

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
ETEC TRAJANO CAMARGO  
Curso Técnico em Metalurgia**

**Marcos Vinícius Rocha Dos Santos**

**Paulo Cezar Jardim Gonçalves**

**ESTOJO DIDÁTICO DE AMOSTRAS MICROGRÁFICAS DE LIGAS  
NÃO FERROSAS**

**Limeira - SP**

**2021**

**Marcos Vinícius Rocha Dos Santos**

**Paulo Cezar Jardim Gonçalves**

**ESTOJO DIDÁTICO DE AMOSTRAS MICROGRÁFICAS DE LIGAS  
NÃO FERROSAS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso Técnico em Metalurgia da Etec Trajano Camargo, orientado pelo Prof. José Edenil Gomes dos Santos, como requisito parcial para obtenção do título de técnico em Metalurgia.

**Limeira – SP**

**2021**

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar, gostaríamos de agradecer a Deus, e o empenho no trabalho de toda equipe, em todo o processo do projeto.

Agradecemos a todos os professores pelas orientações e ajuda na parte prática e teórica do projeto.

Somos gratos a toda Etec Trajano Camargo pelas aulas durante todo o curso e pelo laboratório onde as amostras foram desenvolvidas.

Senhor Deus e Pai, fonte de toda sabedoria, ajuda-me nos nossos estudos. Abra o meu entendimento para que eu possa aprender e guardar na memória os ensinamentos dos professores. Afaste da minha mente tudo o que é ruim e conserve a nossa calma nas horas das avaliações; nos faça recordarmos tudo o que estudamos. Senhor, nos abençoe para que sejamos aprovados.

**“COM SEU ESFORÇO E A BÊNÇÃO DE DEUS, VOCÊ ALCANÇARÁ SEUS OBJETIVOS”.**

## **RESUMO**

O nosso projeto tem a finalidade de desenvolver um estojo didático de amostras de ligas não ferrosas que serão utilizadas nas aulas práticas do curso de Metalurgia. A nossa proposta é desenvolver o maior número de amostras dessas ligas, levando em consideração todo o processo que é necessário para obter essas amostras de ligas não ferrosas, com alta qualidade de preparação metalográfica, que será feito na escola com o auxílio necessário. Ao final do trabalho o nosso grupo pretende disponibilizar um estojo com o número de amostras que conseguirmos obter, deixando no laboratório para ser utilizadas por todos os professores e alunos.

**Palavras-Chave:** Estojo didático; Metalografia; Ligas não ferrosas:

## **ABSTRACT**

Our project aims to develop a teaching kit for samples of non-ferrous alloys that will be used in practical classes of the Metallurgy course. Our proposal is to develop the largest number of samples of these alloys, taking into account the entire process that is necessary to obtain these samples of non-ferrous alloys, with high quality metallographic preparation, which will be done at the school with the necessary assistance. At the end of the work, our group intends to provide a kit with the number of samples we can obtain, leaving it in the laboratory to be used by all teachers and students.

**Key words:** Teaching kit; Metallography; Non-ferrous alloys:

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Alumínio e Suas Ligas .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Cobre e Suas Ligas .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3 Titânio e Suas Ligas.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4 Metalografia de Ligas não Ferrosas .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4.1 Corte Metalográfico.....</b>	<b>20</b>
<b>2.4.2 Embutimento Metalográfico .....</b>	<b>21</b>
<b>2.4.3 Lixamento .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4.4 Polimento .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4.5 Limpeza da Amostra .....</b>	<b>23</b>
<b>2.4.6 Ataque Químico.....</b>	<b>23</b>
<b>2.4.7 Análise Metalográfica.....</b>	<b>24</b>
<b>3. METODOLOGIA. ....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 Metalografia .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1.2 Pré Metalografia .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1.3 Extração e Seleção da Amostra .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1.4 Cortes.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.5. Embutimento. ....</b>	<b>29</b>
<b>3.1.6. Lixamento. ....</b>	<b>31</b>

<b>3.1.7. Limpeza.....</b>	<b>32</b>
<b>3.1.8. Polimento.....</b>	<b>32</b>
<b>3.1.9. Ataque.....</b>	<b>36</b>
<b>3.1.10. Análise Metalográfica.....</b>	<b>38</b>
<b>4. RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>39</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Estejo de ligas não ferrosas: escolhemos esse tema porque a prática e o produto sendo visível se torna mais fácil seu entendimento. Pois em nossa escola não tem a disponibilidade deste material.

Nossas limitações começam com a falta de aulas práticas, pois sabemos somente a parte teórica. Também com falta de experiência, pois somente um dos integrantes do grupo que trabalha nesta área, o restante não viu como é na prática. Outro fator que nos limita a realizar o nosso projeto é a dificuldade de encontrar os materiais que serão utilizados. Pois serão utilizadas diferentes ligas não ferrosas para desenvolver estas amostras.

Um produto que não tivemos dificuldade de encontrar foi o alumínio, pois está presente no nosso dia a dia, e com ele será possível desenvolver várias amostras. Outros materiais que pretendemos manusear é: Bronze, Latão e Bronze. Estes materiais pesquisamos suas compras online, porém iremos procurar em locais que está em nosso alcance.

Essas amostras serão usadas nas aulas práticas de Metalurgia na Etec Trajano Camargo, por exemplo, em metalografia de ligas não ferrosas, onde o professor faz demonstrações de microestruturas mostrando no microscópio as ligas não ferrosas. É uma forma de nós alunos colaborarmos com as aulas e com a escola, levando em consideração que é um material que os professores ainda não têm disponível na escola ou se limita aos poucos materiais que tem à sua disposição.

Nosso projeto será desenvolvido na forma prática de produção de amostras de ligas não ferrosas, e todo esse processo é feito em etapas para obter o produto final.

- Escolha dos metais de ligas não ferrosas.
- Busca pelos metais de ligas não ferrosas, a quantidade que for necessária e de acordo com o que está no nosso alcance e que for possível encontrar.
- Procura de fornecedores de metais de ligas não ferrosas.
- Preparação das amostras no laboratório de Metalografia da ETEC Trajano Camargo.

- Corte metalográfico, embutimento metalográfico, lixamento, polimento, ataque químico, registro fotográfico no microscópio.
- Cortar uma pequena amostra do material a ser analisado, fazer o lixamento na sequência de lixa, fazer o polimento e atacar com reagente químico adequado para revelação da microestrutura
- Confecção de um estojo para facilitar a identificação das amostras.
- Proteger as amostras.
- Identificá-las de forma correta, para auxiliar quem for usá-las.
- Imagens das microestruturas desenvolvidas.
- Deixar as amostras no laboratório para ser utilizada nas aulas práticas.

A Estrutura do nosso Projeto será da seguinte forma: Primeiramente vamos desenvolver a parte teórica e aplicar nossos conhecimentos nas aulas práticas desenvolvendo as amostras, buscando o entregar o melhor resultado, pois é algo importante para o uso de alunos e professores.

### **1.1 Objetivo**

Disponibilizar um estojo de amostras micrográficas de ligas não ferrosas, para ser utilizado durante as aulas práticas pelos alunos e professores.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Alumínio e Suas Ligas

O Alumínio e suas ligas constituem um dos materiais metálicos mais versáteis, econômicos e atrativos para uma vasta série de aplicações. Sua aplicação como metal estrutural só é menor que a dos aços. O alumínio possui uma densidade de  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , aproximadamente  $1/3$  da do aço, o que somado à sua elevada resistência mecânica o torna bastante útil na construção de estruturas móveis, como veículos e aeronaves. (INFOMET Alumínio, 2020)

O Alumínio não é ferromagnético, possui elevadas condutividades térmica e elétrica, e é não-tóxico. Outra vantagem do alumínio é a sua resistência à oxidação progressiva, já que os átomos da sua superfície se combinam com o oxigênio da atmosfera, formando uma camada de óxido protetor que impede a progressão da deterioração do material. Além disso, o alumínio com determinados tratamentos e/ou elementos de liga se torna resistente à corrosão em meios mais agressivos. O alumínio também encontra aplicações em peças decorativas, graças à sua superfície brilhante e refletiva. (INFOMET Alumínio, 2020)

#### Classificação

A produção do Alumínio é dividida em duas partes: primária e secundária. O alumínio primário é produzido, basicamente, pelo processo Hall-Héroult, no qual a alumina (óxido de alumínio) obtida pelo refino da bauxita é dissolvida num banho de criólitos e sais fluoretos, que tem a função de controlar a temperatura, densidade e resistividade do banho e a solubilidade da alumina. (INFOMET Alumínio, 2020)

O metal separado no processo é removido por sistemas de vácuo ou sifão para dentro de cadinhos, que são então transferidos para unidades de fundição, onde são refundidos ou transformados em lingotes. O alumínio produzido por este método contém uma quantidade relativamente elevada de impurezas, e para a obtenção de ligas com purezas mais elevadas outros métodos de refino são utilizados, podendo resultar em índices de 99,999% de pureza. (INFOMET Alumínio, 2020)

O alumínio secundário é produzido a partir da reciclagem de sucata e constitui uma importante fonte de produção do metal. Esta atividade vem sendo cada vez mais valorizada ultimamente, pois representa uma importante economia de energia elétrica, item especialmente importante na produção do metal. (INFOMET Alumínio, 2020)

#### **Principais Ligas, Formatos, Características e Aplicações do Alumínio.**

**Liga:** 1050

**Formatos:** Chapas, Bobinas e Tubos.

**Características:** Alta resistência à corrosão. Boa conformabilidade e soldabilidade. Baixa resistência mecânica. Adequada para anodização decorativa.

**Aplicações:** Refletores, luminárias, utensílios domésticos, tanques e cubas estruturais nas indústrias química e alimentícia, trocadores de calor. (Shock Metais, 2021)

**Figura 1** – Chapa de Alumínio 1050



**Fonte:** (DIRECT INDUSTRY, 2020)

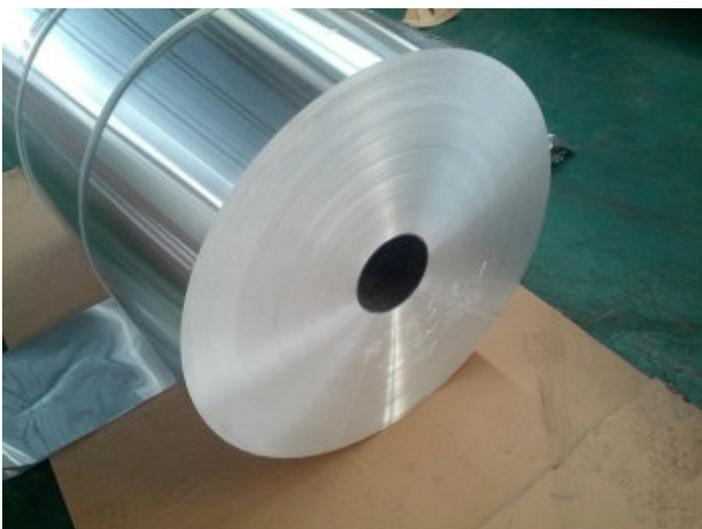
**Ligas:** 1100 e 1200

**Formatos:** Chapas e Bobinas

**Características:** Alta resistência à corrosão. Boa conformabilidade e soldabilidade. Baixa resistência mecânica. Adequada para anodização decorativa.

