforme seu teor.

- Cobre ETP: cobre eletrolítico tenaz
- Cobre FRNC: cobre refinado à fogo de alta condutividade
- Cobre FRTP: cobre refinado à fogo tenaz
- Cobre CUOF: cobre isento de oxigênio
- Cobre CU CAST: cobre refundido

- Cobre DLP: cobre desoxidado com fósforo (baixo teor de P)
- Cobre DHP: cobre desoxidado com fósforo (alto teor de P)

✓ O cobre eletrolítico tenaz (**ETP**) possui no mínimo 99,9% de cobre, oxigênio de 0,02 a 0,07%, suas maiores aplicações são na indústria elétrica, mecânica, química, construção civil.

✓ O cobre refinado à fogo de alta condutividade (**FRNC**) possui no mínimo 99,9% de cobre, seu teor de oxigênio é incerto, condutividade de 100% IACS e suas aplicações não são tão nobres quanto a do cobre eletrolítico.

✓ O cobre refinado a fogo tenaz (**FRTP**) possui 99,8 ou 99,85% de cobre, tem teor de oxigênio controlado, sua condutividade não é de 100% IACS, com teores maiores que o ETP e FRNC, as aplicações são as mesmas do eletrolítico, porém com restrições a indústrias elétricas.

✓ O cobre isento de oxigênio (**CUOF**) possui 99,95 a 99,99% de cobre é o cobre eletrolítico sem óxido sua condutividade é de 100% IACS, porém mais caro que os anteriores e resistente a fragilidade pelo Hidrogênio, as aplicações estão em equipamentos eletroeletrônicos.

✓ O cobre refundido (**CU CAST**) pode ser subdividido em grau A 99,75% de cobre e grau B 99,5% de cobre é obtido de cobre secundário e destinado a fabricação de ligas de cobre.

✓ O cobre desoxidado com fósforo 99,85% de cobre e teor de fósforo é baixo de 0,004 a 0,012% (**DLP**).

✓ O cobre desoxidado com fósforo tem 99,9 a 99,8% de cobre e teor de fósforo é alto de 0,015 a 0,04% (**DHP**).

✓ O cobre vazado em molde possui 99,9 a 99,8% de cobre e com teor de fósforo de 0,015 a 0,04%.

2.8. Ligas Fundidas

O cobre e suas ligas, na condição de produtos fundidos, apresentam grande variação de propriedades como a resistência mecânica, a resistência à corrosão e as condutividades térmica e elétrica (RIVAROLI, 2014).

O processo de fundição exige que a liga apresente alta fundibilidade para a obtenção de formas complexas e boa qualidade (ausência de defeitos de fundição). Entretanto, em função dos requisitos de desempenho das peças fundidas em serviços, outras características são importantes, como a resistência à corrosão (causada pela

atmosfera, águas, solos e produtos químicos), resistência ao desgaste (particularmente quando a peça é usada como mancal de deslizamento), resistência à compressão, à fadiga, condutividade térmica e elétrica, deformabilidade, estanqueidade (para evitar o vazamento de fluidos através das paredes da peça fundida) e resistência mecânica a temperaturas relativamente elevadas (no máximo 300 °C) ou a baixas temperaturas (RIVAROLI, 2014).

Para a escolha de um processo de fundição é fundamental determinar o tamanho e a forma das peças a serem fundidas, a quantidade de peças a serem produzidas e os requisitos de projeto, as tolerâncias dimensionais e a qualidade desejada (RIVAROLI, 2014).

Nos tratamentos dos banhos das ligas fundidas de cobre são divididas em: refino por oxidação, solubilidade dos gases, desgaseificação, desoxidação (RIVAROLI, 2014).

O refino por oxidação costuma ser utilizado por recuperadores das ligas, com seu principal objetivo a redução dos teores de limpeza em ligas de cobre (RIVAROLI, 2014).

Segundo Rivaroli (2014) para se fazer a oxidação existe uma sequencia para eliminação das impurezas nas ligas de cobre que é:

- Alumínio
- Silício
- Ferro
- Zinco
- Estanho
- Chumbo (de acordo com as energias livres para formação dos respectivos óxidos).

As ligas de cobre apresentam uma elevada solubilidade do hidrogênio no estado líquido e baixa no estado sólido, neste tipo de solubilidade com a solidificação promovem certas tendências para se formar porosidade (RIVAROLI, 2014).

O oxigênio isoladamente não é formador de porosidade por constituir um eutético com o cobre (RIVAROLI, 2014).

As maiores fontes de porosidade nas ligas de cobre são: hidrogênio, hidrogênio associado ao oxigênio (RIVAROLI, 2014).

Segundo Rivaroli (2014) para se diminuir a formação destas porosidades são utilizados três técnicas:

- Nas ligas de elevado teor de zinco, a evaporação do zinco inibe a absorção de gases pelo banho,
- A fusão redutora (com proteção do banho) associada à desgaseificação (por fluxos ou por borbulhamento de gás neutro),
- Fusão oxidante associada à desoxidação final.

Existem recomendações gerais especificadas na tabela 2 a seguir:

Tabela 2 – Tratamento de Banho

Liga	Proteção do Metal Líquido	Desoxidante	Características de Elaboração
Cu	Grafita moída	CaB ₂ ,Li	Fundição muito difícil e tendência à absorção de gases. Desgaseificação se necessário.
Latão Amarelo	Não é necessário	0,15 a 0,35% Al	Perda de zinco por volatilização. Fusão simples. Problemas com chupagem quando Al >0,35%
Bronze ao Alumínio	Atmosfera oxidante	Nenhum	Desgaseificação se necessário. Fluxante para remoção de Al ₂ O ₃
Latão Vermelho e Semi Vermelho	Atmosfera oxidante. Geralmente não há necessidade de fluxantes de cobertura	Cu – 15% P	Perda de zinco por volatilização. Fusão simples. Excesso de fósforo pode causar porosidade e falha de estanqueidade
Bronze de Sn e de Sn ao Pb			
Bronze de Sn alto Pb			

Fonte: (RIVAROLI 2014).

2.9. Processos e defeitos de Fundição

As ligas de cobre podem ser fundidas por processos que permitam obter uma grande variedade de formas geométricas, como a fundição em areia, a fundição em casca, o processo por cera perdida e a fundição sob pressão. Mesmo os processos que permitem obter peças de boa qualidade, porém com limitação na variedade de formas, também

podem ser aplicados às ligas de cobre, como a fundição contínua, a fundição centrífuga e a fundição em coquilha (RIVAROLI, 2014).

Segundo Rivaroli (2014) na fundição das ligas de cobre os processos mais utilizados são:

- Moldes de areia
- Coquilha
- Centrífuga
- Contínua de perfis

A fundição em areia é utilizada para latões, bronzes e cobsres eletrolíticos para: válvulas de pressão em bronzes estanho em moldes de areia verde, maçanetas e espelhos de luz em latões em moldes de *shell molding*, contatos elétricos, ventaneiras (alto forno) e pontas de lança de conversores em cobre puro em moldes de areia resina (RIVAROLI, 2014).

A fundição em coquilha é utilizada para latões (65-35 ou 60-40) para produção de metais sanitários e peças de irrigação em latões utilizando coquilhas em ligas CU-CR e machos em shellmolding (RIVAROLI, 2014).

Na fundição centrífuga que é utilizada em buchas e mancais de bronze ao estanho, latões de alta resistência e bronzes ao alumínio (RIVAROLI, 2014).

Já a fundição continua de perfis redondos é utilizada para fabricação de bucha e mancais em bronze estanho, latões de alta resistência e bronzes ao alumínio (RIVAROLI, 2014).

Segundo Rivaroli (2014), esses processos como os outros possuem defeitos típicos como:

- Rechupe
- Falta de estanqueidade (relacionada à rechupes na peça)
- Bolhas de ar presos
- Preenchimento incompleto (relacionados a ar preso na peça)
- Inclusão de areia
- Penetração por explosão
- Trincas de solidificação

2.10. Soldagem de Cobre

Segundo a AWS (*American Welding Society*) soldabilidade é capacidade de um material ser soldado seguindo normas de fabricação segundo um projeto pré-estabelecido.

Sendo que a maioria das ligas metálicas possuem a possibilidade de serem soldadas, mas algumas são muito mais difíceis por um dado processo que outras (MODENESI, 2011).

Para determinar a soldabilidade de um material, é fundamental conhecê-lo bem, sendo o processo e os procedimentos de soldagem importantíssimos para que se obtenha bons resultados. Outro fator de grande influência que deve ser levado em consideração são as condições em que serão aplicadas (cargas, ambiente etc.) (MODENESI, 2011).

Segundo Modenesi (2011), para se determinar o melhor material para aplicação pode-se fazer algumas suposições:

- O metal base é adequado para a aplicação desejada, isto é, ele possui as propriedades adequadas e necessárias para resistir às necessidades da aplicação.
- O projeto da estrutura soldada e de suas soldas são adequados para o uso pretendido.

Somente após esta avaliação faz-se necessário a análise da junta soldada.

Em uma situação ideal, metal base e metal de solda devem apresentar características semelhantes, como: resistência mecânica, ductilidade, tenacidade, resistências à fadiga e à corrosão (MODENESI, 2011).

Na maioria dos casos, a produção de uma solda envolve o uso de calor o que pode ocasionar uma estrutura metalúrgica diferente da do metal base (MODENESI, 2011).

Caso alguns cuidados não sejam tomados a solda pode apresentar descontinuidades que afetam sua qualidade, como exemplo podemos citar: vazios, trincas, material incluso, mordedura, falta de fusão etc. (MODENESI, 2011).

