

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
JOÃO PAULO FERREIRA
MARÍLIA GABRIELA RODRIGUES**

**ALTERAÇÕES GERADAS POR RESÍDUOS DE
FERRO NA FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO RECICLADO**

**Taubaté - SP
2018**

**JOÃO PAULO FERREIRA
MARÍLIA GABRIELA RODRIGUES**

**ALTERAÇÕES GERADAS POR RESÍDUOS DE
FERRO NA FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO RECICLADO**

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Certificado de Graduação do
curso de Engenharia Mecânica do
Departamento de Engenharia Mecânica
da Universidade de Taubaté.

Orientador (a): Prof.Dr. Aluisio Pinto da
Silva

Coorientador (a): Prof. Msc Ivair Alves dos
Santos

**Taubaté – SP
2018**

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

F383a Ferreira, João Paulo
Alterações geradas por resíduos de ferro na fundição de alumínio
reciclado / João Paulo Ferreira; Marília Gabriela Rodrigues. – 2018.
32 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de
Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Aluisio Pinto da Silva, Departamento de
Engenharia Mecânica.

1. Alumínio. 2. Fundição. 3. Impurezas. 4. Reciclagem. I. Título.
II. Rodrigues, Marília Gabriela. III. Graduação em Engenharia Mecânica.

CDD – 669.722

Ficha catalográfica elaborada por Shirlei Righeti – CRB-8/6995

JOÃO PAULO FERREIRA
MARÍLIA GABRIELA RODRIGUES

**ALTERAÇÕES GERADAS POR RESÍDUOS DE FERRO NA FUNDIÇÃO DE
ALUMÍNIO RECICLADO**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO APROVADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE GRADUADO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE
GRADUAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



Prof. Msc Fábio Henrique Fonseca Santejani
Coordenador de Trabalho de Graduação

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Aluisio Pinto da Silva
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



Prof. Msc. Ivair Alves dos Santos
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



Prof. Msc. Antonio Carlos Tonini
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

23 de outubro de 2018

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho a nossos pais João da Silva e Sueli Izabel, Carlos Olivino e Vanderleia Aparecida. Especialmente em memória de Carlos Olivino Rodrigues.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, fonte de vida, graça e fé. Agradecemos por nossas vidas, nossas capacidades, nossas famílias e amigos.

À nosso orientador, Prof.Dr. Aluisio Pinto da Silva, e co-orientador Prof. Msc Ivair Alves dos Santos por todo encorajamento e motivação neste trabalho. Os dias sem dormir foram de grande valia graças a vocês.

À nossos pais João e Sueli, Carlos e Vanderleia, que apesar de todas as dificuldades enfrentadas sempre estiveram ao nosso lado, nos encorajando, orientando, incentivando nossos estudos e principalmente, nos dando força para seguir em frente. Vocês são nossa inspiração e fonte de luz e força. Esses anos foram difíceis, mas juntos, vocês nos ensinaram o poder do amor, da força, da fé. Ensinaram que não devemos desistir, fraquejar nem sequer pensar em parar, vocês mostraram a nós o mundo e se hoje o conquistamos é por mérito de vocês.

À nossos irmãos Marília e Nathalia, Carlos Augusto que não diferente de nossos pais foram essenciais em nossa caminhada. Esperamos um dia poder retribuir tudo o que fizeram por nós.

Aos professores Dr. Evandro Luis Nohara, Ms. Edson Vander Pimentel e ao assistente de laboratório de química, Lamarildo Vendramini por todo o apoio que nos deram para que nosso experimento fosse possível, sem vocês este trabalho não estaria completo.

Enfim, agradecemos aos professores Dr. Aluisio Pinto da Silva, Msc Ivair Alves dos Santos e Msc Antonio Carlos Tonini por aceitarem compor a banca examinadora do presente trabalho.

EPÍGRAFE

“Todos os nossos sonhos podem-se realizar, se tivermos a coragem de
persegui-los”

(WALT DISNEY)

RESUMO

No cenário atual, vemos a crescente utilização do alumínio em fabricação de embalagens e recipientes para diversos setores, com maior aplicação no setor de bebidas, tornando indispensável o reaproveitamento do mesmo para matéria-prima da indústria. Fazendo desta uma atividade econômica que abrange todos os setores da sociedade, desde o recolhedor de latinhas em nossas ruas, até as grandes empresas que utilizam o alumínio primário como sua fonte de matéria-prima. O que buscamos sempre é o melhor aproveitamento deste, utilizando todo o conhecimento industrial para reutilização do material na melhor qualidade possível. Este trabalho de conclusão de curso descreve o estudo experimental com enfoque na recuperação do alumínio, averiguando a importância dos parâmetros de processamento no resultado final, definido nesta como a parcela de impurezas no processo pode influenciar na qualidade final. A metodologia abrangeu a confecção/construção de moldes, latas de alumínio processadas, fusão do material e separação das impurezas, escoamento do metal líquida em moldes pertinentes e a caracterização do material resultante. No processo de fusão foi analisada a influência do ferro sobre a eficácia do material fundido. As características metalúrgicas foram observadas por meio de análise da microestrutura do material fundido. Os resultados obtidos mostram que o ferro forma fases intermediária que se solidificam antes do alumínio alterando a microestrutura do material final.

Palavras-chave: alumínio, reciclagem, fundição, impurezas

ABSTRACT

In the current scene, we can see the increasing use of aluminum in the manufacture of packaging and container for various sectors, with most application in the drink sector, making it indispensable to reuse it as raw material for the industry. Become an economic activity that covers all sectors of society, from the can collector on our streets until the biggest companies that use primary aluminum as their source of raw material. What we are always looking for is the best use of this material. Use all the industrial knowledge to reuse the material in the best possible quality. This undergraduate thesis describes the experimental study focusing on the recovery of aluminum, verifying the importance of the processing parameters in the final result, defined in this thesis how the quantity of impurities in the process can influence the final quality. The methodology involved molds construction, processed aluminum cans, melting of the material and separation of impurities, flow of liquid metal in molds and characterization of the resulting material. In the melting process, the influence of different types of impurities on the efficiency of the melt was analyzed. The metallurgical characteristics were observed by analyzing the microstructure of the molten material.

KEYWORDS: Aluminum, recycling, smelt, impurities

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução mundial na reciclagem de latas de alumínio	16
Figura 2 - Processo obtenção alumínio pelo modo Bayer	20
Figura 3 - Ensaio de Impacto	31
Figura 4 - Preparo dos moldes	37
Figura 5 - Materiais utilizados na fundição	38
Figura 6 - Materiais para fundição e secagem	39
Figura 7 - Retirada dos moldes	39
Figura 8 - Vasamento	39
Figura 9 - Máquina de Prensa	40
Figura 10 - Lixas utilizadas	41
Figura 11 - Ponto de referência na amostra	41
Figura 12 - Amostras sem lixamento	42
Figura 13 - Equipamento utilizado (DP – 10 - STRUERS – PANAMBRA)	42
Figura 14 - Lixamento de desbaste	43
Figura 15 - Amostras lixadas	43
Figura 16 - Limpeza da amostra	44
Figura 17 - Granulatura Alumina para polimento	44
Figura 18 - Polimento das amostras	45
Figura 19 - Mistura química	46
Figura 20 - Reagente	46
Figura 21 - Microscópio de análise	47
Figura 22 - Diagrama de Fases Ferro x Alumínio	48
Figura 23 - Amostra 1,2% Fe	49
Figura 24 - Amostra 2,0% Fe	49
Figura 25 – Precipitação de fase – 3,04%	50
Figura 26 - Precipitação de fase – 5,25%	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do Alumínio	22
Tabela 2 -Propriedades Mecânicas do Alumínio.....	24
Tabela 3 - Propriedades Químicas do Alumínio.....	25
Tabela 4 - Comparativo valores de materiais reciclados.....	26
Tabela 5 - Estimativa de custo de produção de latas de aço e alumínio.....	29
Tabela 6 - Composição química das ligas de alumínio.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C.	Antes de Cristo
ABAL	Associação Brasileira do Alumínio
ABRALATAS	Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio
Al	Alumínio
Al ₂ O ₃	Óxido de Alumínio
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CP	Corpo de Prova
Cu	Cobre
Fe	Ferro
Lb	Libra
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
Si	Silício
Tab.	Tabela

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Por cento
°C	Graus Celsius
²	Quadrado
³	Cúbico
cm	Centímetro
g	Gramma
h	Hora
Kgf	Quilograma Força
MPa	Mega Pascal
min	Minuto
ml	Mililitro
mm	Milímetro
N	Newton
Oz	Onça
pol.	Polegada
R\$	Real
US\$	Dólar
t	Tonelada
X	Multiplicação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO.....	17
1.1.1 Objetivo Geral	17
1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	17
1.3 RELEVANCIA DO ESTUDO	17
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 FUNDIÇÃO.....	18
2.2 ALUMÍNIO.....	19
2.2.1 Bauxita	20
2.3 CONHEÇA A LATINHA	21
2.3.1 Composição do material	21
2.3.1.2 Graus de Alumínio	21
2.3.2 Reciclagem	25
2.3.3 Fontes de Contaminação	27
2.3.4 O custo	27
2.4 ENSAIOS E ANÁLISES.....	30
2.4.1 Características dos ensaios mecânicos	30
2.4.2 Metalografia	31
2.4.2.1 Ensaio Micrografico ou Micrografia	32
2.4.2.2 Ensaio Macrográfico ou Macrografia	32
3 METODOLOGIA	33
3.1 Classificação dos Métodos de Pesquisa	33
3.1.1 De acordo com a Abordagem	33
3.1.2 De Acordo com o Objetivo	33
3.1.3 De Acordo com os Procedimentos Técnicos	34
4 DESENVOLVIMENTO	35
4.1 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO.....	35
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.2.1 Definição de dados para controle	35
4.2.2 Preparo dos moldes	36
4.2.3 Fundição	38
4.2.4 Preparação das amostras para análises	40
4.2.4.1 Embutimento	40
4.2.4.2 Lixamento	41
4.2.4.3 Linha de referencia	41
4.2.4.4 Amostras confeccionadas	42
4.2.4.5 Equipamento de lixamento	42
4.2.4.6 Lixamento de desbaste	43
4.2.4.7 Amostras semi-acabadas	43
4.2.4.8 Limpeza da superfície da amostra	44
4.2.4.9 Polimento	44
4.2.4.10 Ataque Químico	46
4.2.5 Análises	47
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
6 CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