**Aplicações:** Painéis decorativos, etiquetas metálicas, utensílios domésticos, refletores, aletas. (Shock Metais, 2021)

**Figura 2** – Bobina de Alumínio 1100



**Fonte:** (Aluminum Manufacturer, 2018)

**Liga:** 1350

**Formatos:** Vergalhões, Barras, Chatas, Tubos

**Características:** Alta soldabilidade e resistência à corrosão. Alta condutividade elétrica. Boa conformabilidade.

**Aplicações:** Condutores Elétricos  
(Shock Metais, 2021)

**Figura 3** – Barras de Alumínio 1350



Fonte: (ALUMIWORLD, 2021)

**Liga:** 2011

**Formatos:** Vergalhões

**Características:** Alta resistência mecânica. Boa usinabilidade. Média resistência à corrosão. Não recomendada para solda.

**Aplicações:** Peças usinadas em torno automático.  
(Shock Metais, 2021)

**Figura 4** – Vergalhões de Alumínio 2011



Fonte: (SÓ METAIS, 2019)

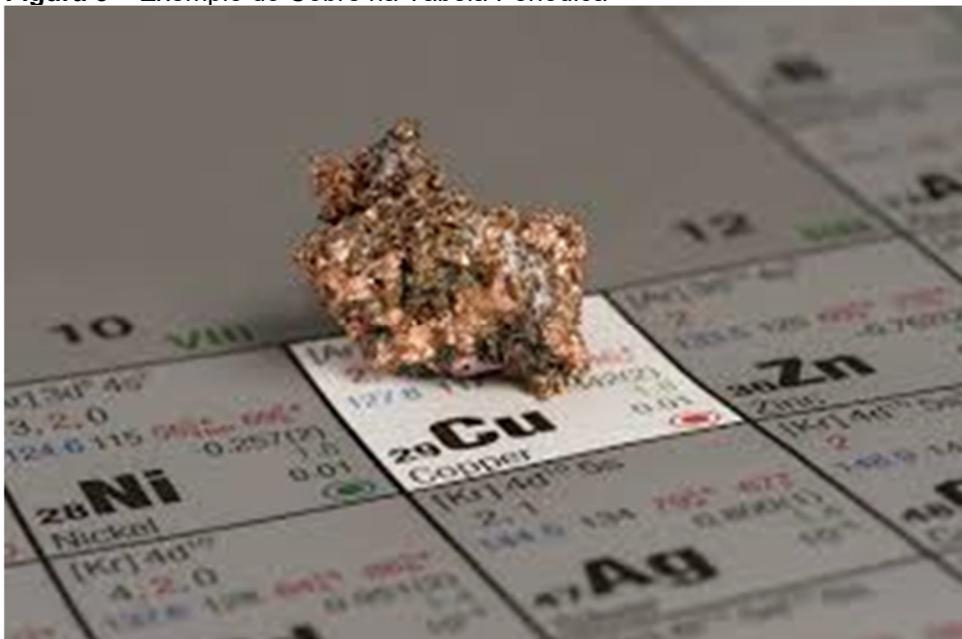
## 2.2 Cobre e Suas Ligas

O cobre é um elemento químico de símbolo Cu, número atômico 29 e de massa atômica 63,54 u. À temperatura ambiente o cobre encontra-se no estado sólido. Classificado como metal de transição, pertence ao grupo 11 da Classificação Periódica dos Elementos. O cobre é um elemento químico com símbolo Cu, número atômico 29, massa atômica 63,55 e pertencente ao grupo 11 da tabela periódica.

O cobre pode sofrer diversos tipos de reações químicas e o seu produto mais conhecido é o sulfato de cobre. Quando exposto a água ou ar, ele sofre oxidação adquirindo uma coloração verde. Entretanto, é um metal bastante resistente à corrosão.

(MAGALHÃES, L. 2021)

**Figura 5** – Exemplo do Cobre na Tabela Periódica



Fonte: (Manual da Química, 2020)

Na natureza, o cobre é encontrado em três formas:

**Calcopirita (Sulfeto de Cobre e Ferro):** Forma mais frequente, apresenta brilho metálico intenso.

**Calcocita (Sulfeto de Cobre):** Composto por sulfeto de cobre, apresenta coloração que varia de cinza a preta.

**Malaquita (Carbonato de Cobre):** Diferencia-se por apresentar coloração esverdeada.

**Propriedades e Características**

O cobre é conhecido pela humanidade desde o período neolítico, quando era usado para produção de instrumentos de trabalho, armas e utensílios. (MAGALHÃES, L. 2021)

É provável que seja o primeiro metal a ser manipulado pelo homem. Ele pode ser utilizado em sua forma pura ou combinado com outros metais, por exemplo, a liga entre o cobre e o estanho originou a Era do Bronze.

(MAGALHÃES, L. 2021)

As principais características do cobre são:

Metal de coloração laranja-avermelhada;  
Sólido em temperatura ambiente;  
Densidade de 8,94 g/cm<sup>3</sup>;  
Ponto de fusão: 1084,62 °C;  
Ponto de ebulição: 2562 °C;  
Facilmente maleável;  
Possibilidade de ser reaproveitado;  
Dúctil;  
Ótimo condutor de calor e eletricidade;  
Isótopos estáveis na natureza: Cu-63 e Cu-65.

Aplicações

Uma das principais aplicações do cobre é para produção de ligas metálicas, materiais formados pela mistura de dois ou mais componentes, no qual pelo menos um é metal.

(MAGALHÃES, L. 2021)

Existem mais de 1.000 tipos de ligas metálicas produzidas com o cobre. Alguns exemplos são:

Latão: Cobre + Zinco

Bronze: Cobre + Estanho

Cuproníquel: Cobre + Níquel

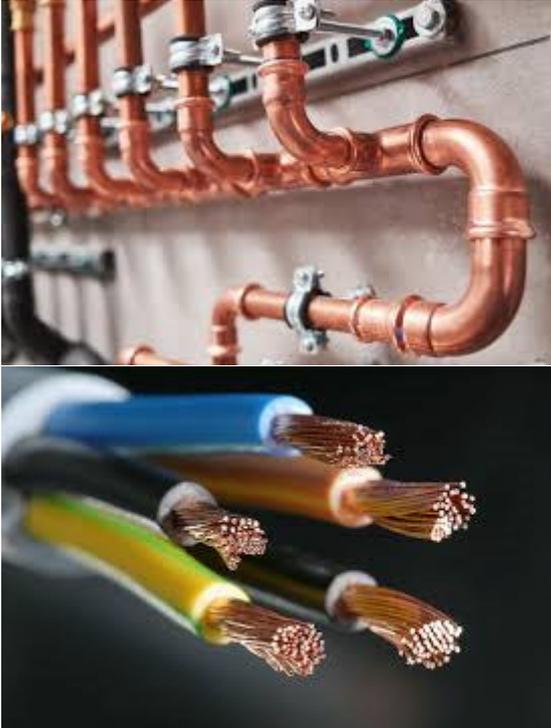
Ouro 18 quilates: Ouro + Prata + Cobre

Amálgama: Prata + Estanho + Cobre + Mercúrio

Atualmente, grande parte do metal é destinado a produção de fios elétricos, telefones, iluminação e cabos de telecomunicação. O cobre também é usado na fabricação de painéis, pois é um excelente material condutor de calor.

(MAGALHÃES, L. 2021)

**Figuras 6 e 7 –** Exemplos de materiais onde o cobre é encontrado



**Fontes:** (Manual da Química, 2020) (COBRE, 2020)

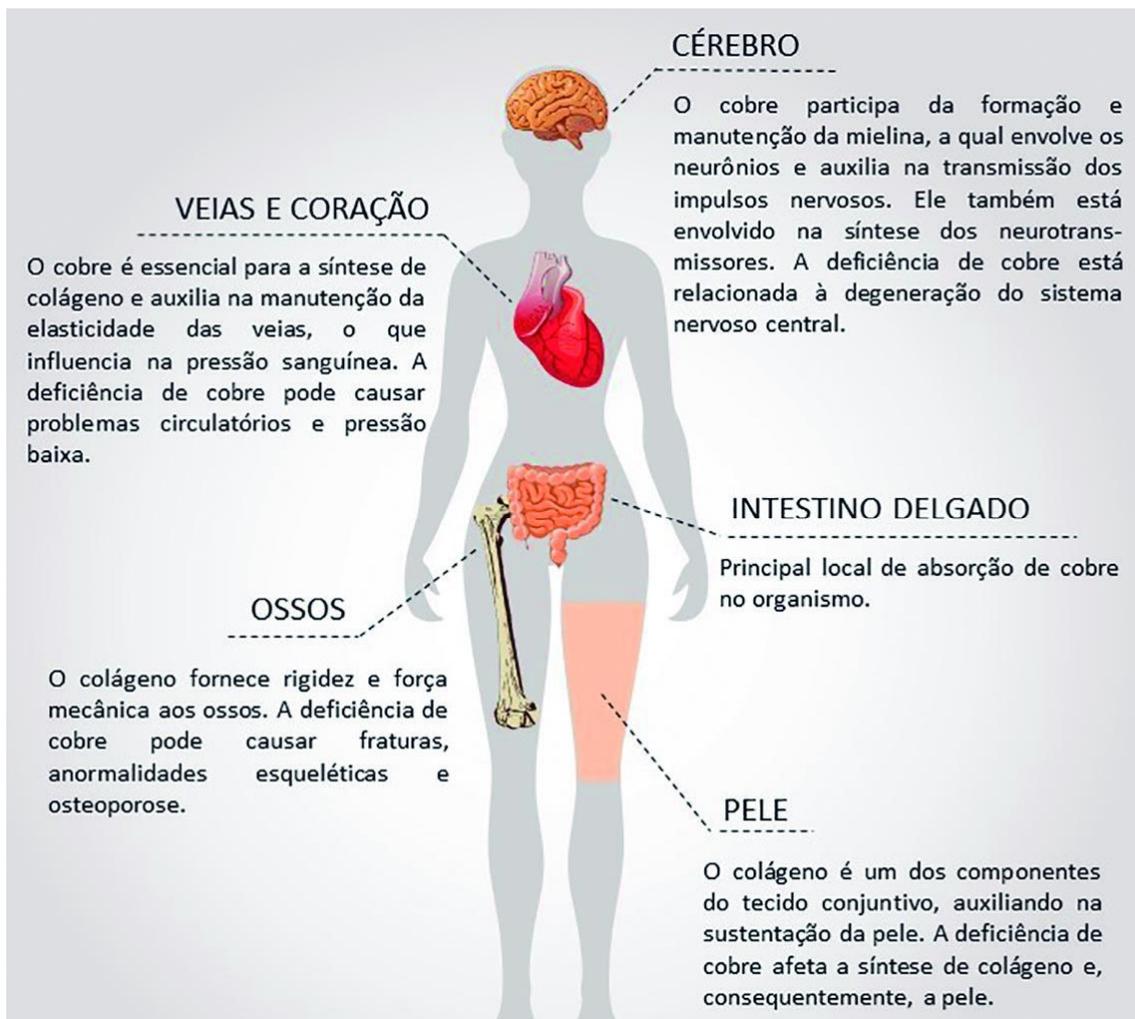
**Benefícios para a saúde:**

O cobre é um dos minerais que também apresenta importância para o bom funcionamento do organismo humano.