Modenesi (2011) afirma que há três tipos de problemas inter-relacionados devem ser considerados:

- Problemas na ZTA (Zona Termicamente Afetada) que ocorrem durante ou imediatamente após a operação de soldagem, como poros, trincas de solidificação, trincas induzidas pelo hidrogênio, perda de resistência mecânica, etc.
- Problemas na solda ou no material adjacente que ocorrem nas etapas de um processo de fabricação posteriores à soldagem. Incluem, por exemplo, a quebra de componentes na região da solda durante processos de conformação mecânica.
- Problemas na solda ou no material adjacente que ocorrem em um certo momento durante o serviço da estrutura soldada. Estes podem reduzir a eficiência da junta nas condições de serviço e incluem, por exemplo, o aparecimento e a propagação de trincas por diversos fatores, problemas de corrosão, fluência, etc.

Para se evitar estes problemas, é importante conhecer as possíveis complicações que os materiais podem apresentar ao serem soldados, os fatores do material, do projeto e do procedimento de soldagem que as afetam e a sua influência no comportamento em serviço da estrutura soldada (MODENESI, 2011).

Cobre e suas ligas são amplamente utilizadas na indústria elétrica (devido a sua baixa resistividade), em aplicações onde a resistência à corrosão de algumas destas ligas é importante, na fabricação de mancais, etc. Existem algumas centenas de ligas de cobre com elementos como zinco, níquel, estanho, alumínio, manganês, fósforo, berílio, cromo, ferro e chumbo (MODENESI, 2011).

A discussão apresentada terá um caráter mais geral, voltada principalmente para o cobre comercialmente puro, sem entrar em detalhes da soldagem de ligas específicas (MODENESI, 2011).

As propriedades do cobre que requerem atenção especial para soldagem são: elevada condutividade térmica, elevado coeficiente de expansão térmica, tendência a se tornar frágil a altas temperaturas, ponto de fusão relativamente baixo, baixa viscosidade do metal fundido, elevada condutividade elétrica, resistência mecânica, para várias ligas, baseada principalmente no encruamento (MODENESI, 2011).

Por sua elevada condutividade térmica o cobre necessita de um pré-aquecimento muito elevado, por ex., para a soldagem de uma junta de 12 mm de espessura, recomenda-se um pré-aquecimento de cerca de 400°C para a soldagem GMAW com argônio, isso tudo para se manter o controle da poça de fusão (MODENESI, 2011) .

O coeficiente de expansão térmica do cobre é cerca de 50% maior que o do aço, podendo ser ainda maior para algumas ligas de cobre, existindo, assim, um grande potencial para problemas de distorção com o cobre (MODENESI, 2011).

O cobre e muitas de suas ligas são basicamente monofásicas, com estrutura cristalina FCC. Diversas destas ligas podem perder a sua ductilidade a alta temperatura e, ainda, sofrer problemas de fissuração a quente (MODENESI, 2011).

Elementos de liga como arsênico, bismuto, estanho, selênio e chumbo tendem a favorecer esta forma de fissuração. Na soldagem de cobre comercialmente puro não desoxidado, a absorção de hidrogênio pela poça de fusão pode levar à reação deste gás com inclusões de óxido de cobre, com a formação de água, a qual leva à formação de trincas na ZTA destes materiais (MODENESI, 2011).

Ligas de cobre e zinco não devem ser soldadas a arco, pois a elevada temperatura deste pode levar à vaporização de parte do zinco na poça de fusão (MODENESI, 2011).

Os processos mais usados para a soldagem do cobre e suas ligas são GTAW e GMAW. Soldagem GTAW é normalmente feita com corrente contínua e eletrodo negativo e proteção de argônio, hélio ou misturas destes dois gases. Para ligas de cobre e alumínio, pode ser necessário o uso de corrente alternada para a limpeza superficial. O processo GMAW é usado para a soldagem de peças de maior espessura (MODENESI, 2011).

2.11. Corrosão

2.11.1. Corrosão atmosférica no cobre

Quando em contato com a atmosfera o cobre forma óxidos Cu_2O e CuO porém com a presença de poluentes esses se transformam e a pátina azul-esverdeada composta de carbonatos, sulfatos e cloretos básicos nesta não há variação da velocidade da corrosão pois se encontram constante pela exposição (GENTIL, 1982).

As patinas verdes são de aspecto decorativo nesta contendo principalmente sais básicos, os sulfatos encontrados na atmosfera urbana e os cloretos na atmosfera marítima. Contudo são necessários alguns anos para a formação da pátina verde a qual o dióxido de enxofre costuma impedir a mesma (GENTIL, 1982).

2.11.2. Corrosão sob tensão

Composta de uma fissura decorrente da corrosão que se associou a tensões residuais ou externas constantes (GENTIL, 1982).

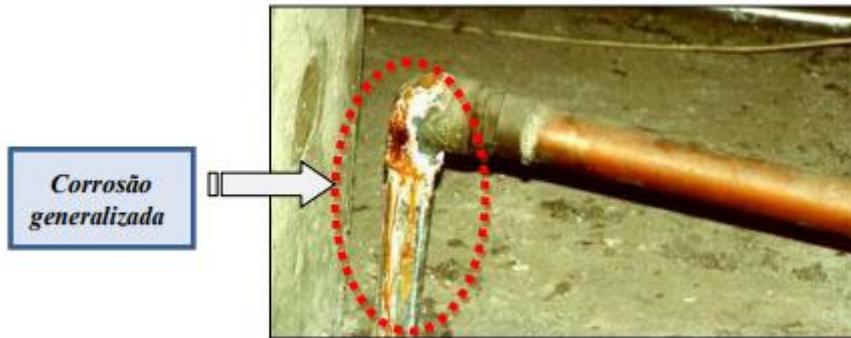
2.11.3. Dezincificação

Ocorrendo em latões principalmente quando maior o conteúdo de zinco, se tornando mais suscetíveis. Em meios agressivos tem seus íons Zn ou Cu dissolvidos, posteriormente se redepositando ao lado no qual se dissolve na superfície metálica. Podendo ser dividida em dois tipos onde o primeiro consiste no ataque profundo por pits e localizado, a segunda seria um ataque não tão intenso superficial e generalizado (COUTINHO, 1980).

2.11.4. Corrosão uniforme

Tendo sua velocidade igual em toda superfície metálica a proporcional diminuição de peso com o tempo de exposição, normalmente causadas por ácidos ou águas de pH baixo (GENTIL, 1982).

Figura 1–Corrosão Uniforme

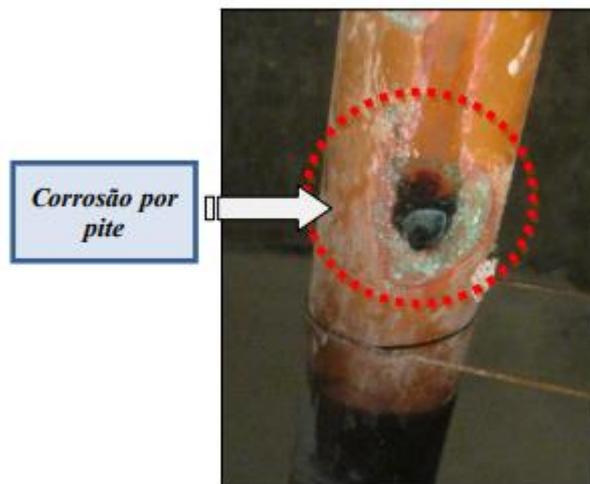


Fonte: Lima (2015)

2.11.5. Corrosão por pite

Ocorrendo localizada e formato de cavidades que ocasionam perfurações em tubulações estas são associadas a resíduos de carbono na superfície, baixa dureza da água contendo manganês, águas duras de poços (GENTIL,1982).

Figura 2–Corrosão por pite



Fonte: Lima (2015)

2.11.6. Corrosão por aeração diferencial

Ocorrem por depósitos na área anódica e corroída logo abaixo dos depósitos (GENTIL,1982).

2.12. Dureza

2.12.1. Ensaio de Dureza

Dureza: Consiste na capacidade de resistência do material a deformação permanente sob carga do penetrador. O ensaio consiste em penetrar o material com penetrador com geometria específica para que o mesmo resista as cargas de compressão (RODRIGUES, 2017).

2.12.2. Microdureza Vickers

O que se altera entre ensaios de dureza e de microdureza se encontra na intensidade da carga, além de a marca deixada ser visível apenas com microscópios. São usualmente utilizadas para camadas finas de revestimentos, materiais frágeis, qualquer tipo de material, peças pequenas ou finas (RODRIGUES, 2017).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

3.1.1. Corpos de Prova

Foram utilizadas nove ligas de cobre (ligas de cobre com zinco, estanho, chumbo e alumínio) obtidas através de amostras retiradas do processo de fundição para análise química. Todos os corpos de prova foram fundidos em coquilha especial para diminuir quantidade de porosidades e vazios internos. A tabela 3 descreve as composições químicas de cada amostra. Informações obtidas através de espectrômetro e doadas por uma empresa fabricante de ligas não ferrosas.