As novas técnicas de industrialização aperfeiçoadas nos últimos anos, concomitantemente com o aumento populacional e de consumo, têm provocado a elevada demanda mundial de embalagens, com resultante aumento na quantidade de descarte pós-consumo. Nesta circunstância, a reciclagem não é apenas um parâmetro ecológico, mas também, uma opção real e satisfatória para a indústria e sociedade, associando consciência ecológica, desenvolvimento tecnológico e aumento econômico.

Os ramos da indústria focados na reciclagem do alumínio está se ampliando, requerendo ferramentas gerenciais adequadas a este novo nicho de mercado. No que se diz respeito no setor de fundição, a gestão das matérias-primas é primordial para seu desenvolvimento, alguns aspectos estão relacionados à logística, disponibilidade, custo e peculiaridade das fontes coadjuvantes do alumínio. Esta gestão esta relacionada com a produtividade e, conseqüentemente, com a rentabilidade do processo de fundição, visto que intervém prontamente nas perdas do processo.

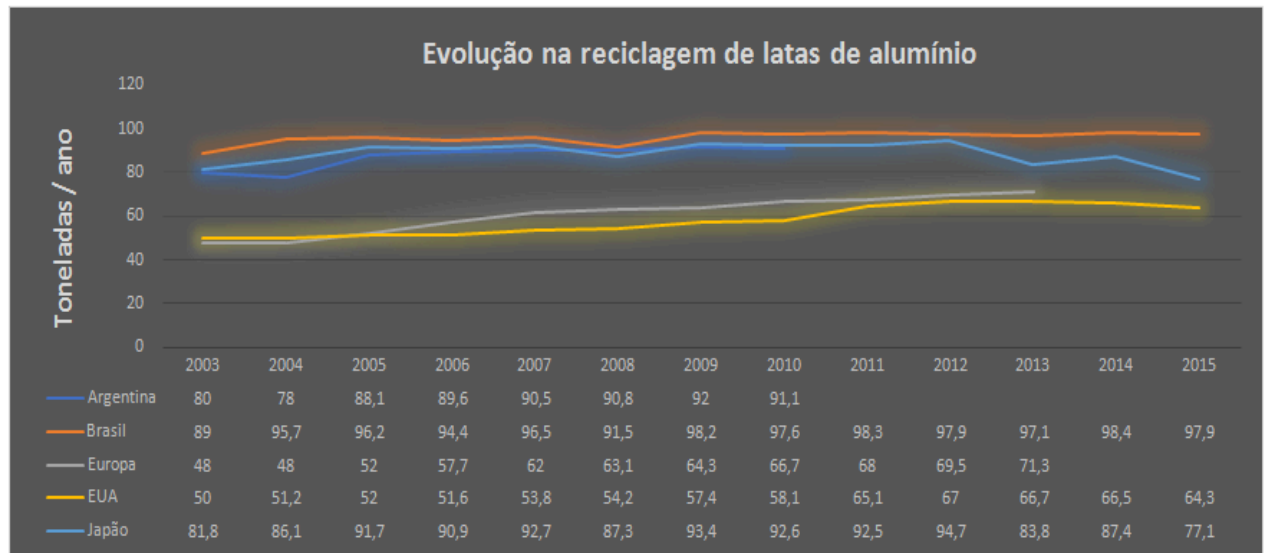
A importância da reciclagem esta embasada no aumento continuo do consumo de latinhas de alumínio, isto é esclarecido pela Associação Brasileira do Alumínio (ABAL, 2002) "... gerando atividades de trabalho e renda (por volta de R\$ 850 milhões ao ano), a economia de energia, criação de novos mercados, conscientização ambiental e inclusão social". Dentre os metais não-ferrosos, o alumínio é um dos mais importantes e dispõe de uma grande relevância industrial devido as suas distintas características físico-química. É leve, de densidade igual a $2,7 \text{ g/cm}^3$ enquanto o aço possui uma densidade de $7,86 \text{ g/cm}^3$, apresentam baixo ponto de fusão (660°C quando com pureza de 99,80%), elevada resistência principalmente como ligas. Além de diversas outras particularidades como, por exemplo, vida útil prolongada, resistente a corrosão, ótimo condutor térmico/elétrico, boas qualidades reflexivas e infinitamente recicláveis.

De acordo com a Associação Brasileira de Alumínio (ABAL, 2013) o Brasil detém liderança mundial no reciclo de latinhas de alumínio desde 2001, contendo índices de 85%. 97,9% (figura 1) do total destas disponíveis no mercado interno brasileiro foram recicladas em 2015, referindo-se a 292,5 mil toneladas, representando 23,1 bilhões de unidades, cerca de 63,3 milhões ao dia.

Em 2015, apenas o recolhimento de latinhas de alumínio de bebida (usadas) acrescentou R\$ 730 milhões para a economia brasileira. O valor equivale a um salário mínimo mensal em uma população economicamente operante de uma cidade com 78 mil pessoas, aproximadamente.

Se isso equivalêsse uma empresa, a coleta/reciclagem de latinhas estaria entre as 730 maiores do Brasil. Já com liga metálica própria boa parte desta sucata retorna em forma de bobinas de chapa para a manufatura de seus principais consumidores, como latas de bebidas ou fundição de autopeças. Devemos dar ênfase ao reciclo de latinhas de alumínio que possuem elevado consumo e curto ciclo de vida, bem mais que se comparado com outros produtos a base de alumínio e embalagens diversas. O processo de reciclagem de latinhas tem colocado o Brasil na liderança mundial da atividade por vários anos consecutivos. Atualmente, uma lata para bebidas consegue ser adquirida, utilizada, separada, coletada, reciclada e envasada, voltando às prateleiras para ser utilizada em torno de 60 dias.

Figura 1 - Evolução mundial na reciclagem de latas de alumínio



Fonte: Gráfico adaptado pelo autor

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa tem como objetivo analisar as alterações geradas por resíduos de ferro na fundição de alumínio reciclado, provenientes de coletas seletivas, separação dentro das empresas que já utilizam alumínio e centro de reciclagem.

1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de analisar os efeitos causados por resíduos na fundição de alumínio reciclado que provem de coletas seletivas, centro de reciclagem e empresas que utilizam o alumínio primário, identificando como os resíduos afetam o material final por meio de ensaios em laboratório.

1.3 RELEVANCIA DO ESTUDO

O tema abordado neste trabalho tem como princípio a análise dos problemas causados por resíduos de ferro na fundição de alumínio reciclado providos de coletas seletivas, centro de reciclagem e empresas que utilizam o alumínio primário e suas características.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em capítulos e subcapítulos. No primeiro capítulo, é apontada a justificativa do estudo, o escopo do trabalho, os objetivos e a metodologia adotada.

O capítulo 2 expõe a revisão bibliográfica sobre fundição, reciclagem e ensaios.

O capítulo 3 explana a metodologia adotada na pesquisa, retratando como ela foi reunida, a obtenção de dados e como foi conduzida a pesquisa.

O capítulo 4 apresenta as considerações finais, conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, é evidenciado as referencias utilizadas neste trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo aborda os conceitos de fundição, alumínio, reciclagem e ensaios, mostrando sua importância para o processo e o quanto contribuem para a qualidade final dos produtos desenvolvidos a partir do alumínio.

2.1 FUNDIÇÃO

Fundição é o processo que pelo qual se obtêm objetos vazando metal fundido em moldes preparados com o formato da peça, deixando-o se solidificar por resfriamento. É, em suma, o ato de encher com metal líquido a cavidade de um molde com um determinado formato e medidas previamente estipuladas. (BOTELHO, 2011).

A fundição é uma das indústrias mais antigas no que se diz respeito ao trabalho dos metais e data por volta de 4.000 a.C., tendo sido aplicado desde esta época inúmeras técnicas para o alcance da peça fundida (BOTELHO, 2011).

Segundo Botelho (2011), das técnicas empregadas, a mais popular é o da fundição em areia. Este também é o processo mais adequado para o ferro e o aço que tem altas temperaturas de fusão, tendo potencial também para o alumínio, bronze, magnésio e latão. Outros processos que se ressaltam por sua aplicação nos dias atuais são:

- Fundição em moldes metálicos (por gravidade ou sob pressão)
- Fundição de precisão (cera perdida e moldes cerâmicos)
- Fundição em casca (Shell molding)
- Fundição centrífuga

Todo este processo é de certa forma simples, visto que os passos necessários para a obtenção do produto final são poucos, sendo eles: modelagem, moldagem, macharia (se necessário), fusão, vazamento, desmoldagem e acabamento (rebarbação e limpeza). (BOTELHO, 2011).