Ele é encontrado em baixa concentração no sangue, mas tem funções relacionadas com atividade de enzimas e formação de células sanguíneas.

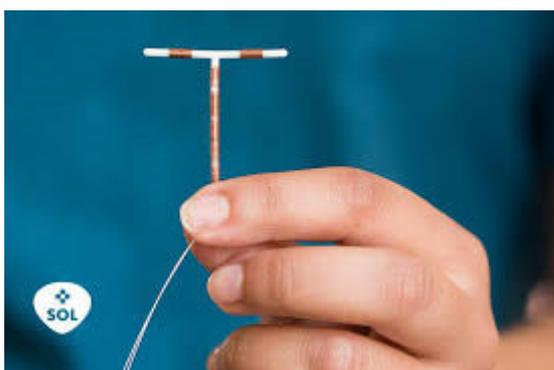
Os alimentos em que podemos encontrar o cobre são: frutos do mar, ovos, carne de bovinos e porco, amêndoas, cogumelo, sementes de girassol, feijão e nozes. (MAGALHÃES, L. 2021)

**Figura 8 –** Benefícios do cobre para a saúde



Fonte: (LABOR NEWS, 2020)

Figura 9 – Diu de cobre hormonal



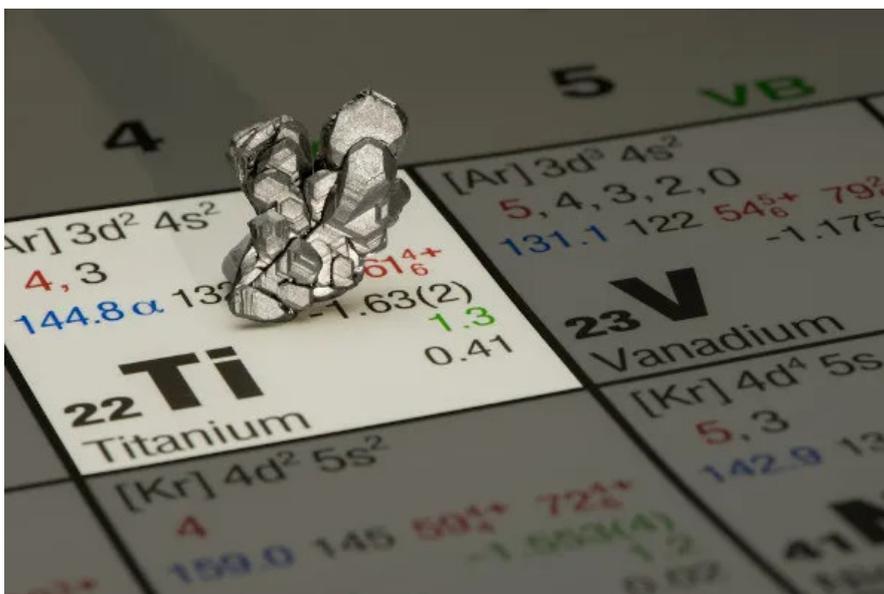
Fonte: (Sol Medicamentos, 2020)

### 2.3 Titânio e Suas Ligas

O Titânio e suas ligas apresentam propriedades interessantes: baixa densidade (massa específica da ordem de 4,5 g/cm<sup>3</sup>), boa resistência mecânica à tração (comparável à de muitos aços ligados), excelente resistência à corrosão e relativa abundância na natureza (é o nono metal mais

abundante), geralmente sob a forma de minerais oxidados. Seu número atômico é 22, e sua massa atômica é 47,88 u.m.a., sendo um metal de transição. À temperatura ambiente apresenta um reticulado hexagonal compacto que, quando puro, acima de 882 °C transforma-se num reticulado CCC (cúbico de corpo centrado). (INFOMET Titânio, 2020)

**Figura 10** – Exemplo do titânio na tabela periódica.



Fonte: (Titânio, 2020)

O ponto de Afusão do Titânio puro é 1724 °C, portanto superior ao do ferro (cerca de 1520 °C) e muito superior ao do alumínio (660 °C), sua condutividade térmica é baixa comparada aos anteriores. O Titânio não é um bom condutor de energia elétrica, pois sua condutividade elétrica é da ordem de 3,1 % da condutividade elétrica do Cobre, enquanto no aço esse valor chega a 3,5 % e no alumínio 30 %. (INFOMET Titânio, 2020)

O titânio comercialmente puro apresenta tensão limite de resistência à tração variando entre 240 e 690 MPa. A ductilidade do titânio comercialmente puro varia de um alongamento de 20 a 40 % e a redução de área varia entre 45 e 65 %, dependendo dos teores de elementos intersticiais. Adições de elementos de ligas em teores expressivos aumentam a resistência mecânica em comparação com o titânio comercialmente puro. Estes elementos de liga, como Al, V, Cr, Fe, Mn e Sn, são adicionados tanto em sistemas binários como em sistemas ternários e mais complexos em geral. (INFOMET Titânio, 2020)

O módulo de elasticidade do titânio comercialmente puro é da ordem de 103 GPa, porém nas ligas de titânio o módulo de elasticidade é mais alto, chegando a 124 GPa, sendo, portanto, valores mais elevados do que os das ligas de alumínio (70 GPa) e magnésio (43 GPa), porém inferiores aos dos aços (205 GPa). (INFOMET Titânio, 2020)

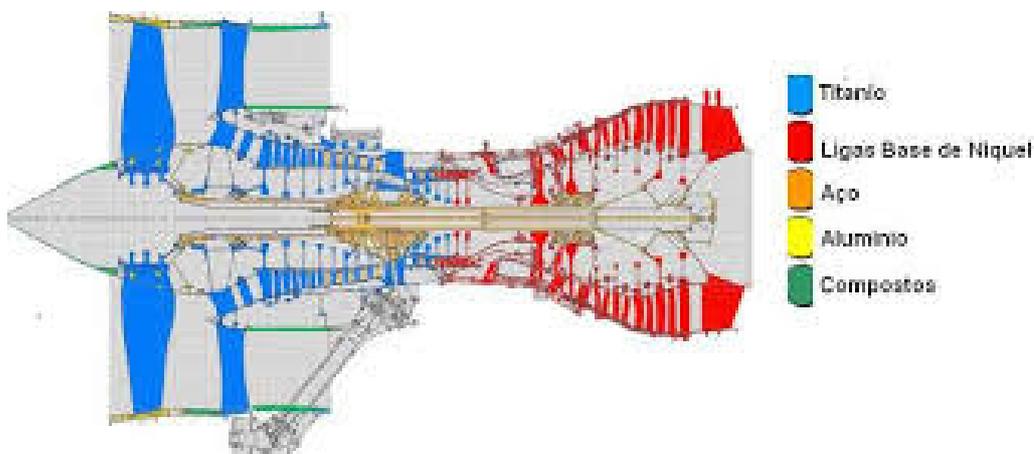
A dureza do titânio é bem mais alta do que a do alumínio e se aproxima da dureza encontrada em alguns aços termicamente tratados. A dureza Vickers do titânio comercialmente puro varia entre 90 e 160 HV, enquanto a dureza de ligas de titânio termicamente tratadas varia entre 250 e 500 HV. (INFOMET Titânio, 2020)

A tenacidade ao impacto do titânio e de suas ligas é boa, enquanto sua resistência à fadiga pode ser considerada muito boa. O titânio comercialmente puro não apresenta boa resistência à fluência, porém ligas de titânio podem apresentar melhor resistência à fluência, melhorada pelo trabalho mecânico a frio. (INFOMET Titânio, 2020)

Embora possuam menor resistência em altas temperaturas do que as superligas de níquel, componentes (discos, palhetas, etc.) de ligas de titânio podem ser usados em determinados tipos de aplicação (temperaturas menos elevadas) em turbinas de jatos, com melhor correlação resistência mecânica / peso. Outra característica favorável do titânio e de suas ligas para esse tipo de aplicação é seu baixo coeficiente de expansão térmica em comparação com outros tipos de ligas metálicas. Para esse tipo de aplicação as ligas de titânio mais recomendadas são as bifásicas alfas + beta, como as ligas Ti-6Al-4V, Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo e Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Cr-4Mo, esta última também conhecida como Ti-17. (INFOMET Titânio, 2020)

Além do uso em componentes de turbinas, as ligas de titânio também podem ser usadas na estrutura das aeronaves como dutos de ar, eliminadores de gelo, suportes de asas, suporte de motores e diversos tipos de prendedores. Ligas de titânio indicadas para este tipo de aplicação são: Ti-6Al-4V, Ti-3Al-25V, Ti-662 (Ti-6Al-6V-2Sn-0,5Cu-0,5Fe). (INFOMET Titânio, 2020)

**Figura 11** – Exemplo do uso do titânio na estrutura das aeronaves.



**Fonte:** (USINAGEM, 2019)

Ligas de titânio também podem ser usadas na fabricação de componentes navais, como palhetas de turbinas a vapor, conectores, eixos de transmissão,

molares em motores de alto desempenho, braços de suspensão e barras de torção. As ligas de titânio apresentam elevada resistência à corrosão causada pela água do mar e por isso são bastante adequadas para esse tipo de aplicação, na qual se sobressai a liga ti-6Al-4V. (INFOMET Titânio, 2020)