Tabela 3 – Composição química das ligas estudadas

LIGA	Cu (%)	Sn (%)	Fe (%)	Si (%)	Al (%)	Pb (%)	Zn (%)	Ni(%)	Mn (%)
Cobre Puro	99,83	-----	-----	0,0757	-----	-----	-----	-----	-----
SAE 68C– Bronze	83,92	-----	2,297	-----	9,16	-----	2,08	1,195	0,943
SAE 660 – Bronze	84,94	7,463	-----	-----	-----	6,52	0,788	0,237	-----
SAE 40– Bronze	86,71	4,875	-----	-----	-----	4,202	4,055	-----	-----
LatãoTomback	83,71	0,12	-----	0,159	-----	-----	15,80	-----	0,106
SAE 43 – Latão	59,09	0,115	1,363	0,127	1,627	-----	36,25	0,0267	1,132
SAE 62 –Bronze	86,44	10,786	-----	-----	-----	0,362	1,532	0,479	-----
SAE 65 – Bronze	92,21	7,37	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
SAE 67 – Bronze	75,504	7,27	-----	-----	-----	14,124	0,138	0,105	-----

Fonte: (Autores, 2017)

3.1.2. Insumos Metalográficos

Para execução da metalografia foram utilizados os seguintes materiais:

- Disco de corte abrasivo para metais não ferrosos NF25-3-L, 230x1,5x32mm;
- Aditivo antioxidante e refrigerante; proporção 1:40 litros. PANAMBRA;
- Baquelite (Fenólico preto ARTEC);
- Desmoldante aerossol de silicone (D30 AROTEC);

- Lixas d'água abrasivas de carbeto de silício (SiC) com granulometrias (mesh) 180, 220, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200, 2000.
- Álcool etílico absoluto (PA ACS, 99,95% de pureza) para limpeza;
- Pano de polimento Velvet – Vermelho Φ 200mm AROTEC e Silk – Branco Φ 200 mm AROTEC para cobre e ligas;
- Pasta diamantada policristalina 1,0 μm , 0,25 μm ;
- Suspensão de sílica coloidal OPU de 0,04 μm ;
- Água destilada;
- Reagentes químicos corrosivos (AgNO_3 e Persulfato de Amônia).

3.1.3. Equipamentos utilizados

Foram utilizados os seguintes equipamentos para preparação e realização das micrografias:

- Cortadeira metalográfica, para corte das seções a serem preparadas;
- Embutidora a quente digital para preparar a amostra para lixamento;
- Lixadeira automática para eliminar riscos;
- Politriz automática para deixar isenta de riscos do lixamento;
- Capela para ataque metalográfico;
- Secador de cabelo metalográfico para evitar re-oxidação das amostras
- Microscópio óptico com objetivas de 50x, 100x, 200x, 500x, 1000x para verificar microestruturas formadas após o ataque metalográfico;
- Micro-durômetro para medir durezas nas amostras metalográficas.

3.2. Metodologia

O preparo de amostras para micrografia foi realizado nos laboratórios da Fatec com o corte dos batoques dos materiais até que adquirisse aproximadamente 1/4 do diâmetro de 50mm e 5mm de espessura. Após efetuado os cortes e rebarbadas foram lavadas e secas para o embutimento a quente, onde utilizando a baquelite seguindo os procedimentos de aquecimento e resfriamento, passaram para a lixadeira onde conforme a crescente das lixas foram retirados os riscos adquiridos durante o corte. Assim que finalizado o lixamento e limpeza das amostras foram submetidas ao polimento que iniciou com a passagem na pasta diamantada de 1,0 μm , seguida pela de 0,3 μm , passando para as soluções de sílica 0,3 μm e 0,03 μm . Por fim as amostras foram submetidas a limpeza para remoção das partículas retiradas do metal e análise no microscópio e estereoscópio.

Após a finalização da preparação das amostras iniciou-se os ataques onde cada uma das amostras com permanência nos reagentes químicos de acordo com necessidade sendo que nas amostras de SAE 68C e SAE 660 se fez uso de AgNO_3 , nas demais Persulfato de amônia. Terminado o ataque e limpeza as amostras foram encaminhadas para análises no microscópio.

No micro-durômetro foram fixadas as amostras de maneira que da borda para o centro conforme a precisão do micrometro posicionando a cada 5 μm deslocadas horizontal e verticalmente onde cada amostra possui 5 penetrações das quais analisamos posteriormente.

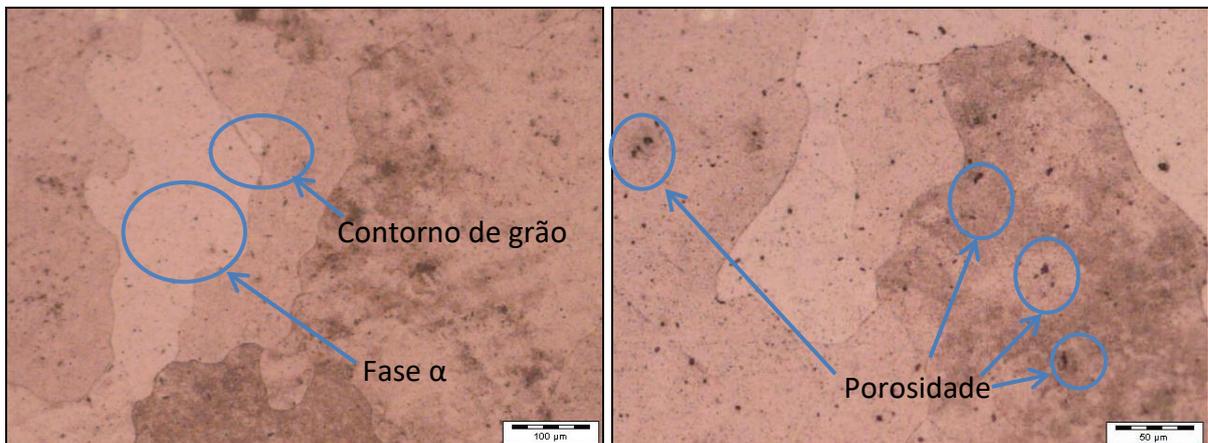
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES DE RESULTADOS

Foram realizadas as micrografias e comparadas com o diagrama de equilíbrio de cada liga. Os aumentos utilizados nas fotomicrografias ficaram em torno de 100 e 200 vezes para maioria das amostras, a exceção foi o Bronze 660 que foi utilizado aumentos de 200 e 500 vezes.

4.1. Amostra Cobre Puro

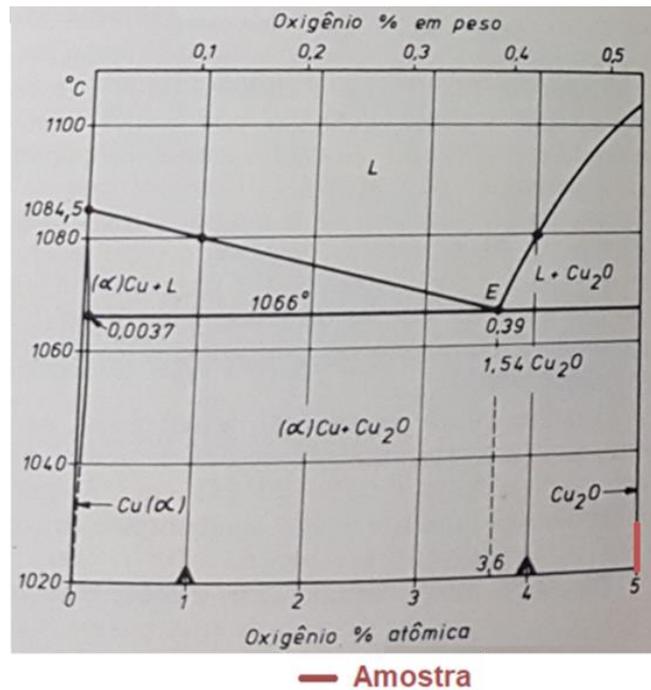
O ataque metalográfico revelou apenas o contorno de grão em fase α , o material é composto de fase única contendo pontos de porosidade em toda a amostra estando em maiores quantidades próximo ao contorno de grão. De acordo com o diagrama (figura 5) existe apenas a fase onde há apenas Cu_2O , conforme a composição da amostra.

Figuras 3 e 4 – Cobre Puro com 100 e 200X de aumento. Ataque: Persulfato de Amônia



Fonte:(Autores, 2017)

Figura5 -Diagrama Cobre Oxigênio



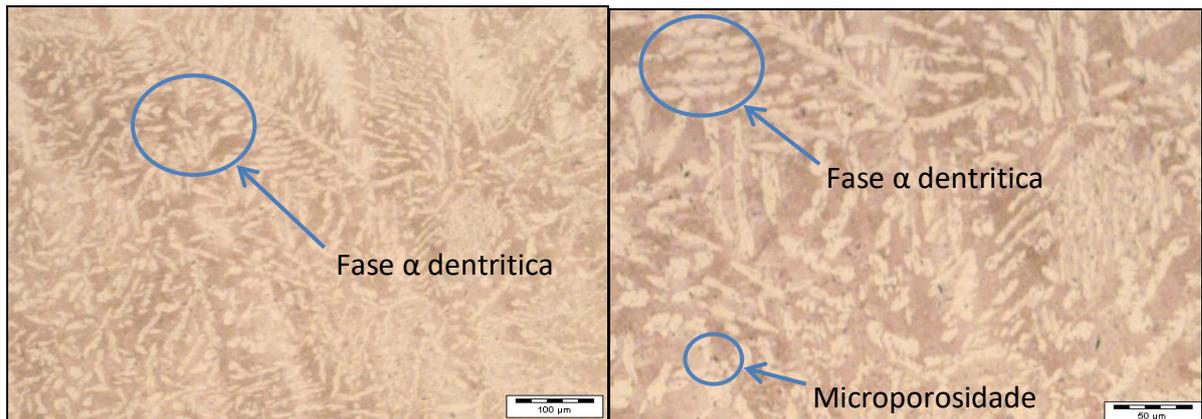
Fonte: (Coutinho, 1980)

Cobre eletrolítico possui elevada condutividade elétrica e térmica, alta resistência à corrosão assim como mecânica e fadiga e fácil utilização na fabricação. Com extenso campo de aplicação que se baseia principalmente na parte elétrica tais como equipamentos eletroeletrônicos, ânodo para válvulas, vidro-metal em equipamentos eletrônicos, componentes termostatos, cabos flexíveis, eletrodeposição em banhos de cianeto, tubos catódicos e condutores de lâmpadas e válvulas (Cobre Eletrolítico,s.d.).