Segundo Borges (2018), as vantagens de se utilizar este processo é que se obtém a peça pronta a partir do metal líquido, sem a imposição de processos seguintes de conformação. É possível se obter formas externas e internas muito mais complexa, ou que requerem o mínimo de operações subseqüentes de acabamento. Praticamente não há limite para as dimensões, eles podem variar de poucas gramas ate algumas toneladas, com os mais diversos formatos. É muito bem adaptável a produção em série.

2.2 ALUMÍNIO

O alumínio, oriundo da bauxita, foi identificado pela primeira vez por Berthier em 1821, em Les Baus, sul da França. Nesta época, o alumínio ainda não era conhecido, este, é o elemento metálico mais abundante da Terra, sendo o metal mais moderno entre os comuns, tendo sido isolado em 1825 e disponibilizado ao publico em 1855. (MÁRTIRES, 2001).

Sua incidência ao longo do tempo se deve ao fato de que, ao oposto de outros elementos metálicos (ferro ou cobre), ele não se da espontaneamente em sua forma metálica, existindo sempre em combinação com outros elementos, principalmente o oxigênio, com o qual forma um oxido intensamente duro, conhecido como alumina (MÁRTIRES, 2001).

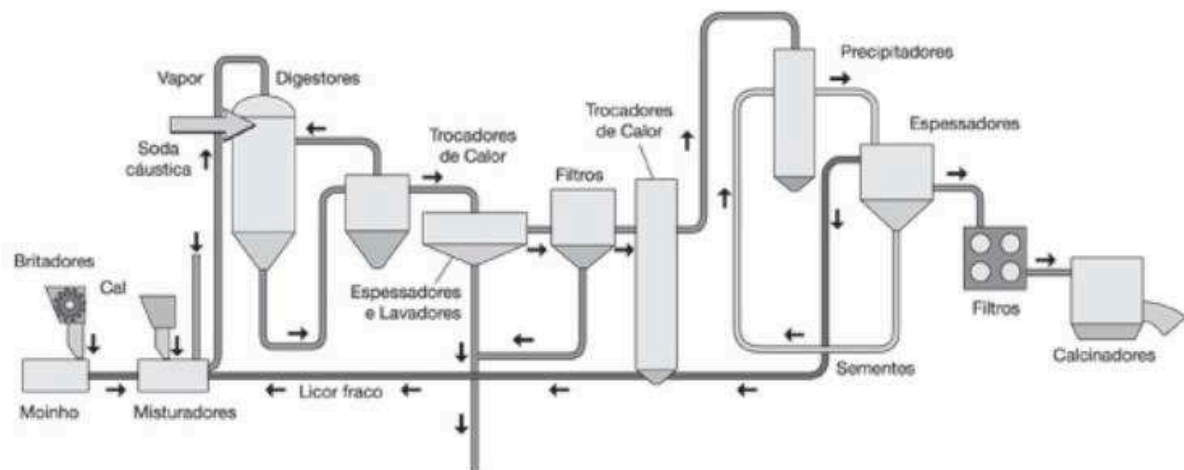
Na contemporaneidade, para a obtenção do alumínio em nível industrial, a bauxita é processada através da moagem e, conglomerada a uma solução de soda cáustica, da como resultado uma paste que, aquecida sob pressão e acomodando uma nova adição de soda cáustica, se desfaz formando uma solução que passa por processos de sedimentação e filtragem, que banem as impurezas. (MÁRTIRES, 2001).

Constata-se então, que a alumina é a decorrência do processamento químico da bauxita, conhecido como Bayer (figura 2). Este procedimento se realiza na refinaria, onde o minério é convertido em alumina calcinada, a qual futuramente será utilizada no processo eletrolítico. (MÁRTIRES, 2001).

Através de uma reação química a alumina é precipitada pelo processo de cristalização por semente. O material cristalizado é lavado e secado através do

aquecimento para que o primeiro produto do processo de produção do alumínio, o óxido de alumínio de alta pureza, ou alumina, um pó branco e refinado, seja obtido à alumina produzida será o insumo indispensável para a produção de alumínio que, pelo processo de redução, é modificado para alumínio metálico (MÁRTIRES, 2001).

Figura 2 - Processo obtenção alumínio pelo modo Bayer



Fonte: Associação Brasileira do Alumínio

Em termos de volume utilizado na obtenção do alumínio, são exigidas aproximadamente 2,3 toneladas de bauxita para a obtenção de uma tonelada de alumina, e 1,95 toneladas de alumina são utilizadas para produzir uma tonelada de alumínio no processo de redução (MÁRTIRES, 2001).

2.2.1 Bauxita

É uma rocha de cor avermelhada formada principalmente por óxido de alumínio (Al_2O_3) e outros compostos em menor quantidade como dióxido de titânio, silicato de alumínio, silício e óxido de ferro (CARDOSO, 2018).

A formação da bauxita é resultante da decomposição de rochas alcalinas, ocasionadas pela infiltração de água das chuvas nas rochas ao longo de milhares de anos. A coloração vermelha se deve a presença de óxidos de ferro, sendo assim, rochas que apontam de 2% a 4% de óxido de ferro são denominadas

bauxita branca, no tempo em que as que possuem até 25% de óxido de ferro intitulam-se bauxita vermelha (CARDOSO, 2018).

2.3 CONHEÇA A LATINHA

Segundo ABRALATAS (2018) uma latinha é composta, basicamente por:

FLANGE: parte superior da latinha.

PESCOÇO: local onde o corpo da lata é estreitado, feito assim para acomodar a tampa que é menor.

CORPO: liga de alumínio que normalmente contém 1% de manganês, 1% de magnésio, 0,4% de ferro, 0,2% de silício e 0,15% de cobre. O corpo tem espessura de 0,0001 polegadas e é mais encorpada na parte inferior. É resistente a uma pressão de 90 lb/pol² e pode agüentar 250 libras de peso.

BASE: de forma convexa para suportar a pressão na base interna.

TAMPA: Representa 25% do peso total. Sua liga é composta por menos manganês e mais magnésio do que o corpo, isso a torna mais forte. A fim de economia, a tampa tem diâmetro menor que o corpo.

ANEL: peça fixada pelo rebite

2.3.1 Composição do material

2.3.1.2 Graus de Alumínio

De acordo com o tratamento térmico e dos elementos de liga, a categorização do alumínio pode exprimir uma ampla variedade de propriedades, desde fácil fabricação, boa aparência, relação força/peso elevada, boa resistência a corrosão e alta tenacidade a fratura (TOTAL MATERIA, 2018).

De acordo com o Total Matéria (2018), a escolha da classificação do alumínio adequada para a finalidade que queremos, varia de acordo com sua condição de trabalho e pode ser classificada conforme tabela 1.

Tabela 1 - Classificação do Alumínio

Serie	Ligas	Características	Aplicação
1xxx	1050; 1060; 1100; 1145; 1200; 1230; 1350	Excelente resistência a corrosão; alta condutividade térmica e elétrica; baixas propriedades mecânicas; excelente trababilidade. Ferro e silicone são as principais impurezas	Refletores, luminárias, utensílios domésticos, tanques e cubas estruturais nas indústrias química e alimentícia, trocadores de calor, etiquetas metálicas, utensílios domésticos, etc.
2xxx	2011; 2014; 2018; 2124; 2219; 2319; 201.0; 203.0; 206.0; 224.0; 242.0	Requerem solubilização para obterem propriedades melhores, nesta condição as propriedades mecânicas são similares, ou às vezes excedem as de aço de baixo carbono.	2024 é a mais popular e mais empregada na construção de aeronaves. Peças usinadas em torno automático.
3xxx	3003; 3004; 3104; 3105; 383.0; 385.0; A360; 390.0	Geralmente não são tratadas termicamente, mas chegam a ter 20% mais resistência que as ligas da série 1xxx	Carrocerias para ônibus e caminhões, utensílios domésticos, equipamentos para indústria química e alimentícia, latas para bebidas e alimentos, coberturas (telhas), calhas, etc.
4xxx	4032; 4043; 4145; 4643	Principal elemento de liga é o silicone, este se adicionado até 12%, diminui substancialmente a variação do ponto de fusão, por esta razão as ligas de alumínio-silicone são utilizadas para soldagem de cabos/fios	As ligas de alumínio que contém quantidades apreciáveis de silicone tornam-se de cinza escuro para preto quando óxido anódico aplicados acabam e conseqüentemente estão em demanda nas aplicações de arquitetura.
5xxx	5005; 5052; 5083; 5086	Tem como principal elemento de liga o magnésio. Possuem boa características de soldagem e relativamente boa resistência à corrosão em ambientes marinhos.	Placas de sinalização, indústria naval, persianas, ilhoses, peças estampadas com alta solicitação mecânica, vagões ferroviários, etc.