Mais recentemente tem aumentado o uso de titânio e suas ligas para a fabricação de implantes cirúrgicos ortopédicos e dentais, pois além das excelentes propriedades mencionadas anteriormente no caso de outros tipos de aplicação, o titânio e suas ligas apresentam excelente biocompatibilidade, ou seja, neste tipo de aplicação apresentam melhor osteo integração (integração ao tecido ósseo) e menor risco de alergia e reações adversas com o organismo do que outros materiais metálicos, como, por exemplo, o aço inoxidável austenítico AISI-SAE 316 L, cujo elevado teor de níquel pode provocar reações alérgicas. Outra vantagem do titânio e de suas ligas é o menor módulo de elasticidade (rigidez), mais próximo do osso humano do que o do aço inoxidável. Uma das ligas mais utilizadas para a fabricação de implantes é a liga ti-6Al-4V, que, entretanto, devido ao seu elevado teor de vanádio, elemento pouco biocompatível, pode ser substituída por outras ligas como a liga Ti6Al-7Nb e, até mesmo, as chamadas. (INFOMET Titânio, 2020)

**Figura 12** – Uso do titânio em implante cirúrgico ortopédico.



**Fonte:** (BIOVERA, 2016)

Os parafusos importados possuem maior resistência à torção que os nacionais, embora um dos parafusos importados fosse de titânio puro enquanto os demais parafusos fossem da liga Ti-6Al-4V Baseando nessa

análise foi sugerido um perfil ideal de parafuso e foram usinadas amostras com a liga ti-6Al-7Nb, com propriedades semelhantes às da liga ti-6Al-4V, porém mais biocompatível. Esses parafusos foram submetidos aos mesmos ensaios que os demais, obtendo-se um bom resultado, próximo ao melhor parafuso importado. (INFOMET Titânio, 2020)

**Figura 13** – Uso do titânio em implante cirúrgico dental.



Fonte: (BUCO FACIAL, 2016)

## 2.4 Metalografia de Ligas não Ferrosas

- **Seleção das Amostras**

O primeiro passo é fazer a escolha dos materiais que serão utilizados no processo de metalografia, obter informações básicas do material que será utilizado.

### 2.4.1 Corte Metalográfico

A amostra a ser analisada deve ser cortada de forma a não sofrer alterações pelo método de corte. Usa-se o método a frio, para o corte primário, ou seja, para se separar a porção aproximada que será analisada. Na sequência, usa-se um equipamento denominado “Cut-Off” ou cortadora metalográfica que faz um corte mais preciso, utilizando-se de um fino disco abrasivo e farta refrigeração, a fim de não provocar alterações por calor na amostra. (TECLAGO, 2016)

Às vezes é necessário particionar o corpo de prova para obterem-se amostras que servirão para análise metalográfica. Operações mecânicas como torneamento aplainamentos e outras, impõem severas alterações microestruturais devido ao trabalho mecânico a frio. O corte abrasivo oferece a melhor solução para este seccionamento, pois elimina por completo o

trabalho mecânico a frio, resultando em superfícies planas com baixa rugosidade, de modo rápido e seguro. (ROHDE, A. R. 2010)

O equipamento utilizado para o corte conhecido como “cut-off”, ou policorte, com discos abrasivos intensamente refrigerados (evitando deformações devido ao aquecimento) a relativas baixas rotações é largamente utilizado nos laboratórios metalográficos. (ROHDE, A. R. 2010)

**Figura 14** – Cortadora Metalográfica



Fonte: (TECLAGO, 2018)

#### **2.4.2 Embutimento Metalográfico**

O processo de embutimento metalográfico pode ser dividido em dois grupos, embutimento a quente no qual é utilizado baquelite e uma embutidora metalográfica e o embutimento a frio que são utilizados dois produtos resina e catalisador, ambos os métodos visam obter a amostra embutida para conseguir um bom resultado na preparação metalográfica. (TECLAGO, 2016)

A frio, quando se usam resinas sintéticas de polimerização rápida. Este embutimento é feito com resinas auto polimerizáveis, as quais consistem geralmente de duas substâncias formando um líquido viscoso quando misturadas. Esta mistura é vertida dentro de um molde plástico onde se encontra a amostra, polemizando-se após certo tempo. A reação de polimerização, a despeito do nome que é a operação de embutimento a frio tem, é fortemente exotérmica, atingindo temperaturas entre 50 e 120° C, comum tempo de endurecimento que varia de 0,2 a 24 h, dependendo do tipo de resina empregada e do catalisador. (ROHDE, A. R. 2010)

A quente, quando a amostra é embutida em materiais termoplásticos por meio de prensas, utilizando-se pressão e aquecimento para efetuar a polimerização. O método consiste em colocar o corpo de prova com a face que se quer analisar em contato com o êmbolo inferior da máquina de embutimento. Após apertar o êmbolo, coloca-se a resina na câmara de

embutimento pressionando-a por um determinado tempo, de acordo com o plástico utilizado. (ROHDE, A. R. 2010)

**Figura 15** – Embutidora Metalográfica



**Fonte:** (TECLAGO, 2018)

### **2.4.3 Lixamento**

São utilizadas lixas do tipo “Lixa d’água”, fixadas em discos rotativos. Normalmente inicia-se o lixamento com a lixa de granulometria 220, seguida pelas lixas 320, 400 e 600. Em alguns casos usa-se lixas mais finas que a lixa 600, chegando-se a 1000 ou 1200. Todo o processo de lixamento é feito sob refrigeração com água. (TECLAGO, 2016)

Devido ao grau de perfeição requerida no acabamento de uma amostra metalográfica idealmente preparada, é essencial que cada etapa da preparação seja executada cautelosamente, é um dos processos mais demorados da preparação de amostras metalográficas. Operação que tem por objetivo eliminar riscos e marcas mais profundas da superfície dando um acabamento a esta superfície, preparando-a para o polimento. Existem dois processos de lixamento: manual (úmido ou seco) e automático. A técnica de lixamento manual consiste em se lixar a amostra sucessivamente com lixas de granulometria cada vez menor, mudando-se de direção (90°) em cada lixa subsequente até desaparecerem os traços da lixa anterior. (ROHDE, A. R. 2010)

### **2.4.4 Polimento**

A etapa do polimento é executada em geral com politriz metalográfica e panos especiais, colados à pratos giratórios, sobre os quais são depositadas pequenas quantidades de abrasivos. Estes abrasivos variam em função do tipo de metal que está sendo preparado. Os mais comuns são, o óxido de alumínio (alumina) e a pasta de diamante. (TECLAGO, 2016)

Operação pós lixamento que visa um acabamento superficial polido isento de marcas, utiliza para este fim abrasivos como pasta de diamante ou alumina. Antes de realizar o polimento deve-se fazer uma limpeza na superfície da amostra, de modo a deixá-la isentam de traços abrasivos, solventes, poeiras e outros. A operação de limpeza pode ser feita simplesmente por lavagem com água, porém, aconselha-se usar líquidos de baixo ponto de ebulição (álcool etílico, fréon líquido, etc.) para que a secagem seja rápida. Existem cinco processos para a obtenção de uma superfície polida isenta de riscos. São eles:

- Processo mecânico;
- Processo semiautomático em sequência;
- Processo eletrolítico;
- Processo mecânico-eletrolítico;
- Polimento químico.

(ROHDE, A. R. 2010)

**Figura 16** – Politriz Metalográfica



Fonte: (TECLAGO, 2018)

#### **2.4.5 Limpeza da Amostra**

A operação de limpeza pode ser feita simplesmente por lavagem com água, porém, aconselha-se usar líquidos de baixo ponto de ebulição (álcool etílico, fréon líquido, etc.) para que a secagem seja rápida. (ROHDE, A. R. 2010)

#### **2.4.6 Ataque Químico**

A superfície da amostra, quando atacada por reagentes específicos, sofre uma série de transformações eletroquímicas baseadas no processo de oxido-redução, cujo aumento do contraste se deve às diferenças de potencial eletroquímico. São formadas células locais onde os constituintes

quimicamente pobres atuam como um ânodo, reagindo com o meio de ataque de maneira mais intensa que os mais nobres. Para o ataque químico são usadas soluções aquosas ou alcoólicas de ácidos, bases e sais, bem como sais fundidos e vapores. O contraste varia em função da composição química, temperatura e tempo. Pode ser dividido em:

**Macroataque:** Evidencia a macroestrutura, o qual pode ser observado a olho nu ou através de uma lupa de baixo aumento.

**Microataque:** Evidencia a estrutura íntima do material em estudo, podendo esta ser observada através de um microscópio metalográfico. Após o ataque químico a amostra deve ser rigorosamente limpa, para remover os resíduos do processo, através da lavagem em água destilada, álcool ou acetona, e posteriormente seca através de jato de ar quente. (ROHDE, A. R. 2010)

#### 2.4.7 Análise Metalográfica

A análise metalográfica permite identificar as fases presentes na microestrutura do material, avaliar a eficácia de tratamentos térmicos como têmpera e revenimento, identificar microconstituintes, inclusões, precipitados e descontinuidades presentes na microestrutura dos materiais metálicos de engenharia. Uma análise correta da microestrutura possibilita identificar desvios no tratamento térmico, regiões com segregação de elementos químicos, desenvolvimento de micro trincas, identificação de precipitados particulares, entre outros. (CCDM, 2021)

Analisar as características estruturais de metais é essencial para a validação de amostras, uma vez que muitos defeitos não são aparentes, sendo necessário recorrer à microscopia para notá-las. (MATERIAIS JR, 2019)

A metalografia busca cumprir essa função, sendo de extrema importância para quaisquer projetos que envolvam a aplicação de materiais metálicos. Somente com ela será possível verificar que a estrutura da peça está adequada às exigências da aplicação. A análise metalográfica permite a identificação da micro/macroestrutura do material, além de avaliar a eficácia dos tratamentos térmicos aplicados, quantificar as fases da liga, e observar a presença de inclusões, precipitados ou descontinuidades. É com o auxílio da metalografia que é possível identificar desvios no tratamento térmico micro trincas ou segregações de elementos. (MATERIAIS JR, 2019).

#### **Metalografia Quantitativa e Qualitativa**

Como já citado, a análise metalográfica permite que diversas informações sobre o material e sua microestrutura sejam obtidas. Podemos classificar esses dados como quantitativos e qualitativos.

A análise qualitativa é focada em verificar quais são as fases presentes no material e checar se há a presença de trincas ou defeitos.