4.2. Amostra SAE 68C

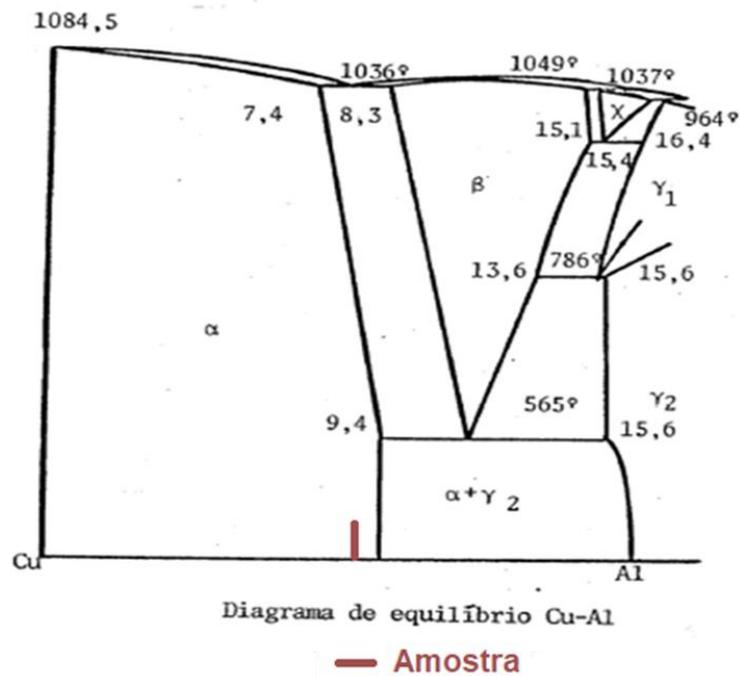
O ataque metalográfico revelou estrutura de fase α com total difusão do alumínio no metal base em formato dendrítico com pequenos pontos de porosidade, podendo ser observado o contorno dos grãos dendrítico. De acordo com o diagrama (figura 8) comprovamos que a amostra deve conter somente fase α .

Figuras 6 e 7 – Liga 68C – Bronzecom 100 e 200x de aumento. Ataque: AgNO₃



Fonte: (Autores, 2017)

Figura 8 – Diagrama Cobre Alumínio.



Fonte: (Tschiptschin, 2017)

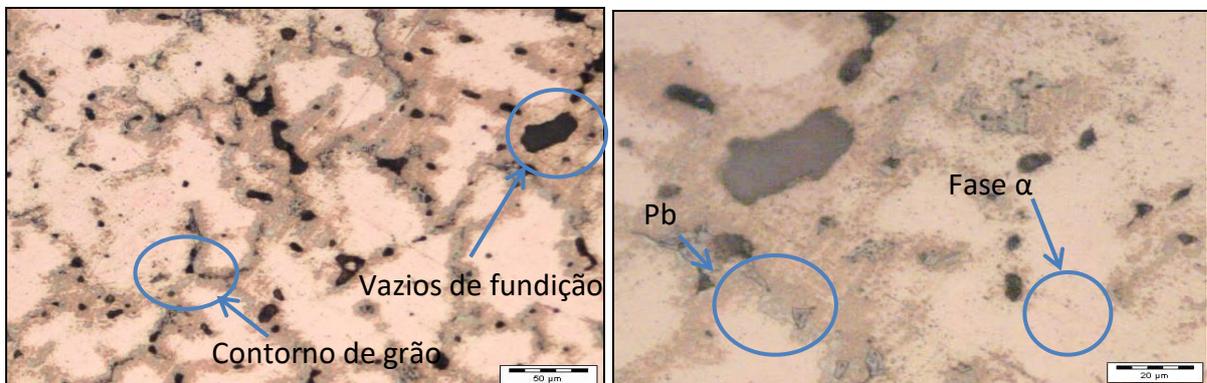
A Liga 68C é uma liga de Cu-Al, também chamado de Bronze Alumínio, utilizado em aplicações de serviço pesado e cargas elevadas, alto desgaste, resistência a tração, ductibilidade, soldabilidade, resistência à fadiga e deformação de sobrecarga. Como principais aplicações buchas, grampos de alta resistência, segmentos para indústrias

siderúrgicas, blocos de pressão para indústrias do aço, sede válvulas, placas de desgaste (Bronze SAE-68C (C95400), s.d.).

4.3. Amostra SAE 660

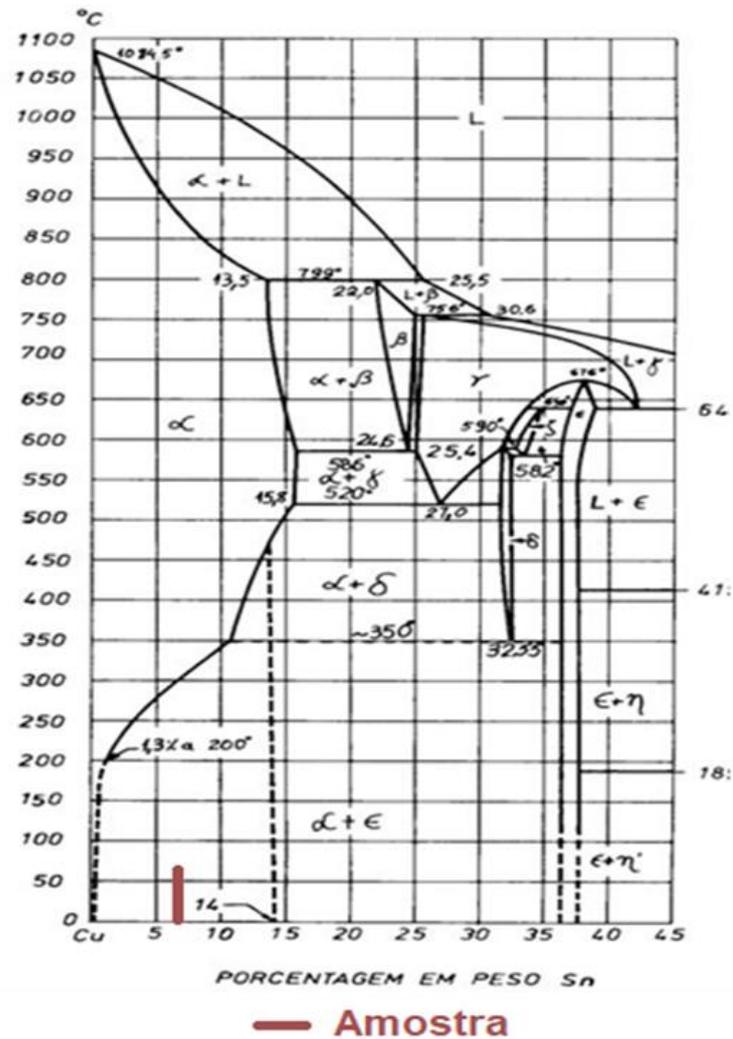
O ataque metalográfico revelou a estrutura de fase α onde há difusão total do estanho no metal base, sendo que há em cinza Pb em todo o contorno de grão, além de pontos de porosidades. Observando diagrama (figura 11) encontramos a estrutura $\alpha + \epsilon$ para esta quantidade de estanho, porém de acordo com a literatura a fase ϵ é revelada apenas quando o metal é resfriado excessivamente lento, não sendo o caso das amostras analisadas.

Figuras 9 e 10– Liga 660 Bronze com aumento de 200 e 500x. Ataque: AgNO_3



Fonte: (Autores, 2017)

Figura 11 – Diagrama Cobre Estanho.



Fonte: (Coutinho, 1980)

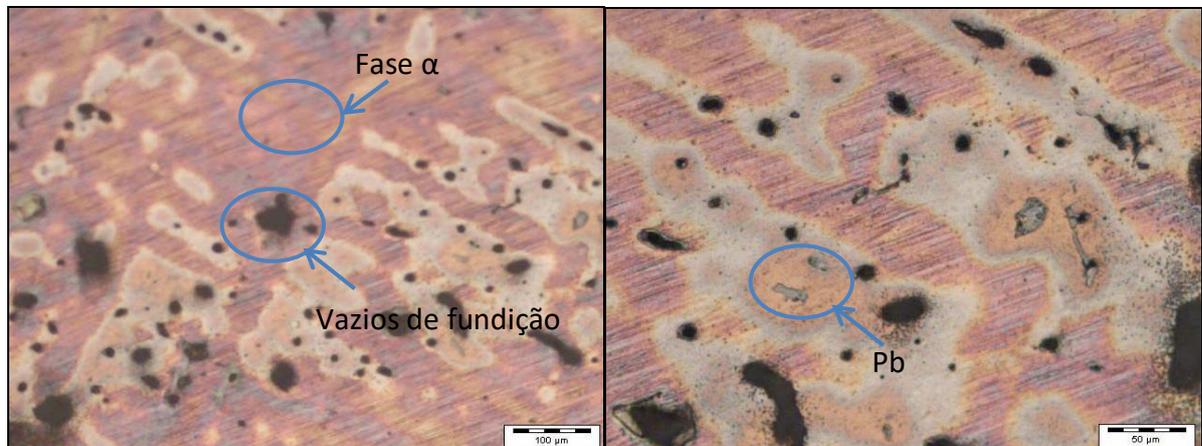
A amostra 660 é uma liga de Cu-Sn-Pb, também chamado de bronze ao Chumbo, possui excelentes propriedades antifricção, usinabilidade e fundição, são resistentes à corrosão e desgaste. Conforme a adição de zinco garante benefícios como o aumento de capacidade e melhoras de condições de fundição. Suas principais aplicações em mancais e buchas com media solicitação, materiais hidráulicos, elementos de acoplamentos, além de ser indicada para centrifugação (Bronze SAE 660 (C93200),s.d.).