Fonte: Tabela adaptada pelo autor

Tabela 1 - Classificação do Alumínio

Serie	Ligas	Características	Aplicação
6xxx	6060; 6061; 6063; 6101; 6351	As liga de alumínio dessa serie contem silicone e magnésio em proporções necessárias para a formação do C (Mg ₂ Si) e torna-os assim tratáveis termicamente. Embora não seja tão forte quanto às ligas 2xxx e 7xxx, possuem boa formabilidade, soldagem, usinabilidade e relativamente boa resistência a corrosão.	Engenharia estrutural, construção de navios, condutores e barramentos elétricos, perfis em geral, tubos de irrigação, móveis, iluminação e ornamentos
7xxx	7075, 7050, 7049, 710.0; 711.0	Zinco, na proporção de 1 a 8%, é o maior elemento de liga da serie e quando combinadas com uma pequena quantidade de magnésio resulta em ligas tratáveis termicamente de resistência moderada a muito alta.	Equipamento de fusilagem; equipamentos portáteis; peças altamente tensionadas
8xxx	8006; 8111; 8079; 850.0; 851.0; 852.0	Ferro e Níquel são utilizados para aumentar a resistência sem perder a condutividade elétrica significativamente.	A liga Alumínio-Lítio 8090 tem alta resistência e rigidez excepcional e foi desenvolvida para aplicações aeroespaciais.

Fonte: Tabela adaptada pelo autor

Também, devem-se levar em conta as propriedades mecânicas do alumínio (tabela 2) e as propriedades químicas do mesmo (tabela 3).

De acordo com Shock Metais (2018), devemos nos atentar a:

- Os dados de tensão são expressos na unidade megapascal (Mpa), equivalente a 1N/mm². Para obter-se a medida da unidade em kgf/mm², divide-se o valor indicado por 9, 807.

- Classificação das Têmperas:
 - O - Recozido:** Aplica-se a produtos acabados, no estado em que apresentam o menor valor de resistência mecânica.
 - H - Encruada:** Aplica-se a produtos de ligas não tratáveis termicamente, ou seja, ligas onde o aumento da resistência mecânica se consegue apenas por deformação plástica a frio (encruamento).
 - F - Como Fabricada:** Aplica-se aos produtos obtidos através de processos de conformação em que não se emprega qualquer controle especial sobre as condições térmicas ou de encruamento. Não se especificam limites para as

propriedades

mecânicas.

T - Tratada Termicamente: Aplica-se aos produtos que sofrem tratamento térmico com ou sem deformação plástica complementar, que produz propriedades físicas estáveis e diferentes das obtidas com "F", "O" e "H".

- Para as ligas com têmpera H114, utilizar os limites especificados na têmpera "O".
- Para as ligas com têmpera H154, utilizar os limites especificados na têmpera "H14".
- Para materiais laminados, os valores de alongamento correspondem às espessuras de 0,63 a 1,20m.
- Propriedades Mecânicas conforme normas ABNT-NBR 7823 (laminados) e ABNT-NBR 7000:2005 (extrudados).

Tabela 2 - Propriedades Mecânicas do Alumínio

Liga ABNT ASTM	DIN	Têmpera	Límite de Resistência à Tração Mpa (N/mm ²)Mín.	Límite de Resistência à Tração Mpa (N/mm ²)Máx.	Límite de Escoamento Mpa (N/mm ²)Mín.	Alongamento Mínimo "50mm"(%)	Dureza Brinell (HB)
1050	Al 99,5	O	55	95	15	22	20
		H14	95	130	70	3	26
1100	-	O	75	105	25	22	23
		H14	110	145	95	3	32
1200	Al 99,0	O	75	105	25	22	23
		H14	110	145	95	3	32
1350	E-Al	O	55	95	-	22	20
		H14	95	130	-	3	30
2011	Al Cu Pb Bi	T4	275	-	125	16	-
		T8	370	-	275	10	100
3003	Al Mn Cu	O	95	130	35	22	28
		H14	140	180	115	3	40
3104	Al Mn	O	150	200	60	15	45
		H32	190	240	145	3	58
		H34	220	265	170	3	66
3105	Al Mn0,5 Mg0,5	O	95	145	35	19	28
		H14	150	200	125	2	40
5005	Al Mg1,0	O	105	145	35	19	28
		H14	145	185	115	2	41
		H19	157	-	137	-	-
5052	Al Mg2,5	O	170	215	65	17	47
		H34	235	285	180	4	68
6060	Al Mg Si0,5	T5	145	-	105	8	60
6061	Al Mg Si Cu	T4	180	-	110	16	65
		T6	260	-	240	8	95
6063	Al Mg Si0,5	T5	145	-	105	8	60
6101	E-Al Mg Si0,5	T6	200	-	172	8	78
6261	-	T6	265	-	225	10	90
6262	-	T6	260	-	240	10	90
6351	Al Mg Si1,0	T6	290	-	255	10	95
8011	Al Fe Si	O	80	120	50	12	28
		H14/H24	120	210	110	4	35

Fonte: SHOCKMETAIS – Set/18

Tabela 3 - Propriedades Químicas do Alumínio

Liga ABNT/ASTM	Densidade à 20 °C (p-Peso Específico) (g/cm³)	Temperatura de Fusão (°C)	Calor Específico 0 a 100 °C (cal/g °C)	Coefficiente de Expansão Térmica 20° a 100 °C (10-6 °C)	Condutibilidade Térmica a 25 °C (cal/cm/cm²/seg °C)	Condutibilidade Elétrica à 20 °C(% IACS)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Módulo de Rigidez (MPa)
1050	2,70	650 - 660	0,22	24	0,50	60	70 .000	26 .500
1100	2,71	643 - 657	0,22	24	0,53	59	70 .000	26 .500
1350	2,70	650 - 660	0,22	23	0,54	62	70 .000	26 .500
2011	2,82	535 - 645	0,23	23	0,37	40	72 .500	27 .500
3003	2,73	640 - 655	0,22	23	0,38	43	70 .000	26 .500
3105	2,71	635 - 654	0,22	24	0,41	45	70 .000	26 .500
5005	2,70	632 - 654	0,23	24	0,48	52	72 .000	27 .500
5052	2,68	595 - 650	0,23	23	0,33	35	72 .000	27 .500
6060	2,71	600 - 650	0,21	23	0,48	52	70 .000	26 .500
6061	2,71	580 - 650	0,22	24	0,37	43	70 .000	26 .500
6063	2,71	600 - 650	0,21	23	0,48	52	70 .000	26 .500
6101	2,71	605 - 655	0,22	23	0,49	55	70 .000	26 .500
6261	2,71	570 - 655	0,22	23	0,44	48	70 .000	26 .000
6262	2,71	582 - 652	0,21	23	0,37	44	70 .000	26 .700
6351	2,71	555 - 650	0,21	24	0,44	46	70 .000	26 .500
3104	2,72	630 - 655	0,21	24	0,41	42	69 .000	26 .000

Fonte: SHOCKMETAIS – Set/18

2.3.2 Reciclagem

Segundo ABAL (2018) uma característica específica do alumínio é sua fácil reciclabilidade sem perda de suas propriedades físico/químicas, isto o torna o metal de excelente escolha, especialmente para as embalagens de bebidas carbonatadas (cervejas, refrigerantes, etc.). A reciclagem do alumínio proporciona grande economia de matéria-prima e do consumo de energia elétrica. Cada quilo de alumínio reciclado equivale a uma economia de cinco quilos de bauxita e gastando-se apenas 5% a energia elétrica que seria necessária para se fabricar o alumínio primário.

Os recipientes de alumínio ainda representam uma vantagem comparativa na reciclagem em relação a outros materiais, isto por causa de seu preço ser mais elevados. Este fato pode ser verificado abaixo, onde se mostra a comparação do preço da sucata de alumínio com outros materiais (Tabela 4). Outra vantagem é que o alumínio pode ser reciclado infinitamente para o mesmo tipo de uso, ou seja, ele não se torna inferior com as vezes que é reciclado, como acontece com outros materiais (ANDRADE; VIEIRA; CUNHA, 2001).

O processo de reciclagem da sucata de alumínio respeita as seguintes etapas: Existem fornos próprios para a fundição de sucata de alumínio, estes são: rotativos selados, rotativos, sidewell sem sal, plasma (em desenvolvimento) e por indução (pouco utilizado) (ABAL, 2018).

Os primeiros, de tecnologia antiga, têm produtividade metálica entre 50% e 60%, e os rotativos selados com cobertura de sal têm rendimento de até 85% e apontam pouca geração de borra preta. Os fornos tipo sidewell, também conhecidos como revérberos, são de tecnologia mais moderna, idéias para retalhos de baixa espessura (de 0,15mm a 0,20mm) (ABAL, 2018)

Descendentes da recuperação de sucata de alumínio, as ligas secundárias possibilitam que o metal seja empregado na fabricação de diversos semi-elaborados e elaborados tais como perfis, chapas, etc. prontos assim, para a reutilização nos mais variados segmentos da indústria do alumínio (ANDRADE; VIEIRA; CUNHA, 2001).