Já a quantitativa, determina-se o tamanho médio dos grãos, a porcentagem de cada fase constituinte, a forma e tipo de inclusões, elementos essenciais

para a caracterização da liga metálica e que permitem prever o seu comportamento mecânico. (MATÉRIAS JR, 2019)

### **3. METODOLOGIA.**

#### **3.1 Metalografia**

Através do ensaio de Metalografia é permitido observar a microestrutura de metais e ligas metálicas, e a partir deste processo é possível entender o desempenho macroestrutural dos componentes observados.

##### **3.1.2 Pré Metalografia**

Antes de começar devemos fazer algumas observações nos materiais que serão utilizados ou na forma que foram fabricados como: Aspecto da Superfície, Aspecto da Fratura, Ação e Reação, Centelhas ao Esmeril, Atração pelo imã, sonoridade, etc.

##### **3.1.3 Extração e Seleção da Amostra.**

Para executar o nosso Projeto vamos utilizar Ligas não Ferrosas. Fomos em Descarte de Materiais, Eco Pontos, Loja de Metais e Aços.

- **Alumínio.**

Ligas: 1050, 1100, 1200, 1350, 2011, 3003, 3104, 3105, 5005, 5052, 6060, 6061, 6063, 6101, 6262, 6351 e 8011.

Exemplos: Latinhas, Chapas, Chapa de Xadrez (Piso), Refrigerador, Ar Condicionado, Revestimento Interno do Ônibus, Isolamentos (Tubulações, Vasos e Tanques.) e Calhas.

- **Cobre.**

Ligas: C11000, C12000, C12200, C18400, C70600, C71500 e C10200.

Exemplo: Chapas, Blanques, Tubos, Fitas, Conexões, Fios, Diu, Ventiladores e Geladeiras.

- **Titânio.**

Ligas: Ligas Alfa, Ligas Beta, Ligas Alfa + Beta e Ligas Quase Alfa.

Exemplos: Prótese Dentária, Carcaça de Avião, Engrenagem, Relógio, Painéis, Paquímetro e Bicicleta.

### 3.1.4 Cortes.

O objetivo dessa etapa é cortar o corpo de prova do tamanho desejado.

É utilizado o disco de corte metalográfico que são ferramentas abrasivas, produzidos com óxido de alumínio marrom, branco ou rosa, sem telas. Geralmente utilizados para análises metalográficas. São ferramentas abrasivas, produzidos com óxido de alumínio marrom, branco ou rosa, sem telas.

- Manual.
- Automático.
- À Seco.
- À úmido.
- Arrancamento de cavaco.
- Abrasivo.

**Figuras 17 e 18 – Corte das Amostras**



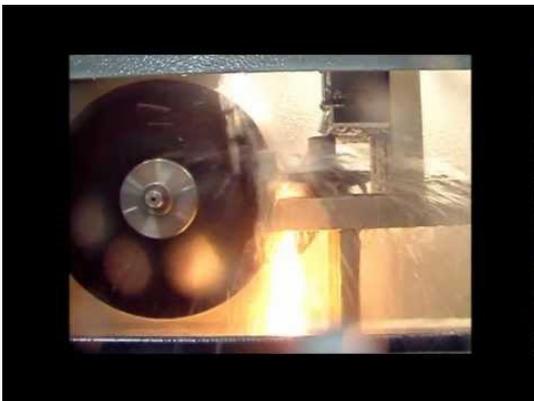
**Fonte:** (Próprios Autores, 2021).

**Figura 19 – Máquina de Corte.**



Fonte: (Microncientific, 2021)

**Figura 20** – Corte á Frio.



Fonte: (Teclago Ind. E Comércio, 2013)

### **Corte Abrasivo:**

- Disco de Corte.
- Natureza do abrasivo.
- Granulometria dos grãos abrasivos.
- Natureza do material aglutinante.
- Proporção abrasivo/aglutinante.
- Porosidade do disco.

### **Materiais para Análise.**

- Alumínio.
- Cobre.
- Titânio.

**Precauções.**

- Aquecimento
- Deformações

**Refrigeração.**

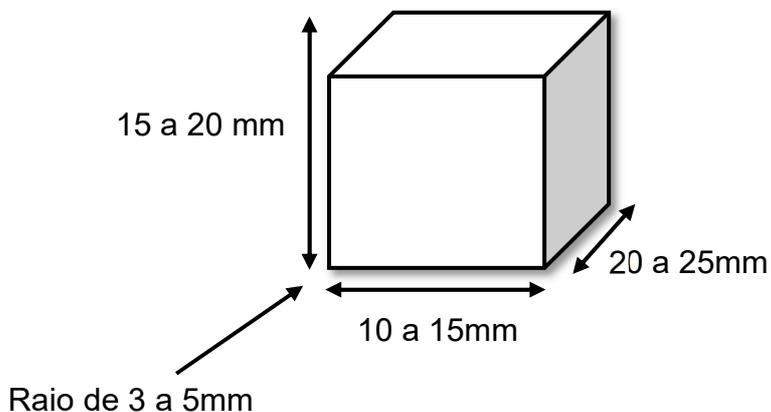
A Refrigeração é muito importante para o processo de corte. Reduzindo o aquecimento evitamos a alteração da Amostra e sua estrutura.

**Recomendações para o corte Metalográfico.**

- Baixa oxidação com boa refrigeração.
- Armazenar o disco de corte em lugares secos.
- Escolher muito bem o disco de corte.
- Verificar se o disco foi bem colocado.
- Cortar sem forçar a Amostra.
- Deixar o disco secar após o corte.

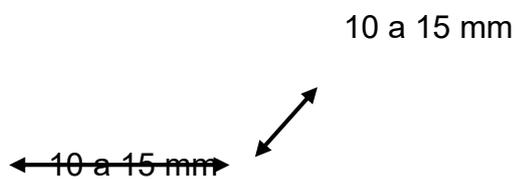
**Dimensões padronizadas para Amostras Metalográficas.**

Amostras sem embutimento:



Amostras com embutimento:

10 mm



### 3.1.5. Embutimento.

O embutimento é realizado para facilitar o manuseio da Amostra e não danificar a lixa ou o pano de polimento.

**Figura 21** – Exemplos de Embutimento.



Fonte: (Risitec, 2021).

### **À quente:**

As resinas apresentam baixa viscosidade, contração, boa adesão à amostra e resistência a ação de agentes Químicos.

**Figura 22** – Embutidora a quente.



Fonte: (Pavanati, 2021).

### **À frio:**

Resinas auto polimerizáveis, com propriedades químicas e mecânicas. Utilizada em Embutimento, metalográfico, mineralógico, cerâmico e petrográfico.

**Figura 23** – Embutimento á Frio.



Fonte: (Alcrisa, 2021).

No nosso projeto trabalhamos nossas amostras com o Embutimento á Frio. É feito com resinas auto polimerizáveis, as quais consistem geralmente de duas substâncias formando um líquido viscoso quando misturadas. Esta mistura é vertida dentro de um moldeplástico onde se encontra a amostra, polemizando-se após certo tempo.

### **Precauções:**

- Quantidade de material.

- Temperatura.
- Lubrificação.
- Pressão de trabalho.
- Refrigeração.

### 3.1.6. Lixamento.

Retirar as imperfeições das Amostras como: Rebarbas e Arranhados.

Figura 24 – Lixas.



Fonte: (Instmed, 2021).

#### **Granulometrias:**

Mais grossa para a mais fina.



180,220,320,400,500,600,800,1000,1200(Grana)

Mais esforço ← ————— menos esforço.

#### **Observações:**

##### **Amostras sem embutir:**

- Quebrar os cantos vivos.
- Tamanho adequado.

##### **Amostras embutidas:**

- Arredondar as quinas.
- Girar a 90 graus.
- Segurar firme a Amostra.
- Velocidade 200 á 400 rpm.

#### **Exemplos de Lixamentos de Metais e Ligas Metálicas.**

### **Alumínio e Ligas de Alumínio.**

Lixamento em disco lapidado nº 0, 00 e 000 ou em lixas de papel nº 320, 400, 600, 1000 e 1200, utilizando água como Lubrificante.

### **Cobre e Ligas de Cobre.**

Lixas de papel nº 320, 500, 800, 1000 e 1200, utilizando água como lubrificante.

### **Titânio, Molibdênio, Nióbio, Tântalo, Vanádio e Zircônio.**

Lixas de papel nº 220, 320, 500, 800 e 1000 por processo úmido.

**Figuras 25 e 26** – Lixamento das Amostras



**Fonte:** (Próprios Autores, 2021).

Para o lixamento das amostras utilizamos lixas de 320, 400, 600 e 1200. Para aprender o processo de lixamento utilizamos as lixas de 320 e 400, e depois só para finalizar essa etapa com maestria utilizamos a de 600 e 1200.

#### **3.1.7. Limpeza.**

- Água corrente.
- Ar comprimido.

#### **3.1.8. Polimento.**

O polimento tem o objetivo de deixar a superfície da amostra espelhada para a análise.

**Figura 27** – Máquina de Polimento.



Fonte: (Sistemas Usp, 2021)

### **Tipos de pano.**

- Feltro.
- Veludo.
- Nylon.
- Seda.

**Figura 28** – Panos de Polimento.



Fonte: (Instrumental, 2021)

### **Abrasivos:**

- Óxido de Alumínio.
- Óxido de Magnésio.
- Óxido de Cromo.
- Diamante.

### **Granulometria:**

- 9mm.
- 6mm.
- 3mm.
- 1mm.
- 0,25mm.
- 0,1mm.

**Forma:**

- Pasta.
- Pó.
- Solução.
- Spray.

**Lubrificantes:**

- Óleos minerais.
- Água.
- Querosene.
- Parafina.

**Observações:**

- Velocidade de polimento (100 á 150 rpm)
- Tempo.
- Pressão.
- Tipo de pano.
- Granulometria.
- Tipo de Abrasivo.
- Lubrificante e sua quantidade.
- Movimentação da amostra.

**Figuras 29, 30 e 31– Polimento das Amostras**



**Fonte:** (Próprios Autores, 2021).

Para o polimento utilizamos o pano de veludo e trabalhamos com a Alumina. Ao utilizarmos a Alumina colocamos a mesma sobre o pano de polimento e abrimos um pouco da água para a lubrificação e eliminação das impurezas. Pressionamos as amostras sobre o pano fazendo movimentos circulares e medindo a força da pressão. Esta é uma etapa muito importante do processo metalográfico pois é através do polimento que retiramos todos os riscos das amostras e deixamos elas espelhadas.

Nessa etapa tivemos bastante dificuldades, por ser a primeira vez e conseqüentemente pela falta de experiência prática no assunto. Foi difícil chegar no ponto ideal de polimento das amostras, repetimos o processo várias

vezes até chegarmos em um ótimo resultado. Algumas amostras tivemos que optar pelo polimento automático, onde as amostras são polidas durante horas automaticamente, poupando esforço e atingindo um bom resultado.