4.4. Amostra SAE 40

O ataque metalográfico revelou a estrutura α com difusão do Zn e Sn, no contorno de grão com de Pb e vazios de fundição. De acordo com o diagrama (figura 14)

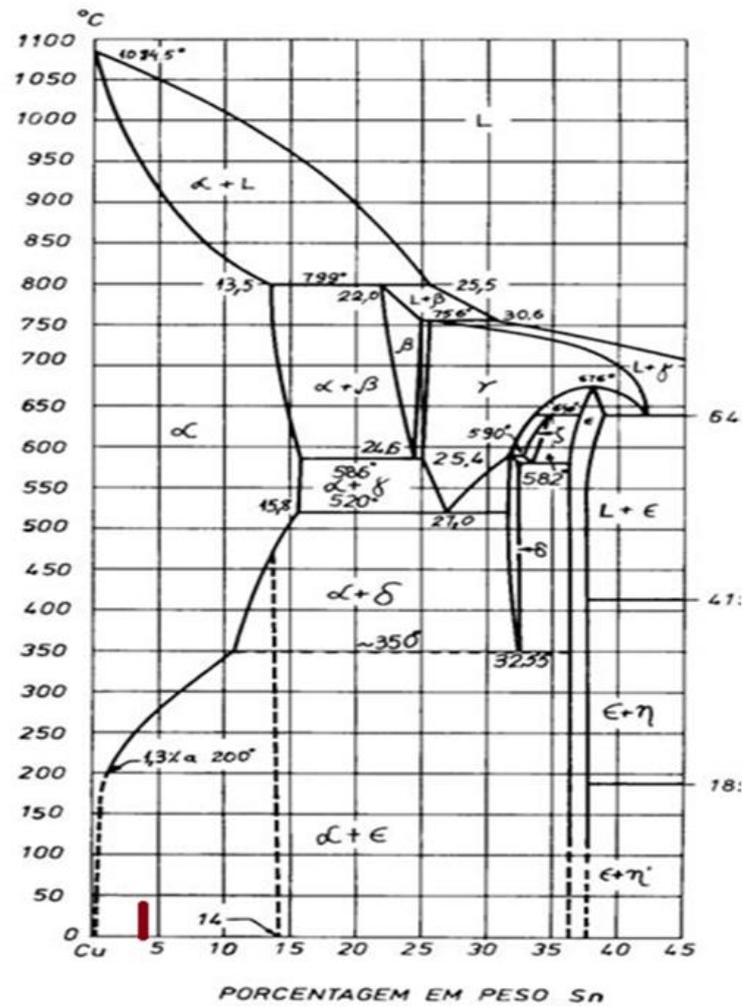
nesta amostra o estanho em pequena porcentagem assim como teve difusão completa no metal base.

Figuras 12 e 13 – Liga SAE 40 Bronze com aumento 100 e 200x. Ataque: Persulfato de Amônia.



Fonte: (Autores, 2017)

Figura 14 – Diagrama Cobre Estanho.



— Amostra

Fonte: (Coutinho, 1980)

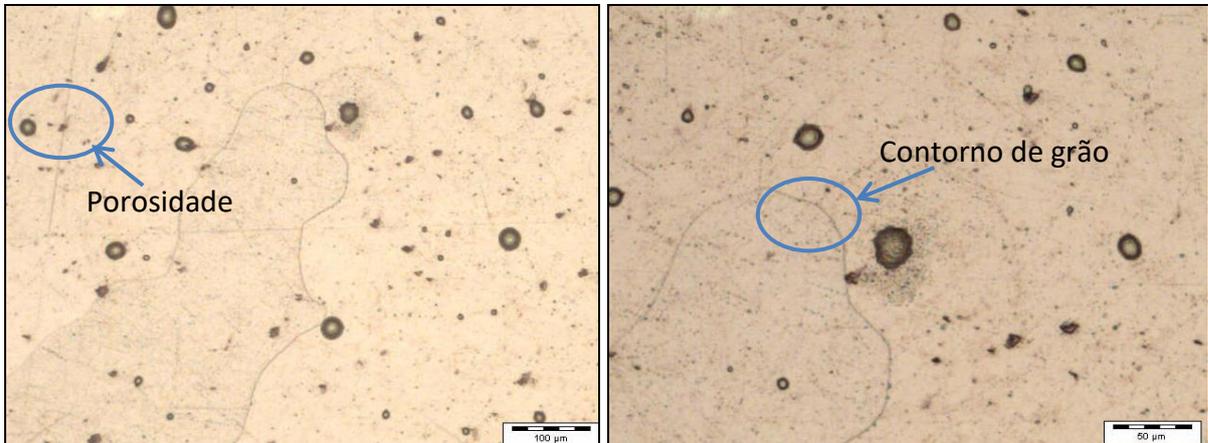
A amostra SAE 40 é uma Liga Cu- Sn-Pb-Zn, também chamado de Bronze ao chumbo, contem ótimas propriedades mecânicas, resistência à corrosão, à abrasão, ao desgaste, porém necessitam de lubrificação quando não, funcionam com precariedade. Como maiores aplicações estão em mancais, sapatas, casquilhos, anéis, coroas (Bronze Liga SAE-40,s.d.).

4.5. Amostra Latão Tomback

A amostra Latão Tomback é uma Liga Cu-Zn, também chamado de Latão 85/15 ou Tomback 15. A amostra revela somente o contorno de grão, estrutura é composta

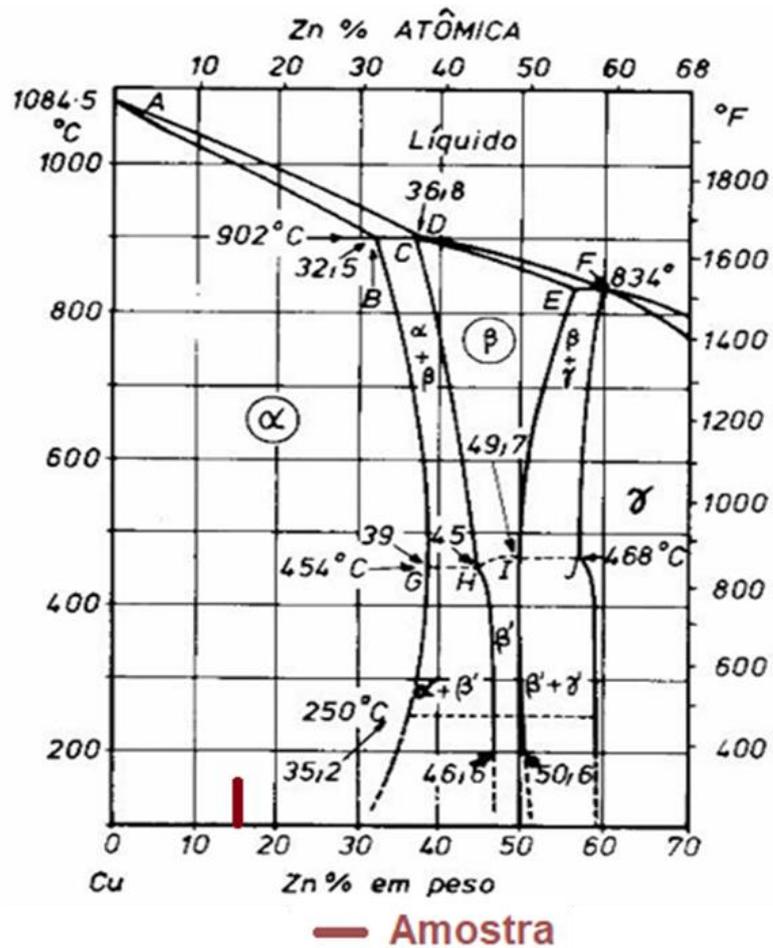
somente de fase α , conforme descrito no diagrama (figura 17) de acordo com a porcentagem de zinco existe a total difusão no metal base.