Tabela 4 - Comparativo valores de materiais reciclados (por quilo)

TIPO MATERIAL	MINIMO	MÁXIMO
Papel Branco	R\$ 0,05	R\$ 0,20
Jornal	R\$ 0,05	R\$ 0,15
Revista	R\$ 0,02	R\$ 0,05
Lacre lata alumínio	R\$ 2,00	R\$ 3,50
Lata alumínio	R\$ 2,40	R\$ 3,70
Papelão	R\$ 0,10	R\$ 0,15
Garrafa PET	R\$ 0,75	R\$ 1,00
Panela alumínio	-	R\$ 4,00
Perfil alumínio limpo	-	R\$ 4,70
Bloco alumínio limpo	-	R\$ 2,50
Chapa alumínio	-	R\$ 3,00
Aço inox	-	R\$ 2,70
Ferro	-	R\$ 0,30

Fonte: Tabela adaptada pelo autor

2.3.3 Fontes de Contaminação

Como nem todos têm o costume de fazer a coleta seletiva, as latas, muitas das vezes, chegam misturadas a outros tipos de lixo como matéria orgânica, plástico, areia, vidro, outros tipos de metais e com excesso de umidade, isso dificulta a recuperação do alumínio para fins mais nobres. A tinta encontrada na estampas das embalagens não atrapalha sua reciclagem, já que as mesmas são destruídas nos fornos de fundição no reprocessamento do alumínio (CEMPRE, 2018).

A sucata deve estar livre de ferro e o teste do ímã é a melhor técnica para se certificar da ausência desse material. Também é possível fazer o reconhecimento e triagem de modo mais seguro com a utilização de parâmetros como peso, cor e teste químico (CEMPRE, 2018).

O ferro, junto com outras impurezas como Mn, Mg, Cu e Si formam fases intermediárias que prejudicam as propriedades do material final. No decorrer da solidificação das ligas de alumínio, regularmente a fase primária formada é a do alumínio, ficando os demais constituintes da liga disseminados na região restante entre os grãos da primeira fase (MORAES; TENÓRIO, 2003).

A contaminação do ferro pode gerar a mudança na sequência de solidificação, possibilitando o surgimento de fases primárias compostas de ferro antes da cristalização dos grãos de alumínio. Essas fases que contem ferro, por se desenvolverem antes do alumínio, podem crescer livremente, dando forma a cristais grosseiros na fase líquida (MORAES; TENÓRIO, 2003).

2.3.4 O custo

A produção de latas por estiramento e estampo é constante, de alta velocidade e inteiramente automatizado. A produção em escala é, portanto, fundamental para a efetividade econômica da produção, pertinente, principalmente, ao grande investimento em equipamentos e máquinas de alta performance (ANDRADE; VIEIRA; CUNHA, 2001).

Confrontando-se o custo de investimentos para a fabricação de latas de alumínio e de aço, pode-se admitir que os valores sejam congêneres, da ordem de US\$ 65 milhões para uma fabricação de 750 milhões de latas/ano de aço e US\$ 60 milhões para a fabricação de latas de alumínio (ANDRADE; VIEIRA; CUNHA, 2001).

A matéria-prima tem um peso expressivo no custo final de produção, obrigando os fabricantes a desenvolverem freqüentemente a redução do peso das latas, tanto de aço quanto de alumínio, e para isso, diminuem, basicamente, a espessura das chapas (ANDRADE; VIEIRA; CUNHA, 2001).

A Tabela 5 apresenta uma aproximação de custo, em nível mundial, de unidades padrão de 1,5 bilhões de latas/ano, dispondo de tecnologia de última geração, operando em capacidade total e fabricando catas de 350 ml (12 oz.) (ANDRADE; VIEIRA; CUNHA, 2001).

Estes custos baseiam-se no preço do alumínio primário LME e US\$ 1.500/t representando um custo da chapa de alumínio com espessura de 0,28mm por volta de US\$ 2.200/t. o preço internacional da chapa de aço com 0,26mm d espessura fica por volta de US\$ 650/t. A principal vantagem de se usar aço se refere ao menor custo da matéria-prima, pois estas custam, em média, 60% menos que as chapas de alumínio (ANDRADE; VIEIRA; CUNHA, 2001).

Tabela 5 - Estimativa de custo de produção de latas de aço e alumínio
(Em US\$/Mil latas)

DISCRIMINAÇÃO	AÇO	ALUMÍNIO
Metal	24,8	32,03
Revestimento	3,98	2,65
Utilidades	2,87	2,81
Suprimentos	2,5	2,5
Mão-de-obra	1,85	1,83
Total dos Custos Variáveis	36	41,82
Demais custos	0,68	0,68
Depreciação	2,07	2,13
Diversos custos fixos	0,83	0,85
Total dos custos fixos	3,58	3,66
Custos variáveis + custos fixos	39,6	45,48
Custos com perdas	1,54	1,4
Recuperação de Sucata	0,74	2,56
Custo total	40,4	44,32

Fonte: MBM – Metal Bulletin Monthly – Dez/96

Esta estimativa de custo conceitua a recuperação de sucata no processo produtivo, mas não leva em conta a reciclagem de latas usadas. O recolhimento e a reciclagem apresentam, segundo os fabricantes de recipientes de alumínio, uma receita adicional pelo saliente valor da sucata, enquanto os fabricantes de latas de aço deverão assumir o custo adicional de coleta de latas, inevitável à manutenção da imagem do produto final (ANDRADE; VIEIRA; CUNHA, 2001).

Enquanto isso, conforme a Tabela 02, as latas de alumínio demandam menor custo em revestimento, pois necessitam apenas uma camada de verniz para a proteção interna, enquanto as de aço requerem duas camadas internas e externas, para que não sofram com a corrosão causada pelo ar, calor, umidade etc. isto se deve ao fato que naturalmente, o alumínio forma uma camada de proteção contra a corrosão quando entra em contato com o ar (ANDRADE; VIEIRA; CUNHA, 2001).

2.4 ENSAIOS E ANÁLISES

De acordo com ITEN (2018), para se entender o desempenho de materiais que estamos trabalhando é de costume realizar ensaios mecânicos para se aferir uma serie de fatores. Isso é feito por meio da análise de suas propriedades mecânicas em várias circunstâncias de uso.

2.4.1 Características dos ensaios mecânicos

Devido ao custo-benefício que este tipo de ensaio oferece, ele é muito solicitado nos mais diversos tipos de indústria, pois é capaz de alinhar segurança, com um custo baixo e alto desempenho (ITEN 2018).

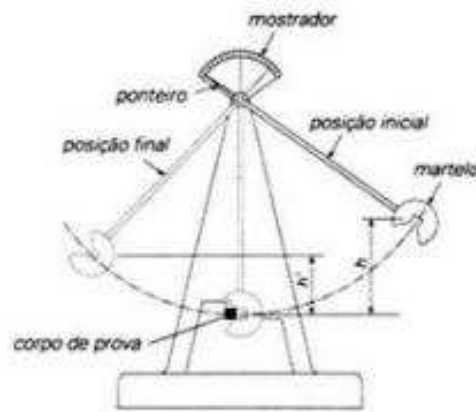
Outra característica que deve ser levada em consideração é que este tipo de ensaio pode ser destrutivo ou não, isso depende do tipo de resultado que queremos e como queremos que o material fique no final do ensaio. Das avaliações mais comuns temos as que envolvem tipo de cargas, a frequência que essa carga tem quando a aplicamos, temperatura, deformidade e tempo de desgaste, entre outras (ITEN 2018).

Os principais tipos de ensaios existentes no mercado são:

- **TRAÇÃO:** Aplicação de uma força uniaxial no material, tendendo a alongá-lo ate o momento de sua ruptura. Os corpos de prova (CP), em sua maioria, são circulares também podendo ser retangulares. Este tipo de ensaio destrói o corpo de prova (CALLISTER, 2016).
- **DUREZA:** Uma maneira rápida, não destrutiva e barata de se avaliar a resistência mecânica de um determinado material. Ela pode ser de dois tipo, estáticos e dinâmicos, onde os ensaios estáticos se consistem na impressão de uma pequena marca feita na face da peça, com uma ponta para penetração. Os principais ensaios de dureza estáticos são: DUREZA BRINNEL, ROCKWELL, e a para dureza e microdureza temos VICKER E KNOOP (MATOS, 2018).
- **IMPACTO:** O ensaio de impacto (figura 3) baseia-se em submeter um CP padronizado, a uma flexão gerado por um impacto por um martelo pendular.

Por este ensaio, podemos determinar a energia empregada na deformação e ruptura do corpo de prova, esta é a diferença entre as medidas da altura inicial do pendulo h e a máxima altura atingida pelo mesmo após à ruptura do CP. Quanto menor a energia absorvida, mais frágil será o material aquela solitação dinâmica (INFOSOLDA, 2018).

Figura 3 - Ensaio de Impacto



Fonte: INFOSODA 4.0. O portal Brasileiro da soldagem

- **DOBRAMENTO:** sujeição de um CP a uma deformação plástica por flexão. O CP apoiado sobre dois pontos, distanciados um do outro a uma metragem especificada, é dobrado por o auxílio de um cutelo, que emprega um esforço de flexão no centro do CP, ate que seja obtido o ângulo do dobramento especificado (INFOSOLDA, 2018).

2.4.2 Metalografia

Aplicada a todos os materiais e produtos metálicos não ferrosos e ferrosos a fim de se analisar microscopicamente sua estrutura. As técnicas metalográficas dos não ferrosos são, em princípio, semelhantes às utilizadas nas ligas ferrosas, por exemplo, aços e ferros fundidos, requerendo, entretanto, preparação mais meticulosa, alicerçadas na total atenção, paciência e imaginação do preparador (ROHDE,2010).

Segundo Colpaert (1951) a metalografia microscópica estuda os produtos metalúrgicos com o auxílio do microscópio, com o intuito de determinar seus constituintes e textura. Este estudo é realizado em superfícies previamente polidas e posteriormente atacada por um reagente ativo. Com o auxílio dessa técnica consegue-se tornar visível a textura microscópica do material, evidenciando assim os diversos grãos de que é constituído.