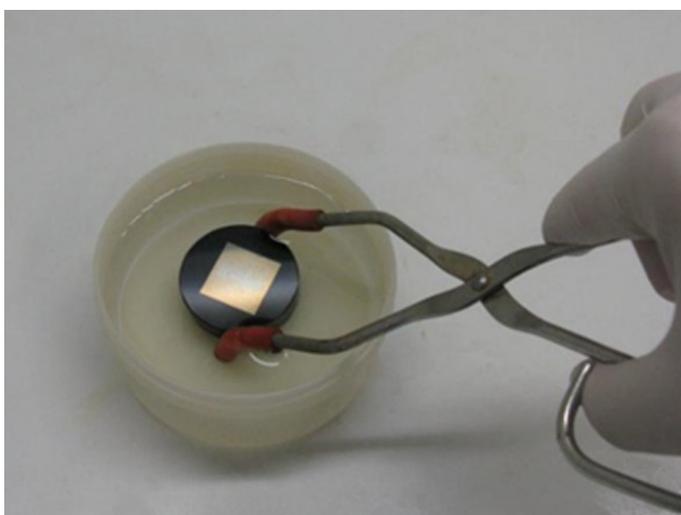
### 3.1.9. Ataque.

O ataque revela sua microestrutura e suas propriedades.

#### Processos.

- Lavar a amostra em água corrente.
- Jogar álcool na superfície da amostra.
- Secar com secador.
- Selecionar a solução de ataque adequado.
- O ataque pode ser feito por meio de fricção, imersão e aspensão.
- Atacar a amostra.
- Verificar o ataque através do microscópio.
- Limpar e guardar os equipamentos.

**Figura 32** – Ataque Químico.



**Fonte:** (Struers, 2021)

**Figuras 33, 34 e 35** – Ataque Químico das Amostras



**Fonte:** (Próprios Autores, 2021).

Para o Ataque Químico utilizamos o mesmo reagente para todas as amostras, exceto as amostras de Titânio. Para atacar o latão, o bronze e o cobre utilizamos uma composição química com  $\text{FeCl}_3$  – 5 ml,  $\text{HCl}$  – 50ml,  $\text{H}_2\text{O}$  – 100ml. Para o titânio utilizamos um reagente chamado Keller.

O ataque não demora muito tempo para acontecer, no caso do titânio demora um pouco mais pois leva mais de 1 minuto.

### 3.1.10. Análise Metalográfica.

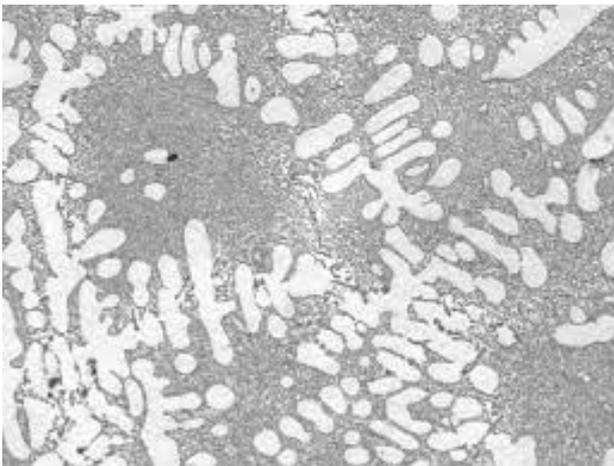
A análise é justamente feita para a identificação da microestrutura e da rede cristalina do metal deste modo é possível obter com precisão a situação ou condição dos componentes dos materiais. Determinando por exemplo causas de fraturas, desgastes prematuros e outros tipos de falhas possíveis. Também pode ser utilizada como uma forma de prevenção para a identificação do material se é elástico, maleável ou duro. Sempre analisados nos padrões nacionais e internacionais.

**Figura 36 – Microscópio.**



Fonte: (Soluções Industriais, 2021)

**Figura 37 – Análise da Microestrutura.**



Fonte: (ABIFA, 2016)

**Figuras 38 e 39 – Análise no Microscópio.**



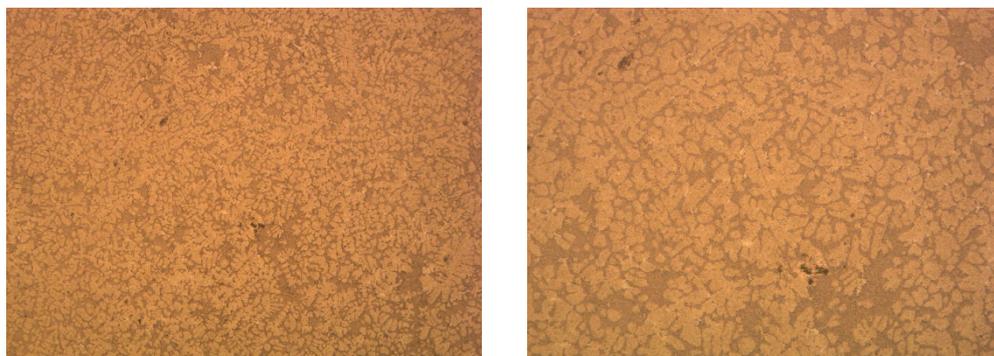
Fonte: (Próprios Autores, 2021).

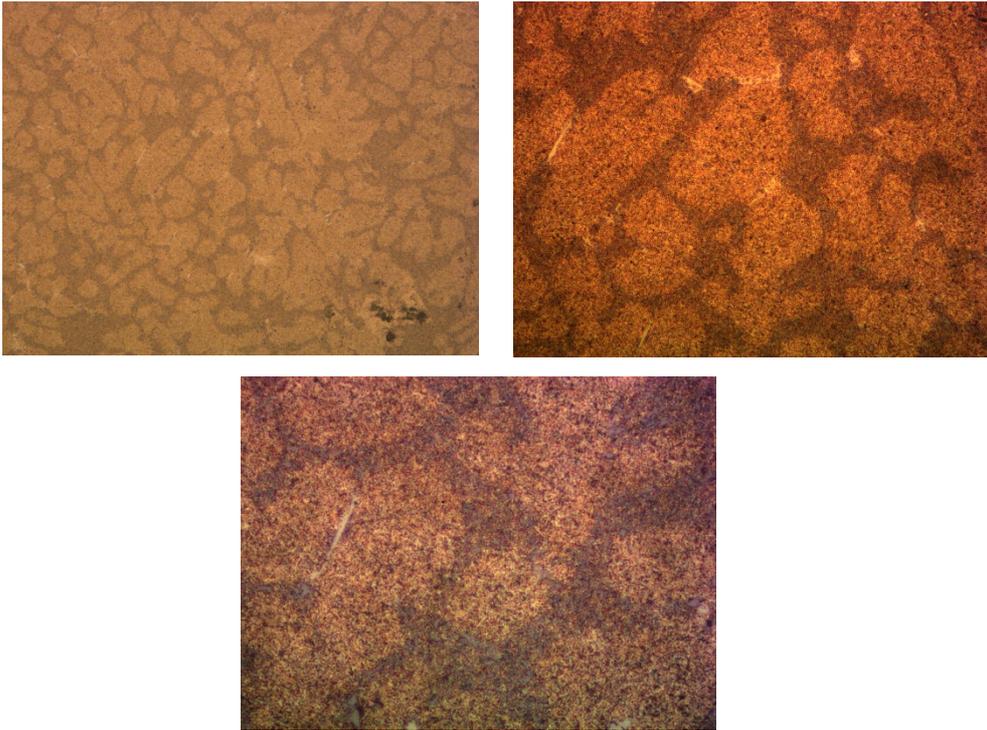
Ao final das etapas da metalografia, podemos observar todas as amostras para identificar a microestrutura de cada uma delas, obtendo com precisão a situação ou condição dos componentes dos materiais. É possível analisar detalhadamente se as amostras apresentam algum defeito, manchas, riscos, entre outros. E com a quantidade de lentes conseguimos analisar de muito longe e de muito perto, e com a opção de fotografar cada uma delas.

Através do nosso projeto e a disponibilidade do laboratório do professor Edenil, nós tivemos contato pela primeira vez com o microscópio e aprendemos usá-lo. Aprendemos a achar o foco para enxergar as microestruturas, a maneira como utilizar todas as lentes e como usar o programa do microscópio.

#### 4. RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

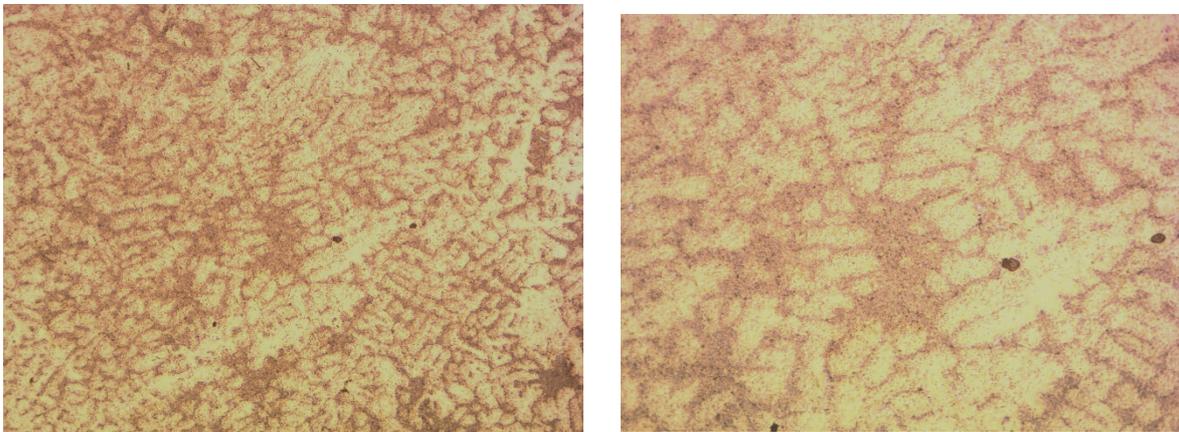
Figuras 40, 41, 42, 43 e 44 – AlSi7Mg (50x, 100x, 200x, 500x e 1000x)