Figuras 15 e 16 – Liga Latão Tombac 100 e 200x. Ataque: Persulfato de Amônia



Fonte: (Autores, 2017)

Figura 17 - Diagrama Cobre Zinco



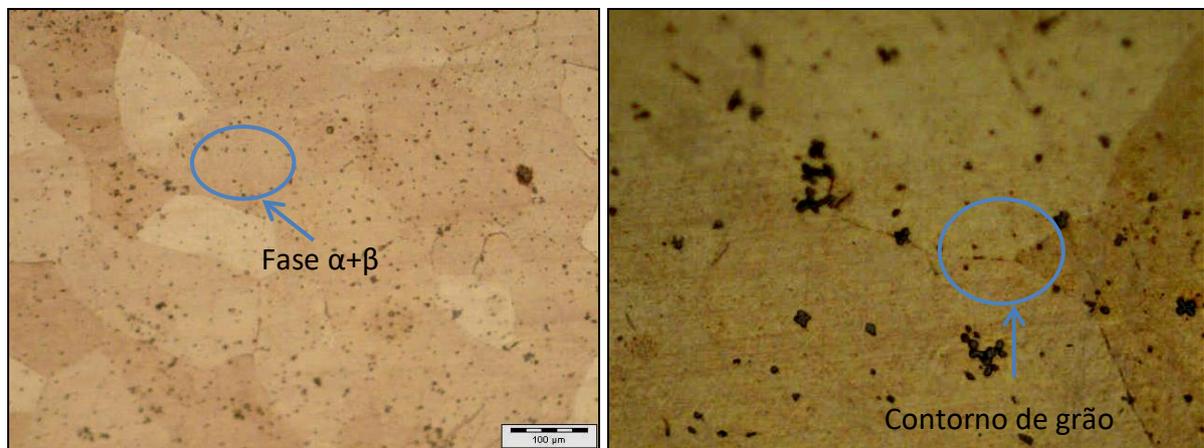
Fonte: (Coutinho, 1980)

Possui como principais características excelente conformabilidade a frio, razoável a quente e ótima soldabilidade. Suas principais aplicações são em extintores de incêndio, ilhoses, botões de pressão, bijuterias, cartuchos para munição (Latão Tombac 85-15, s.d.).

4.6. Amostra SAE 43

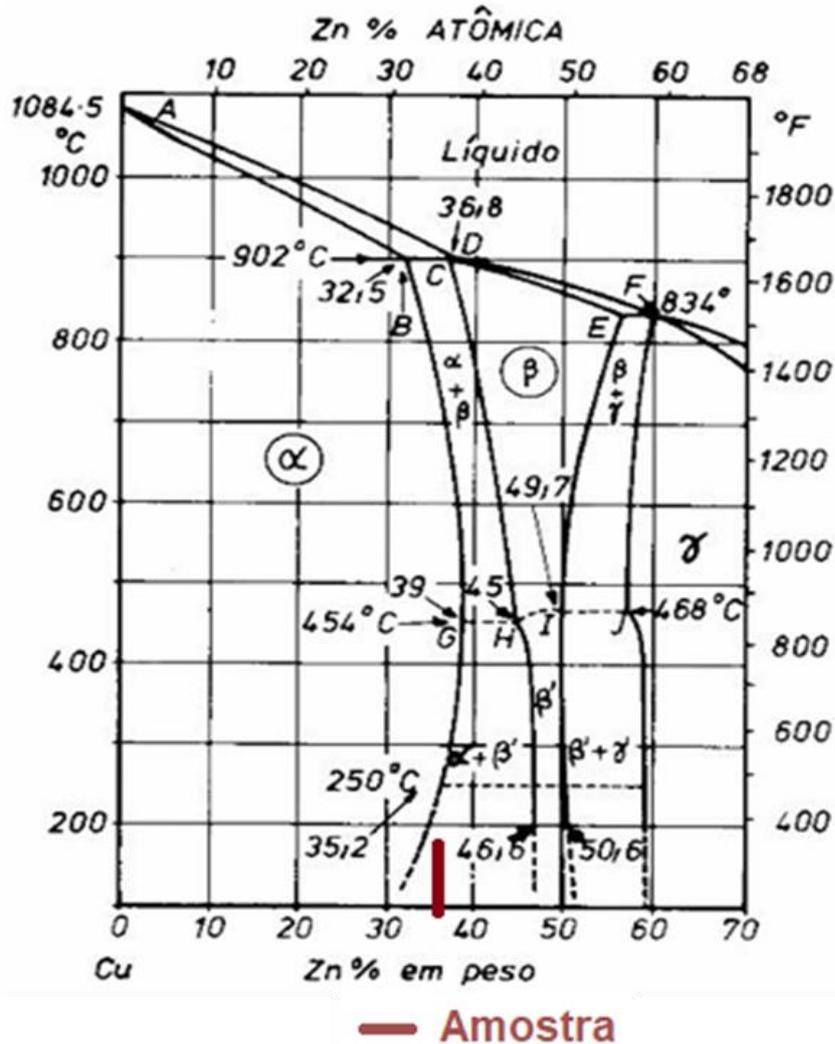
A amostra SAE 43 é uma Liga Cu-Zn, também chamada de Latão possui uma estrutura revelada de fase $\alpha+\beta$, com pontos de porosidade. De acordo com o diagrama (figura 20), observamos que nesta porcentagem houve difusão completa do zinco.

Figuras 18 e 19 – Liga SAE 43 Latão com aumento de 100 e 200X. Ataque: Persulfato de Amônia



Fonte: (Autores, 2017)

Figura 20 - Diagrama Cobre Zinco



Fonte: (Coutinho, 1980)

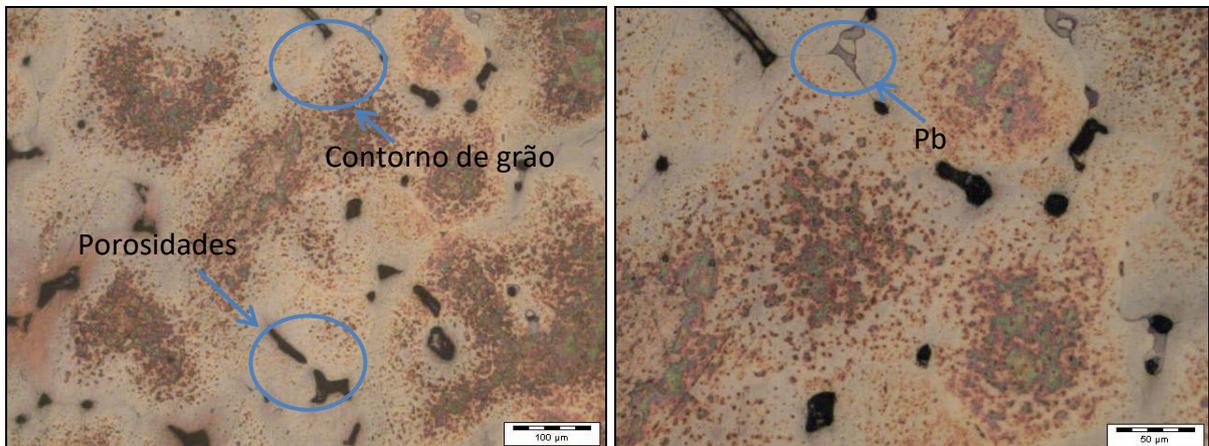
Esta liga é utilizada para suportar cargas estáticas em altas e baixa velocidade ótimas resistência a corrosão. Costumam ser aplicadas em cilindros hidráulicos, componentes para pontes rolantes e cames de alta resistência (Bronze SAE-43 (86500), s.d.).

4.7. Amostra SAE 62

A amostra SAE 62 é uma Liga Cu-Sn-Zn, também chamado de Bronze com pequenas porcentagens de zinco, onde encontramos estrutura fase α com difusão completado estanho, sendo que há de Pb no contorno de grão e pontos de porosidades. De acordo com o diagrama (figura 23) com estas porcentagem a amostra deveria conter fase ϵ , porém

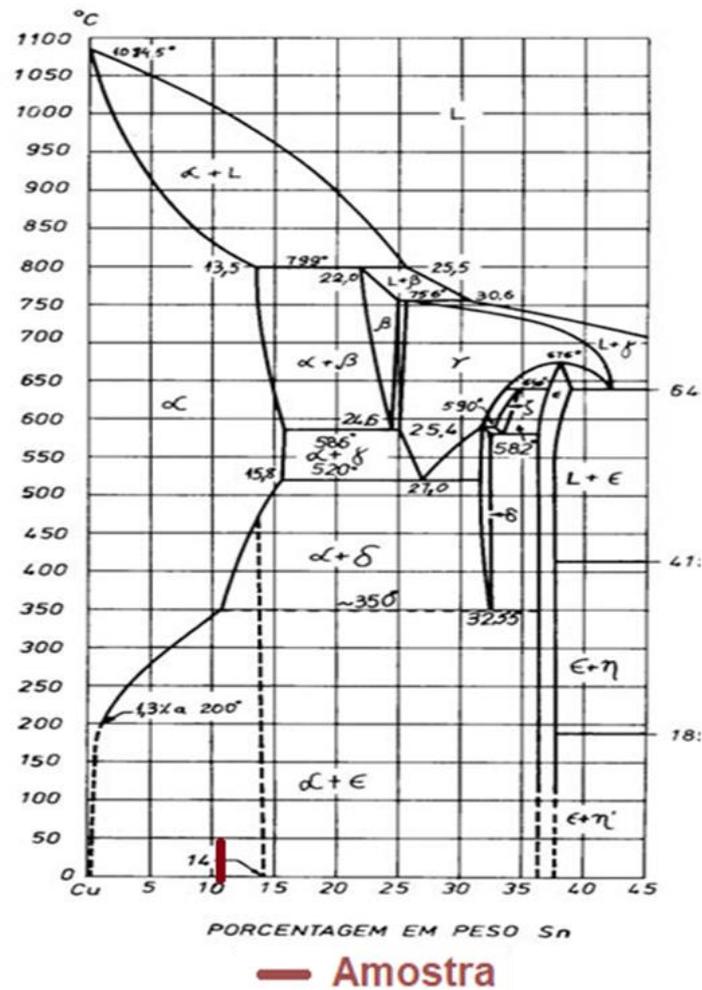
apenas quando resfriado muito lentamente e com quantidades maiores de estanho em sua composição não sendo o caso da amostra analisada.