2.4.2.1 Ensaio Micrografico ou Micrografia

Baseia-se no estudo dos produtos metalúrgicos, com o auxílio do microscópio, onde pode-se verificar as fases presentes e identificar a granulação do material (tamanho de grão), o teor dos materiais que constituem a amostra, forma, natureza, quantidade, e a distribuição dos diversos constituintes ou de certas inclusões (ROHDE,2010).

2.4.2.2 Ensaio Macrográfico ou Macrografia

Examina-se a olho nu ou com pouca ampliação (até 50X) a aparência de uma superfície depois de polida e atacada por um reagente adequado. Por seu intermédio se tem uma idéia do conjunto, referente à homogeneidade do material, a distribuição e natureza das falhas, impureza e ao processo de fabricação, qualidade de solda profundidade de tratamentos térmicos entre outras características (ROHDE,2010).

3 METODOLOGIA

3.1 Classificação dos Métodos de Pesquisa

Segundo Gil (1991), uma pesquisa pode ser delimitada como um procedimento lógico e sistêmico que tem o intuito de permitir argumentos aos problemas expostos. Um trabalho científico se dá início quando não dispomos de informações convincentes e será preciso fazer o levantamento das mesmas para que possamos resolver problemas, ou quando essas informações existem mas é preciso fazer uma reorganização antes de considerá-las.

A pesquisa é produzida pelo meio de um processo com variadas fases, desde o início na definição do tema a ser explorado até a apresentação dos resultados e conclusões (SILVA; MENEZES, 2005).

3.1.1 De acordo com a Abordagem

Uma vez identificado o problema a ser analisado, o próximo estágio deve ser a escolha de um modelo para pesquisa que encaminhará as conseqüentes ações. Pertinente à abordagem do problema, esse modelo de pesquisa pode ser categorizado como qualitativo ou então quantitativo (GIL, 1991).

Definimos este trabalho como quantitativo, visto que as propriedades do material serão analisadas e quantificadas para que possamos fazer as considerações finais.

3.1.2 De acordo com o Objetivo

De acordo com os objetivos, as pesquisas podem ser especificadas como Exploratória, Descritiva e Explicativa (GIL, 1991).

De acordo com Gil (1991), pesquisas exploratórias têm como desígnio propiciar maior familiaridade com os problemas e o tornar possível, já que o mesmo

pode ser construído baseando-se em hipóteses ou premissas abarcando o levantamento bibliográfico, exemplos e citações que favorecem a compreensão do assunto, além de entrevistas com pessoas que já obtiveram o conhecimento prático do problema a ser pesquisado. Estudo de casos e pesquisas bibliográficas são muito aplicados em pesquisas explanatórias, uma vez que usam muito a intuição do pesquisador.

Pesquisa descritiva tem como base retratar minuciosamente o objetivo do estudo (problema, fenômeno, população) servindo-se de coletas e levantamentos de dados qualitativos, mas principalmente quantitativos (GIL, 1991).

Pesquisa explicativa busca reconhecer e explicar os motivos de determinado problema que será estudado, revelando a realidade ao explicar a razão das coisas. Habitua-se dar continuidade a pesquisas descritivas e exploratórias, uma vez que concedem uma visão mais acurada do assunto e tema exposto (GIL, 1991)

3.1.3 De Acordo com os Procedimentos Técnicos

De acordo com Gil (1991), procedimentos técnicos podem ser classificados em: Pesquisa Bibliográfica da qual é desenvolvida baseando-se em materiais já elaborados contidos principalmente de livros e artigos científicos; pesquisa documental, similar a bibliográfica, mas trata-se de matérias que ainda não foram ponderados criticamente; Pesquisa Experimental representa estabelecer formas de controle e observação dos resultados que a variável origina.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO

O estudo apresentado foi realizado a partir de análises de micrografia realizadas em corpos de provas obtidos por meio da fundição de alumínio com variações controladas no teor de ferro adicionado aos mesmos.

Os experimentos e análises que compõem este estudo foram realizados nos laboratórios de metalurgia e química do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté (UNITAU) com o objetivo de identificar as alterações na estrutura cristalina do alumínio provocadas pela adição de ferro.

De acordo com Moraes e Tenório (2003), a contaminação do ferro pode gerar a mudança na seqüência de solidificação, possibilitando o surgimento de fases primárias compostas de ferro antes da cristalização dos grãos de alumínio. Essas fases que contem ferro, por se desenvolverem antes do alumínio, podem crescer livremente, dando forma a cristais grosseiros na fase líquida.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

- Definição de dados para controle
- Preparo dos moldes
- Fundição
- Preparação das amostras para análises
- Análises

4.2.1 Definição de dados para controle

A liga de alumínio 3104 é a mais empregada na fabricação de latas de bebidas. Segundo a Metalhaga (2018), a porcentagem de ferro na composição da liga de alumínio 3104 é de 0,8% (Tabela 6).

Tabela 6 - Composição química das ligas de alumínio

LIGA	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	V	Ti	Al
1050	0,25	0,40	0,05	0,05	0,05		0,05	0,05		Restante
1100	0,95 Si-Fe		0,05-0,20				0,10			Restante
1200	1,00 Si-Fe		0,05	0,05			0,10		0,05	Restante
2011	0,40	0,70	5,0-6,0				0,30			Restante
2017	0,20-0,80	0,70	3,50-4,50	0,40-1,0	0,40-0,80	0,10	0,25		0,05	Restante
2024	0,50	0,50	3,80-4,90	0,30-0,90	1,20-1,80	0,10	0,25		0,15	Restante
3003	0,60	0,70	0,05-0,20	1,0-1,50			0,10			Restante
3104	0,60	0,80	0,05-0,25	0,80-1,40	0,80-1,30		0,25	0,05	0,10	Restante
3105	0,60	0,70	0,30	0,30-0,80	0,20-0,80	0,20	0,40		0,10	Restante
5052	0,25	0,40	0,10	0,10	2,20-2,80	0,15-0,35	0,10			Restante
5083	0,40	0,40	0,10	0,40-1,0	4,0-4,90	0,05-0,25	0,25		0,15	Restante
5086	0,40	0,50	0,10	0,20-0,70	3,50-4,50	0,05-0,25	0,25		0,15	Restante
5754	0,25	0,40	0,10	0,10	2,20-2,80	0,15-0,35	0,10			Restante
6061	0,40-0,80	0,70	0,15-0,40	0,15	0,80-1,20	0,04-0,35	0,25		0,15	Restante
6062	0,70-1,30	0,50	0,10	0,40-1,0	0,60-1,20	0,25	0,20		0,10	Restante
6351	0,70-1,30	0,50	0,10	0,40-0,80	0,40-0,80		0,20		0,20	Restante
7021	0,25	0,40	0,25	0,10	1,20-1,80	0,05	5,00-6,00		0,10	Restante
7075	0,40	0,50	1,20-2,0	0,30	2,10-2,90	0,18-0,28	5,10-6,10		0,20	Restante

Fonte: METALTHAGA – Metal Service Center – Ago/18

Foram definidas 02 amostras com diferentes percentuais de Fe para análise:

Amostra A: 5g de alumínio limpo obtido a partir da fundição de latas recicladas contendo 0,8% de Fe contidos na liga 3104 acrescido de 0,4% de Fe.

Amostra B: 5g de alumínio limpo obtido a partir da fundição de latas recicladas contendo 0,8% de Fe contidos na liga 3104 acrescido de 1,2% de Fe.

4.2.2 Preparo dos moldes

Foram confeccionados moldes a partir do método de cera perdida utilizando material refratário satin cast 20 kerr seguindo os seguintes passos. (Figura 4)

- Adição de três partes do material refratário para uma parte de água;
- Mistura das partes até que a mesma se tornasse homogênea;
- Envasamento da mistura em copos descartáveis. Utilizado copos de café (50 ml);
- Adição de macho (vela) para dar-se forma ao molde. Calculado a partir dos parâmetros estabelecidos nos dados de controle;
- Depois de sólidos, levados ao forno por volta de 05 minutos para derretimento da cera e secagem dos moldes.

Figura 4 - Preparo dos moldes

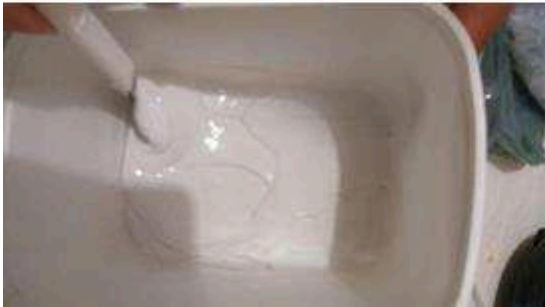
a) Material refratário, água e macho



b) Mistura das partes



c) Mistura homogênea



d) Material envasado e com macho



Fonte: Próprio autor

4.2.3 Fundição

Para fundição do alumínio, o aparato experimental (Figura 5) utilizado foi um forno elétrico, onde o Al e o Fe foram fundidos a uma temperatura de 900°C mantendo um intervalo de 1h e 30 min após a estabilização da temperatura. Foram utilizados para a fusão cadinho de cerâmica com volume de 150ml e capacidade de até 300g de alumínio. Em paralelo os moldes foram aquecidos para retirada de umidade antes do vazamento para se evitar trincas subseqüentes da diferença de temperatura. (Figura 6; 7 e 8).