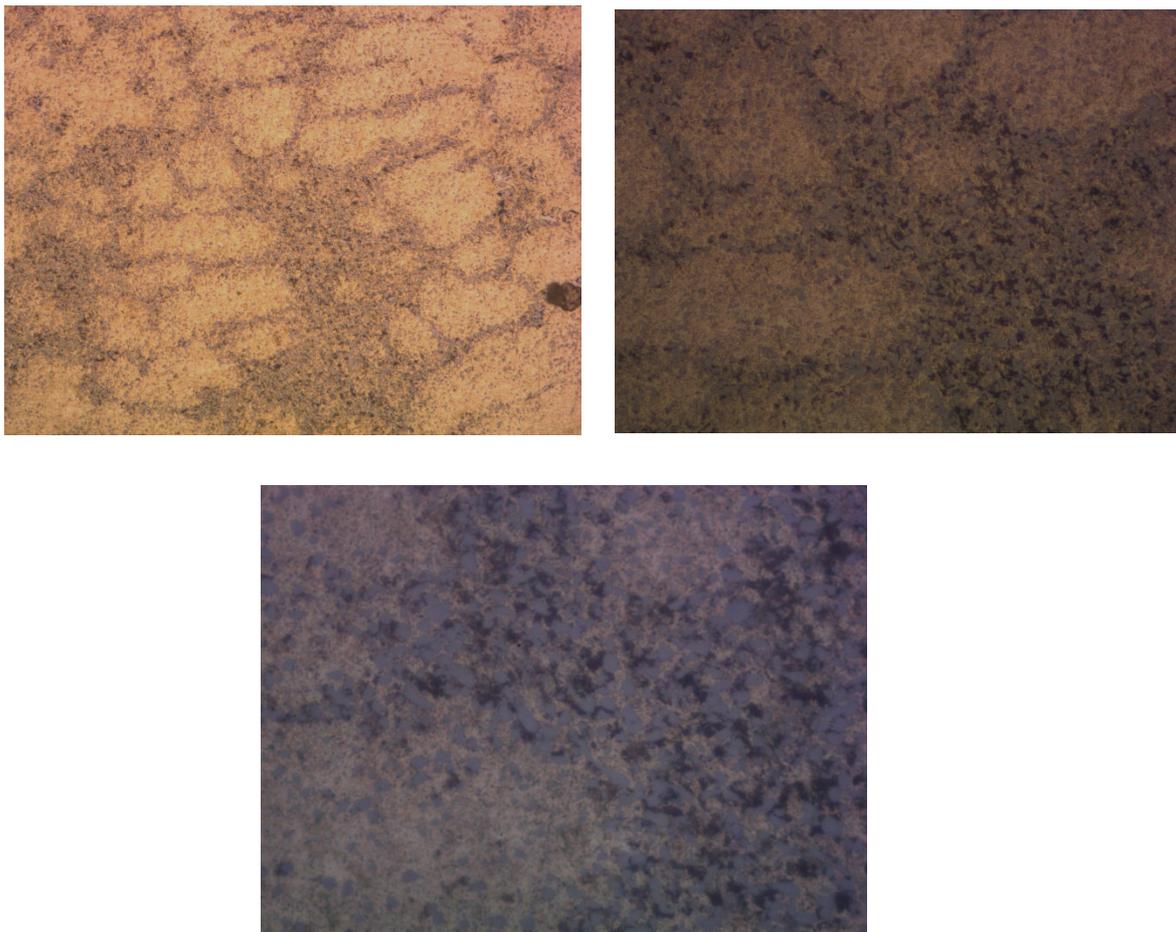




Fonte: (Próprios Autores, 2021).

Figuras 45, 46, 47, 48 e 49 – AlSi6Mg (50x, 100x, 200x, 500x e 1000x)



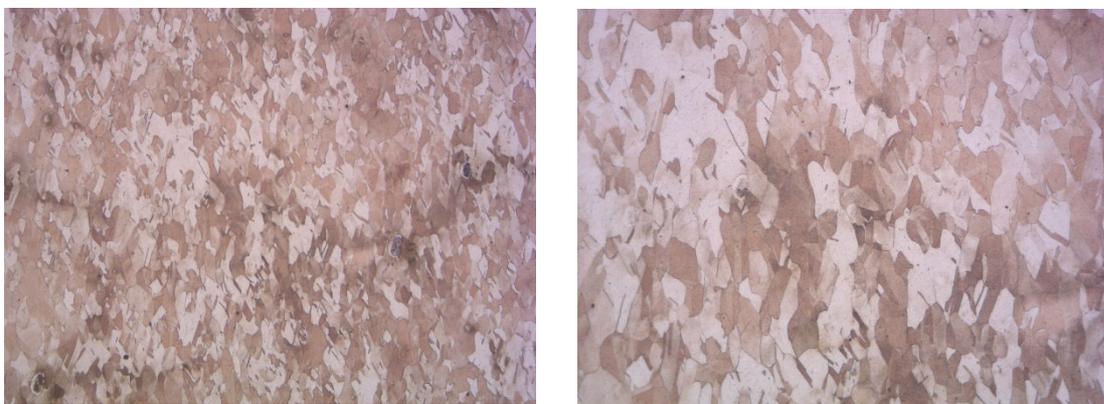


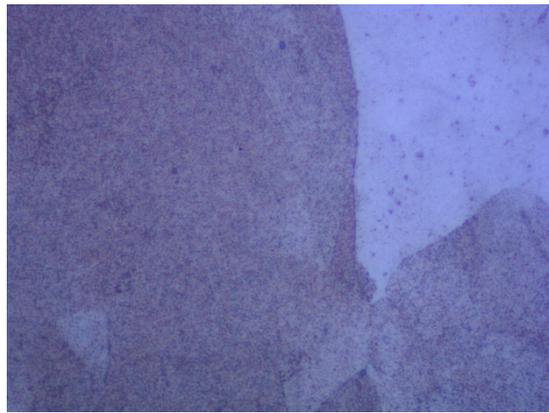
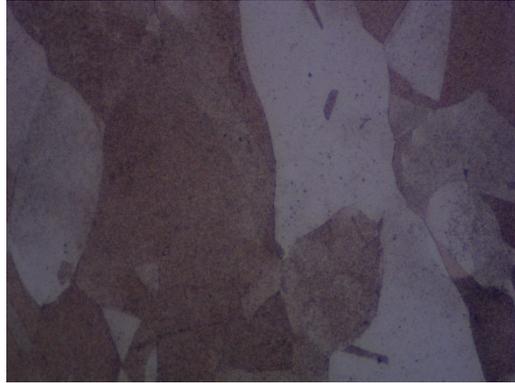
**Fonte:** (Próprios Autores, 2021).

Nas imagens é possível analisar as microestruturas do alumínio silício, o que diferencia as duas amostras é quantidade de manganês presente nas duas.

## 4.2 Cobre

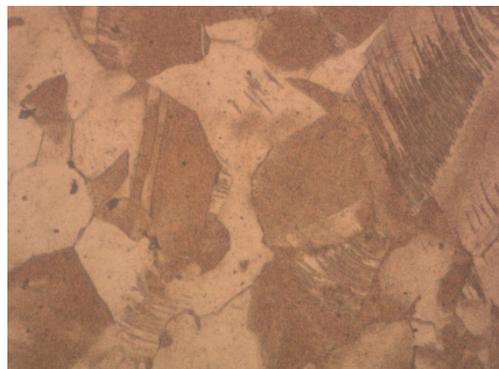
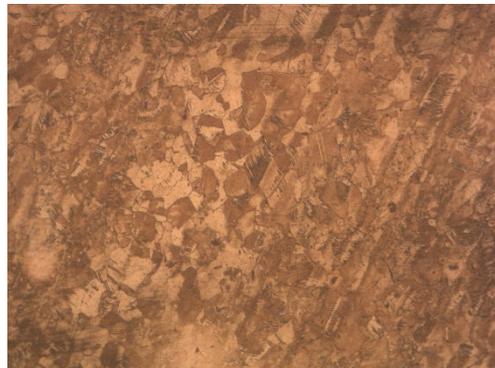
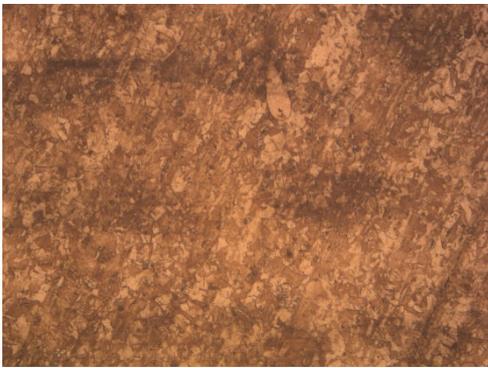
**Figuras 50, 51, 52, 53 e 54** – Cobre Puro (50x, 100x, 200x, 500x e 1000x)





Fonte: (Próprios Autores, 2021).

**Figuras 55, 56, 57, 58 e 59 – Cobre Puro (50x, 100x, 200x, 500x e 1000x)**



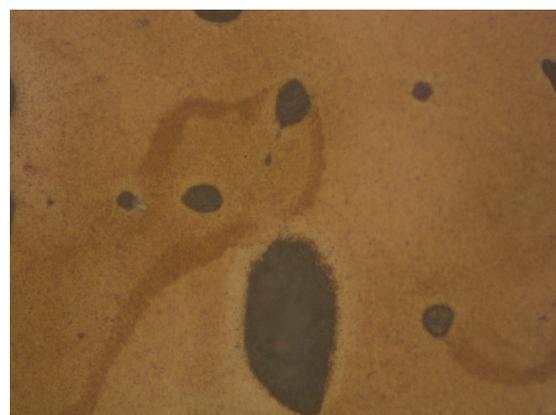
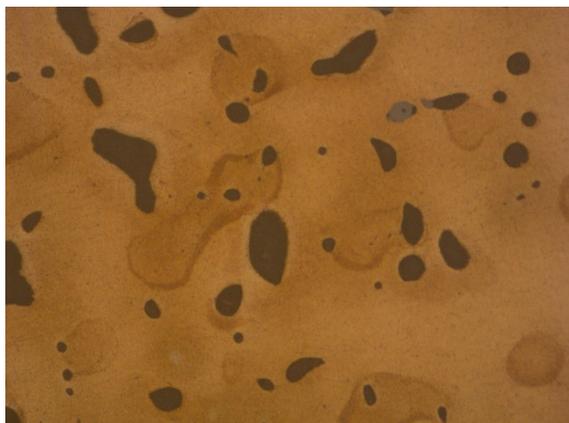
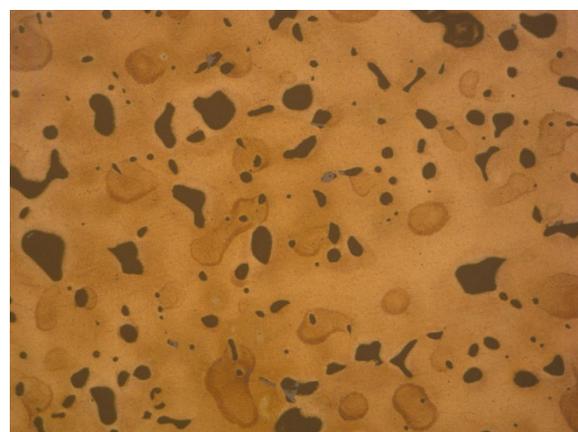
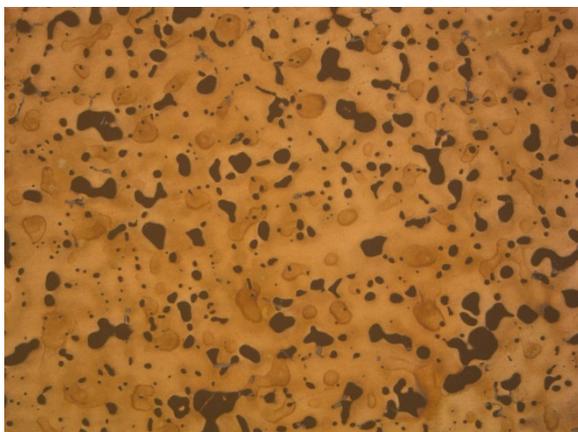