Figuras 21 e 22 – Liga SAE 62 Bronze com aumento de 100 e 200X. Ataque: Persulfato de Amônia.



Fonte: (Autores, 2017)

Figura 23 – Diagrama Cobre Estanho.



Fonte: (Coutinho, 1980)

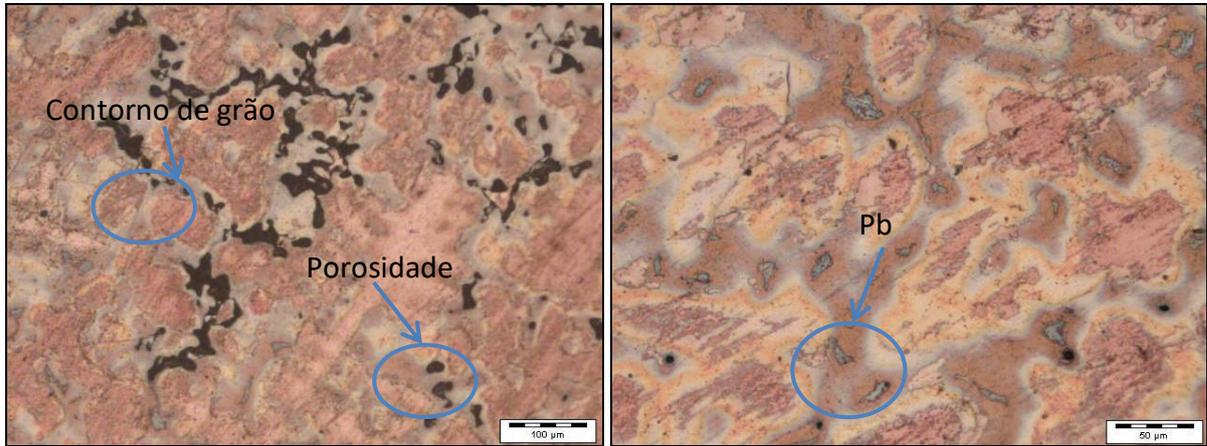
Esta liga tem como características ótima resistência à corrosão e à temperatura, media resistência ao desgaste e necessitam de boa lubrificação com cargas medias. Como usuais aplicações temos as buchas, carcaças, rotores de bombas, anéis de vedação, alguns componentes de válvulas, sedes de hastes, podem ser utilizadas em flanges e conexões e peças com resistência à pressão e à temperatura (Bronze Liga SAE-62, s.d.)

4.8. Amostra SAE 65

A amostra SAE 65 é uma Liga Cu-Sn-Zn, também chamado de Bronze ao estanho. Revelou a estrutura de fase α e pequenos traços de Pb em seu contorno de grão.

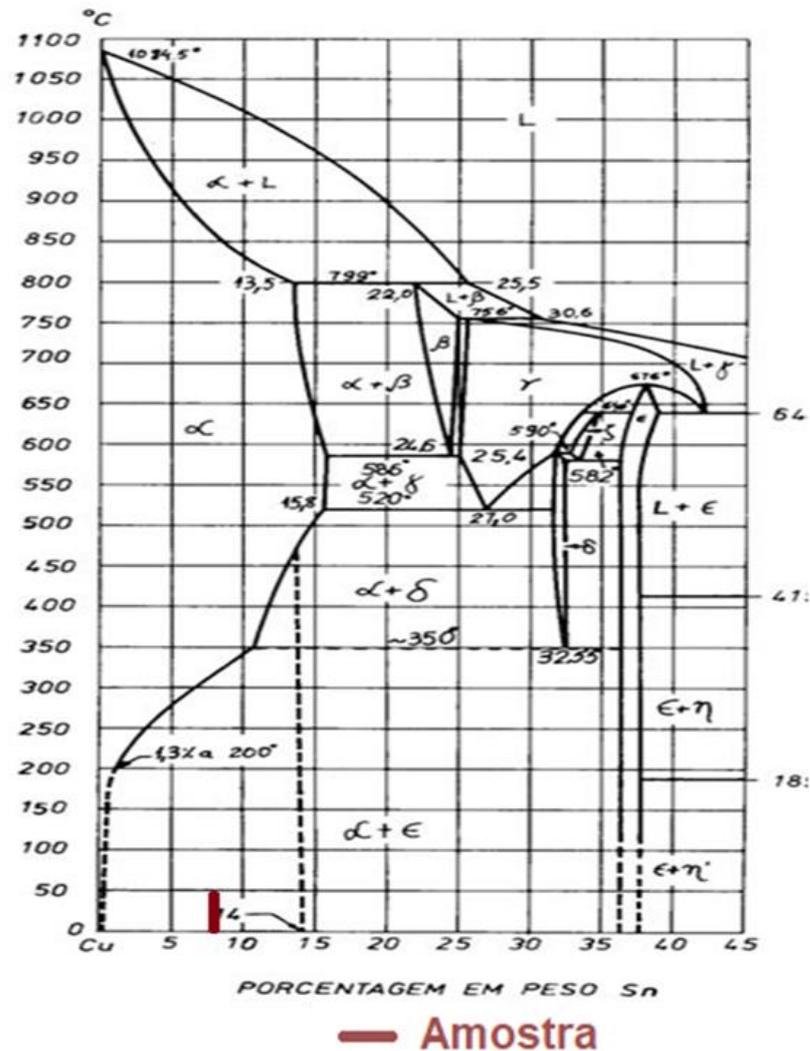
Analisando o diagrama (figura 26) encontramos a fase ϵ que não possui esta amostra, pois só se forma quando o material é resfriado lentamente não sendo o caso da amostra.

Figuras 24 e 25 – Liga SAE 65 Bronze com aumento de 100 e 200x



Fonte: (Autores, 2017)

Figura 26 – Diagrama Cobre Estanho.



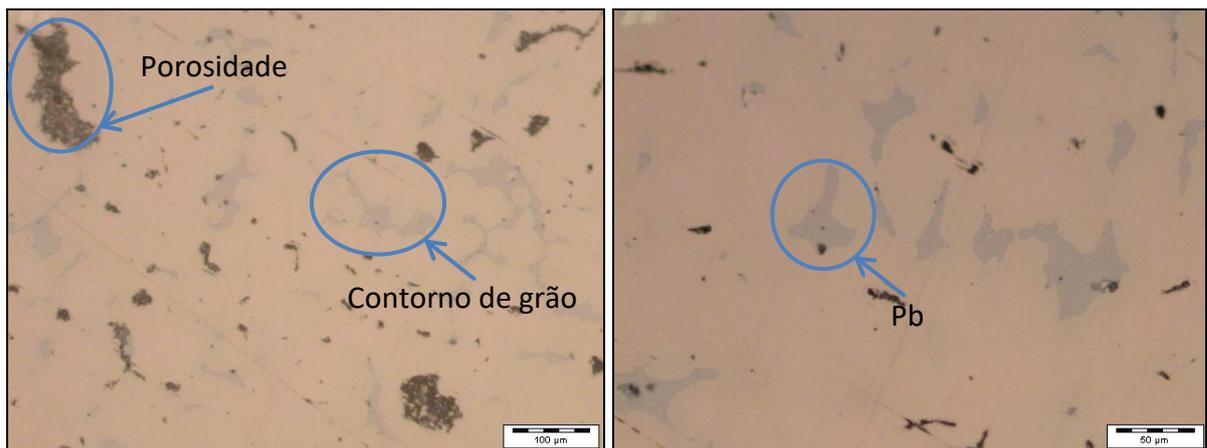
Fonte: (Coutinho, 1980)

Possui além de ótimas propriedades mecânicas, dureza tenaz, resistência ao desgaste, à corrosão e à fadiga, necessitam boa lubrificação quando com cargas elevadas. Suas principais aplicações são em mancais, chapas de desgaste, engrenagens, anéis de segmento de pistão (Bronze Liga SAE-65, s.d.).