Figura 5 - Materiais utilizados na fundição



Fonte : Próprio autor

Figura 6 - Materiais para fundição e secagem

a) Verificação dos materiais



b) Moldes e cadinhos



Fonte: Próprio autor

Figura 7 - Retirada dos moldes

a) Retirada dos moldes



b) Moldes secos



Fonte: Próprio autor

Figura 8 - Vasamento

a) Retirada do cadinho



b) Vazamento nos moldes



Fonte: Próprio autor

4.2.4 Preparação das amostras para análises

Depois do vazadas e desmoldadas, as amostras passaram pelo processo de preparo para análise. Para isto utilizamos o método do embutimento que é de essencial importância para ensaios metalograficos.

4.2.4.1 Embutimento

Para este trabalho as amostras foram embutidas em baquelite a quente por meio de uma prensa apropriada. Utilizada TEMPOPRESS 2 – STRUERS – PANAMBRA. (Figura 9)

Figura 9 - Máquina de Prensa



Fonte : Próprio autor

4.2.4.2 Lixamento

O lixamento foi realizado respeitando a granulometria das lixas do mais baixo para o mais alto. Usou-se lixas dos granulaturas 180, 320, 600, 800 e 1200. (Figura 10)



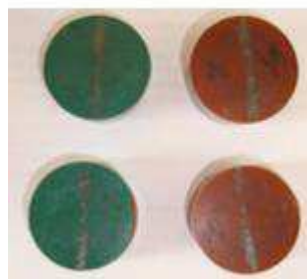
Fonte : Próprio autor

4.2.4.3 Linha de referencia

Para que fosse possível haver um padrão no lixamento, traçou-se um ponto de referencia para ser seguido nos processos seguintes (Figura 11)

Figura 11 - Ponto de referencia na amostra

a) Traço referência



Fonte: Próprio autor

4.2.4.4 Amostras confeccionadas

Depois que as amostras saíram da prensa ficaram com a aparência representada abaixo (Figura 12). Isso ocorreu devido à irregularidade na superfície da amostra.

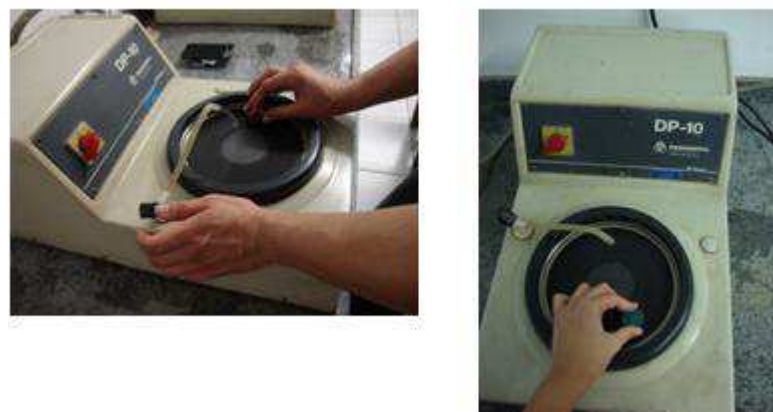


Fonte: Próprio autor

4.2.4.5 Equipamento de lixamento

No presente trabalho, as amostras foram lixadas na máquina DP-10 (Figura 13). As lixas foram substituídas a cada passo no mesmo equipamento

Figura 13 - Equipamento utilizado (DP – 10 - STRUERS – PANAMBRA)



Fonte: Próprio autor

4.2.4.6 Lixamento de desbaste

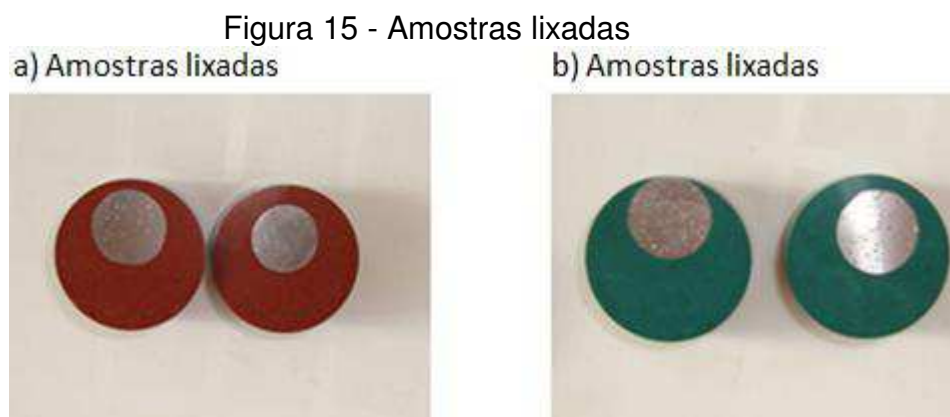
Para realização dos estudos a amostra deve-se estar com sua superfície mais lisa e sem imperfeições possíveis (Figura 14). Por isto esse processo de desbaste é fundamental para a perfeita homogeneidade da peça



Fonte: Próprio autor

4.2.4.7 Amostras semi-acabadas

Depois de passar por todas as lixas acima citadas, as amostras devem aparentar algo como exemplificado na figura 15. Sua superfície é lisa e não há imperfeições.



Fonte: Próprio autor

4.2.4.8 Limpeza da superfície da amostra

Como a amostra apresentou irregularidades na superfície foi preciso realizar uma lavagem mais minuciosa para que nenhuma partícula anterior interferisse no processo seguinte. Para isto, foi utilizado a lavadora ultra-sônica MaxiClean USC 700 da Unique (Figura 16).

Figura 16 - Limpeza da amostra

a) Lavadora Ultra-Sônica



b) Amostra no processo de limpeza



Fonte: Próprio autor

4.2.4.9 Polimento

Para melhor acabamento superficial foi realizado polimento mecânico com o auxílio de pasta de alumina. A pasta escolhida para o polimento foi a de alumina com granulatura de 1 micron e 0,5 micron (Figura 17).

Figura 17 - Granulatura Alumina para polimento

a) Granulatura de 1 micron



b) Granulatura de 0,5 micron



Fonte: Próprio autor

Utilizou-se, como citado anteriormente, duas granulaturas para o polimento, cada amostra ficou em torno de 3 a 4 minutos nesta fase. Ao contrario do passo de lixamento, onde a amostra dever-se-ia manter imóvel, ou com a menor variação possível, nesta, deve-se ficar movimentando a amostra no sentido contrario do disco para que se evitar arranhões chamados de “cometa” (uma partícula risca a amostra deixando algo parecido com um rabo de cometa). O equipamento utilizado foi o mesmo do lixamento a DP – 10 - STRUERS – PANAMBRA, a diferença era entre a superfície de contato, para este passo utilizou-se um pano de polimento. (Figura 18). Devemos lembrar também que nesse passo não era necessário deixar uma corrente de água continua, esporadicamente era adicionado água para que a mostra pudesse deslizar com maior facilidade.

Figura 18 - Polimento das amostras

a) Material utilizado



b) Amostra sendo polida



Fonte: Próprio autor

4.2.4.10 Ataque Químico

Para melhor visualização e identificação dos grãos em microscópio utilizou-se o ataque químico por Lixívia de solda que é a mistura de 10g hidróxido de sódio 90 ml água destilada (Figura 19). Depois de realizada a mistura das partes é possível observar que se obteve uma mistura básica, isso é bem visível se comprado a água normal (Figura 20).

Figura 19 - Mistura química

a) Pesagem do hidróxido



b) Hidróxido de sódio



Fonte: Próprio autor

Figura 20 - Reagente

a) Mistura hidróxido
+ Água Destilada



b) Mistura básica



Fonte: Próprio autor

4.2.5 Análises

Para averiguação dos resultados obtidos nas amostras fundidas foi-se aplicado o métodos de análise da micrografia, onde se foi analisado o contorno de grão para se averiguar a diferença na estrutura. A análise foi realizada com o auxílio do microscópio Scope.A1 da Zeiss com ampliação de 5 à 100x (figura 21).

Figura 21 - Microscópio de análise

a) Microscópio Scope.A1



b) Câmera AxioCam ERc5s

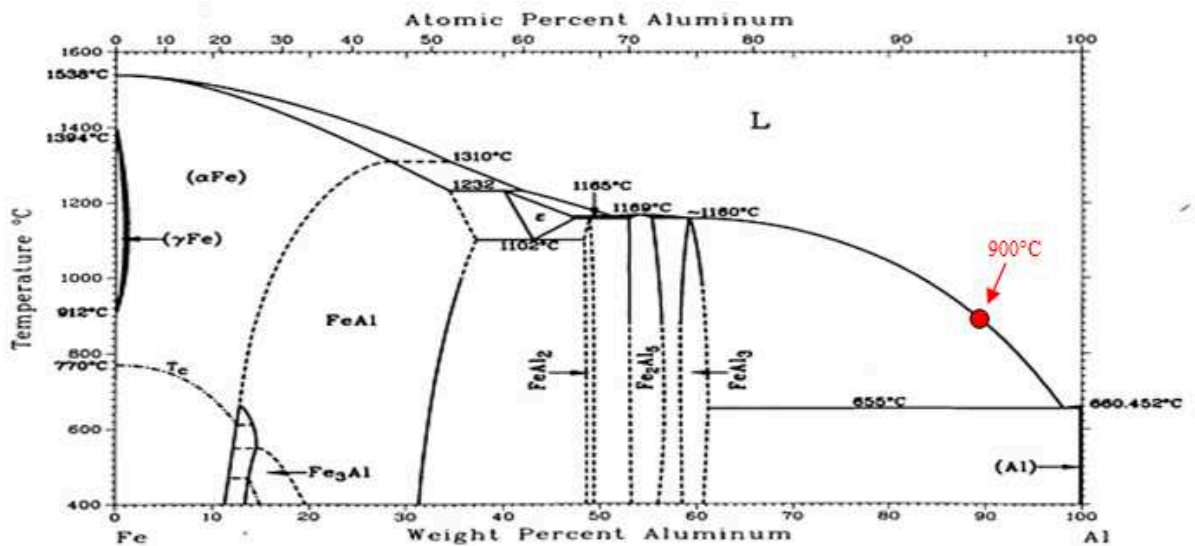


Fonte: Próprio autor

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma das primeiras constatações observada no processo se deu durante a fase de fundição do material, onde a temperatura necessária para a completa dissolução do ferro no alumínio foi de 900°C, valor consideravelmente acima da temperatura de fusão do alumínio serie 3104 de 660°C como é possível se verificar no diagrama de fases Ferro x Alumínio (figura 22).