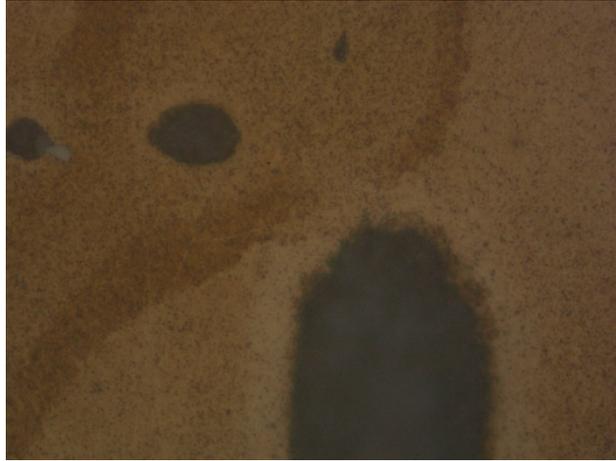
Fonte: (Próprios Autores, 2021)

Nas imagens é possível analisar as microestruturas do Cobre Puro.

### 4.3 Bronze

Figuras 60, 61, 62, 63 e 64 – Bronze (50x, 100x, 200x, 500x e 1000x)





Fonte: (Próprios Autores, 2021)

Nas imagens é possível analisar as microestruturas do Bronze.

Figuras 65 e 66 – Imagens do Estojo montado

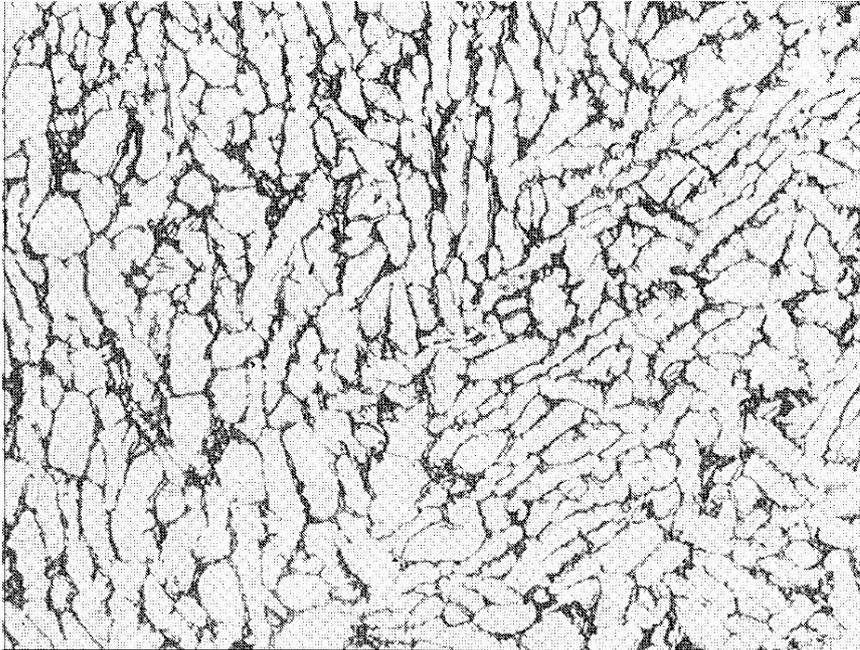


Fonte: (Próprios Autores, 2021)



#### 4.4 Titânio

**Figura 67** – Exemplo de microestrutura de titânio



**Fonte:** (DOCPLAYER, 2019).

## 5. CONCLUSÃO

Ao final do trabalho acreditamos que o nosso principal objetivo foi atingido, pois conseguimos montar o estojo didático de amostras micrográficas de ligas não ferrosas de ligas não ferrosas. No total foram 16 amostras obtidas, dentre elas: 5 de alumínio, 4 de bronze, 3 de titânio, 2 de cobre e 2 de latão.

Através do nosso projeto podemos concluir que, o trabalho em equipe foi fundamental para obter os nossos resultados. A estrutura fornecida pelo Professor José Edenil Gomes dos Santos, em seu laboratório, juntamente com o estudo adquirido no curso de metalurgia na Etec Trajano Camargo facilitou o desenvolvimento do nosso trabalho tanto na parte prática quanto na teórica.

A parte prática do nosso projeto foi essencial, tanto para concluir todas as etapas com as amostras e para aprimorar o nosso conhecimento, pois

conseguimos aprender bastante todas as etapas da metalografia, nos fez ter uma noção de como é o funcionamento dos equipamentos envolvidos e como manuseá-los.

A criação do estojo Didático de amostras de ligas não ferrosas foi importante pois colocamos em prática tudo que aprendemos na aula de metalografia, através do nosso conhecimento teórico sobre o assunto e conseqüentemente adquirimos experiência no laboratório através da parte prática.

Ao concluirmos todo o nosso trabalho nosso grupo pretende disponibilizar o estojo didático, com o número de amostras que conseguimos obter, deixando no laboratório da Etec Trajano de Camargo para ser utilizado nas aulas práticas e teóricas futuras por todos os alunos e professores.

## REFERÊNCIAS.

ALUMINUM MANUFACTURER. Fabricantes de Alumínio. Disponível em: <<https://www.aluminummanufacturers.org/>>. Acesso em: 12 jun. 2021.

ALUMIWORLD. Vidros e Materiais em Alumínio. Disponível em: <<https://www.alumiworld.com.br/>>. Acesso em: 12 jun. 2021.

BIOVERA. Investigação química de ligas ortopédicas de titânio. Disponível em: <<https://www.biovera.com.br/noticias/investigacao-quimica-de-ligas-ortopedicas-de-titanio/>>. Acesso em 18 jun. 2021.

CANALE, L. Ligas de alumínio. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/305685/mod\\_resource/content/1/Aula\\_12\\_Ligas%20de%20Alum%C3%ADnio%20Lauralice.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/305685/mod_resource/content/1/Aula_12_Ligas%20de%20Alum%C3%ADnio%20Lauralice.pdf)>. São Paulo, 2015. Acesso em: 24 jul. 2021.

CCDM. Ensaios metalográficos. Disponível em: <<http://www.ccdm.ufscar.br/materiais-metalicos-ensaios-tecnologicos/avaliacoes-micro-e-macroestruturais/analise-metalografica/>>. Acesso em 28 jun. 2021.

DIRECT INDUSTRY. Alumínio Catálogos. Disponível em: <<https://www.directindustry.com/pt/>>. Acesso em: 12 jun. 2021.

INFOMET. Alumínio e suas ligas. Disponível em: <<https://www.infomet.com.br/site/metais-e-ligas-conteudo-ler.php?codAssunto=108>>. Acesso em: 8 jun. 2021.

INFOMET. Titânio e suas ligas. Disponível em: <<https://www.infomet.com.br/site/metais-e-ligas-assunto.php?codSecao=14>>. Acesso em 18 jun. 2021.

LABOR NEWS. Cobre: o cofator onipresente. Disponível em: <<https://www.labornews.com.br/mercado-atual/cobre-o-cofator-onipresente>>. Acesso em: 14 jun. 2021.

MAGALHÃES, Lana. Cobre. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/cobre/>>. Acesso em: 14 jun. 2021.

MANUAL DA QUÍMICA. Cobre (Cu). Disponível em: <<https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/cobre-cu.htm>>. Acesso em: 14 jun. 2021.

MATERIAIS JÚNIOR. Metalografia. Disponível em: <<https://materiaisjr.com.br/metalografia-qual-a-importancia-dessa-analise/>>. Acesso em 28 jun. 2021.

PEDROLO, C. Ligas metálicas não ferrosas. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/quimica/ligas-metalicas-nao-ferrosas/>>. São Paulo, 2015. Acesso em: 24 jul. 2021.

PRINCIPAIS LIGAS METÁLICAS NÃO FERROSAS. Infiniti, 2019. Disponível em: <<http://www.infinitimetais.com.br/blog/saiba-quais-as-principais-ligas-metalicas-nao-ferrosas-utilizadas-na-industria/>>. Acesso em 28 jul. 2021.

ROHDE, A. R. Metalografia preparação de amostras. São Paulo, 2010. (Apostila). Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4313798/mod\\_resource/content/1/APOSTILA\\_METALOGRAFIA.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4313798/mod_resource/content/1/APOSTILA_METALOGRAFIA.pdf)>. Acesso em 28 jun. 2021.

SHOCKMETAIS. Alumínio Produtos. Disponível em: <<http://shockmetais.com.br>>. Acesso em: 8 jun. 2021.

SHOCKMETAIS. Cobre Produtos. Disponível em: <<http://shockmetais.com.br>>. Acesso em: 8 jun. 2021.

SOL. Dui de Cobre. Disponível em: <<https://solmedicamentos.com.br/loja/ginecologia>>. Acesso em: 14 jun. 2021.

SÓ METAIS. Comércio de Metais. Disponível em: <<https://www.sometais.com.br/>>. Acesso em: 14 jun. 2021.

TECLAGO. Etapas do processo de preparação de amostras para metalografia. Disponível em: <<https://www.teclago.com.br/veja-as-etapas-do-processo-da-preparacao-de-amostras-para-metalografia/>>. Acesso em 18 jun. 2021.

USINAGEM SEM SEGREDOS. Titânio em aeronaves. Disponível em: <<http://usinagemsemsegredos.blogspot.com/2009/11/voce-sabia-usinagem-dos-componentes.html>>. Acesso em 18 jun. 2021.