4.9. Amostra SAE 67

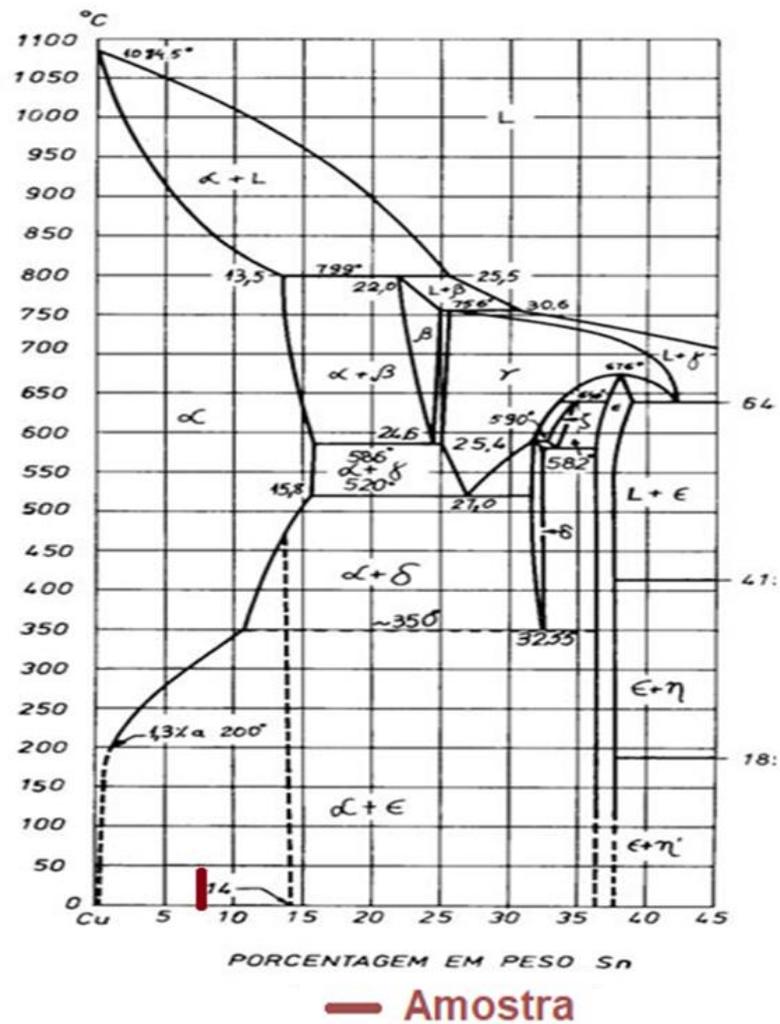
A amostra SAE 67 é uma Cu-Sn-Pb, composta por estrutura de fase α com Pb em todo o contorno de grão e porosidade. Observando o diagrama (figura 29) comprovamos que conforme a composição a amostra teremos apenas fase α , pois a fase ϵ necessita de resfriamento excessivamente lento para sua formação.

Figuras 27 e 28 – Liga SAE 67 Bronze com aumento de 100 e 200x



Fonte: (Autores, 2017)

Figura 29 – Diagrama Cobre Estanho.



Fonte: (Coutinho, 1980)

Essa liga possui como características e propriedades mecânicas como resistência à corrosão e à abrasão, ao desgaste, porém precisam de lubrificação, mas resistem por terem a como característica anti-fricção. Como suas principais aplicações temos buchas para prensas e para pinos de embolos, sapatas, encostos, casquilhos de deslize, mancais para trens de laminação e moedas (Bronze Liga SAE-67,s.d.).

4.10. Comparação de Dureza

Tabela 4 – Dureza das Amostras

Amostra	Cobre Puro	SAE 68C	SAE 660	SAE 40	Latão Tomback	SAE 43	SAE 62	SAE 65	SAE 67
Dureza Encontrada	39,1	145	70,3	72,8	68,9	149	103	70,3	84,5
	38,2	148	64,9	74,4	51,2	154	101	80,6	60,8
	38,8	151	88,6	72	53,7	149	101	77,8	58,3
	41,1	156	74,9	76,5	52,7	154	102	80,2	65,5
	42,3	178	64,6	77,4	49,9	147	107	72,7	83,6
Dureza Média	39,9	155,6	72,7	74,6	55,3	150,6	102,8	76,3	70,5

Conforme observado as amostras que obtiveram maior dureza foram SAE 68C, SAE 43, SAE 65. Onde as ligas SAE 68C e SAE 43 possuem ferro de sua composição aumentando que aumenta a dureza. Nessas amostras temos como características presença de poucos elementos na sua composição além da quantidade expressivamente maior dos elementos principais das ligas binários no caso alumínio, estanho e zinco nas amostras SAE 68C, SAE 65 e SAE 43 respectivamente, mesmo estas duas ultimas contendo grandes quantidades de porosidades.

5. CONCLUSÃO

Conforme os resultados encontrados no decorrer do estudo, conclui-se que a preparação das amostras, assim como os ataques químicos utilizados nas mesmas, obtiveram ótimos resultados, revelando os contornos de grãos, inclusões no metal e precipitações de segunda fase. Podem ser observados também alguns defeitos no metal fundido, como porosidade e microporosidade presentes em maior quantidade nas ligas com teores significativos de estanho como SAE 68C e SAE 40.

Após analisada e confrontada as microdurezas confirmamos que as ligas que possuem maiores teores de alumínio, zinco e estanho; respectivamente SAE 68C, SAE 43 e SAE 62, onde as principais características analisadas são a estrutura α e a presença de chumbo (SAE 68C e SAE 62), comprovando portanto, suas aplicações em grampos de alta resistência, placas de desgaste, cilindros hidráulicos, componentes para pontes rolantes, mancais e engrenagens entre outros.

Por fim notamos que mediante aos diagramas, juntamente com as durezas, as amostras apresentaram resultados compatíveis com a literatura, podendo comprovar as aplicações para cada liga de acordo com suas propriedades.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. **Cobre e suas ligas**. Notas de Aula. Senai Bahia. Bahia. 2014.

ARTISA METAIS LTDA. **Especificações do Cobre: Propriedades mecânicas**. Manual. São Paulo. 2015

BARBOSA, C. **Cobre**. Artigo. Jorge Street. São Paulo. 2008

COOPERMETAL. **Bronze Liga SAE-40**. Disponível em
:<http://www.coppermetal.com.br/produtos_bronze_sae40.html> Acesso em : 3 ago.2017.

COOPERMETAL. **Bronze Liga SAE-62**. Disponível
em:<http://www.coppermetal.com.br/produtos_bronze_sae62.html>. Acesso em : 3 go.2017.

COOPERMETAL. **Bronze Liga SAE-65**. Disponível
em:<http://www.coppermetal.com.br/produtos_bronze_sae65.html> Acesso em : 3 ago.2017.

COOPERMETAL. **Bronze Liga SAE-67**. Disponível
em:<http://www.coppermetal.com.br/produtos_bronze_sae67.html> Acesso em : 3 ago.2017.

COOPERMETAL. **Cobre Eletrolítico**. Disponível
em:<http://www.coppermetal.com.br/produtos_cobre_eletrolitico.html> Acesso em : 3
ago.2017.

COOPERMETAL. **Latão Tombac 85-15**. Disponível em
:< http://www.coppermetal.com.br/produtos_latao_tombac85-15.html> Acesso em : 3
ago.2017.

COUTINHO, T.A. **Metalografia de Não Ferrosos – Análise e Prática**. 1.Ed. São Paulo.
Editora Edgar Blücher Ltda. 1980.

DNPM. **Cobre**. Artigo. Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília.2009

GBC. **Guia para se trabalhar com cobre**. Manual. GBC Brasil. São Paulo. 2015

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 2. Ed. Rio de Janeiro. Editora JC. 1982

GPTECBET. **Propriedades físicas e mecânicas das ligas de cobre**. Manual. Grupo Pie Monte. Minas Gerais. 2015

GRAÇAS, A. A.; BORGES, J. L. C. **Influência da formação técnica nos alunos que ingressam no curso de Tecnologia em Manutenção Industrial**. 2013. 93p. Trabalho de Graduação (Curso de Manutenção Industrial). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2013.

INFOMET. **Cobre e suas ligas**. Artigo. Infomet Informações britadas, fundidas e laminadas. Rio de Janeiro. 2015

LIMA, M. R. C. **Corrosão em tubulações em cobre**. Artigo. XVIII COBREAP – Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias. 2015

MODENESI, P. **Soldabilidade de Algumas Ligas Metálicas**. Artigo. Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais. 2011

PACHECO, A. **Estudo das ligas de bronze**. Artigo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul. 2002.

PLASTMETAL. **Bronze SAE 660 (C93200)**. Disponível em
:<<http://jatodagua.plastmetal.com.br/bronze-sae-660-c93200>> Acesso em : 3 ago.2017.

PLASTMETAL. **Bronze SAE-43 (86500)**. Disponível em
:<<http://jatodagua.plastmetal.com.br/bronze-sae-43-c86500>> Acesso em : 3 ago.2017.

PLASTMETAL. **Bronze SAE-68C (C95400)**. Disponível em
:<<http://jatodagua.plastmetal.com.br/bronze-sae-68c-c95400>> Acesso em : 3 ago.2017.

PROCOBRE BRASIL. **O Cobre**. Manual. São Paulo. 2015

RIVAROLI. A. **1 Aula cobre**. Anotações de Aula. Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2014

RIVAROLI. A. **Cobre e suas ligas**. Anotações de Aula. Faculdade de Tecnologia de

Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2014

RIVAROLI. A. **Especificações de ligas fundidas de cobre**. Anotações de Aula. Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2014.

RIVAROLI. A. **Processos de fundição de ligas de cobre**. Anotações de Aula. Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2014

RIVAROLI. A. **Tratamento de banhos de ligas de cobre fundido**. Anotações de Aula. Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2014

RODRIGUES, L.E.M.J. **Ensaio Mecânicos de Materiais**. Disponível em
:<<http://www.engbrasil.eng.br/pp/em/aula3.pdf>>. Acesso em : 5 ago.2017

SARTORI, A. **Processo de Produção do Matte e refino do cobre blister**. Anotações de Aula. Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2014

SARTORI, A. **Propriedades do cobre e influências das impurezas**. Anotações de Aula. Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2014

SARTORI. A. **Cobre e suas ligas**. Anotações de Aula. Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2014

SPECTRU. **Ligas de cobre**. Artigo. Spectru Instrumental Científico LTDA. Rio de Janeiro. 2015

TSCIPTSCHIN, A. P. **Metalografia e tratamento térmico do cobre e suas ligas**. Disponível em :< http://pmt.usp.br/pmt3402/material/ligas_Cu.pdf> Acesso em : 5 ago.2017