Figura 22 - Diagrama de Fases Ferro x Alumínio



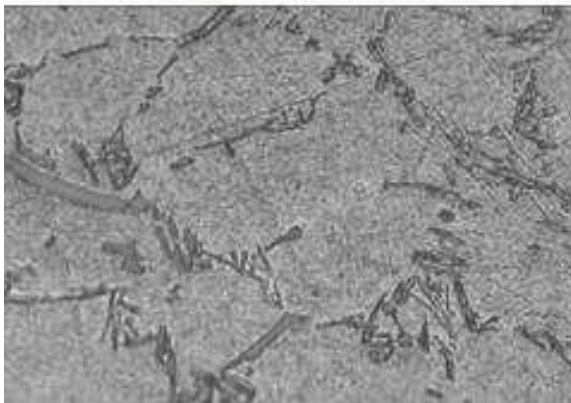
Fonte: Adaptado pelo autor

Observou-se também a formação de poros (bolhas) por toda a superfície das amostras. Ela pode ter sido ocasionada devido a impurezas na fundição, a não completa homogeneização do material ou mesmo a relativa demora no vazamento. Essa característica não atrapalhou a realização das análises, mas tornou-se curiosa devido a sua repetibilidade.

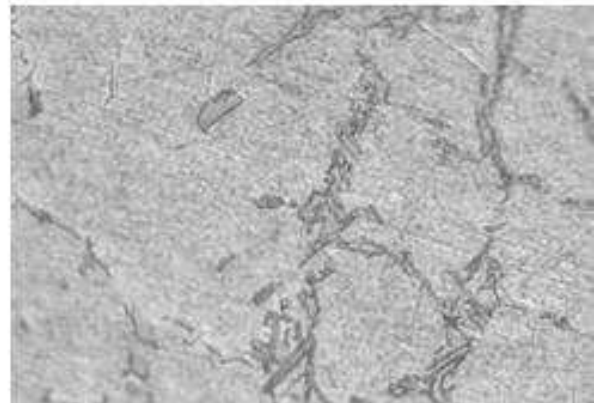
O ponto de maior relevância foi a precipitação da fase de ferro observadas por meio das análises micrográficas presente por toda a extensão das amostras. Estas exemplificadas por meio da figura 23, para amostra com 1,2% de Fe e figura 24, para amostra com 2,0% de Fe.

Figura 23 - Amostra 1,2% Fe

Ponto a - ampliação 10X



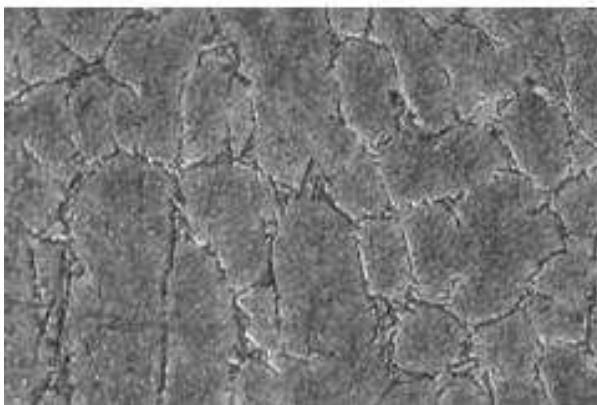
Ponto b - ampliação 10X



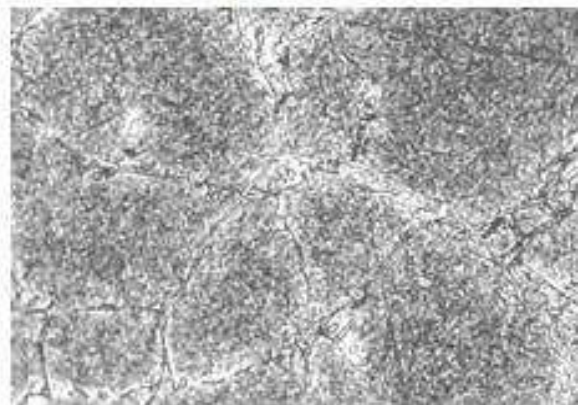
Fonte: Próprio autor

Figura 24 - Amostra 2,0% Fe

Ponto a - ampliação 5X



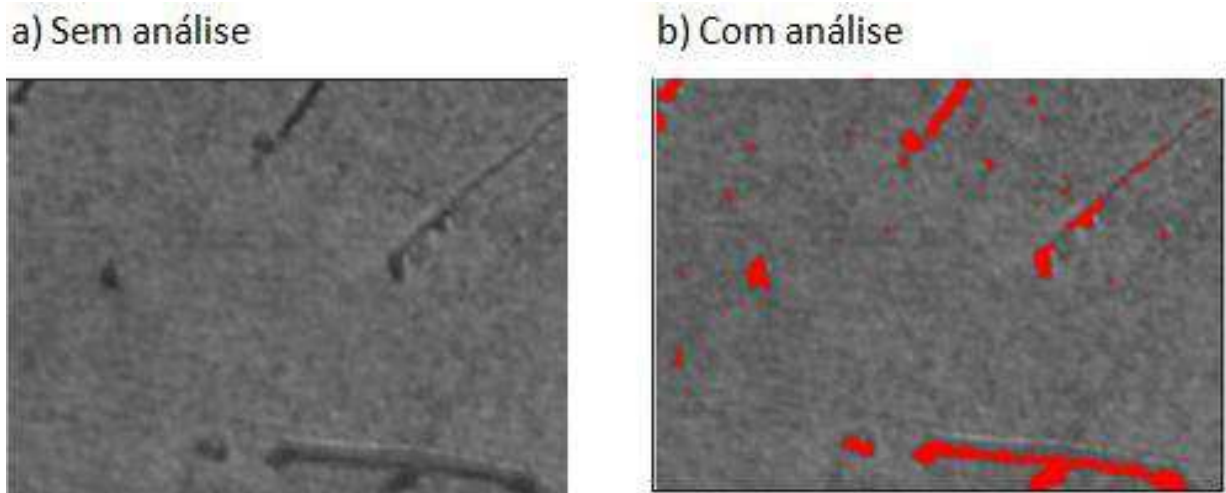
Ponto b - ampliação 10X



Fonte: Próprio autor

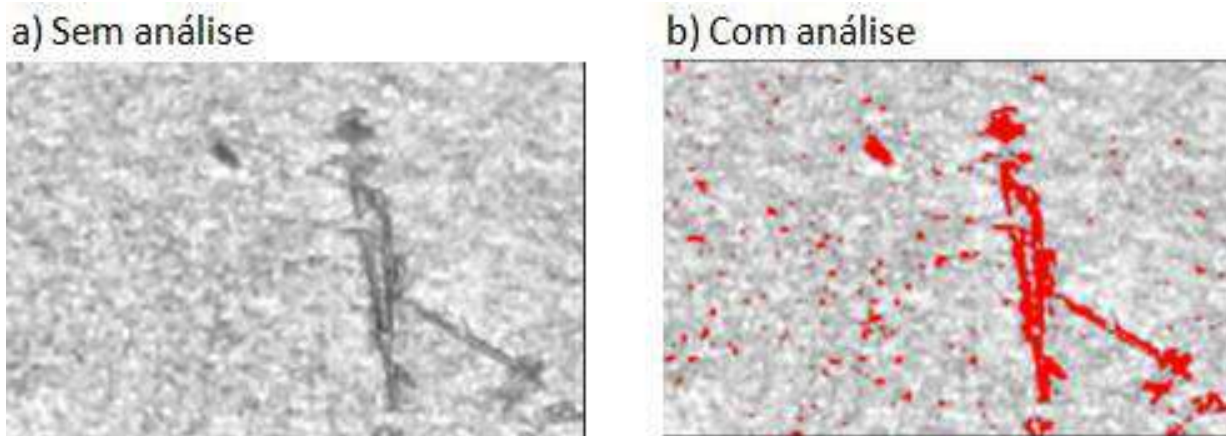
Com o auxílio do programa ImageJ, as imagens obtidas pelo microscópio foram submetidas a análise e se foi possível contabilizar a porcentagem dessa fase pela distinção de cores, método utilizado pelo programa para obtenção de resultados. Na figura 25 pode-se observar as análises obtidas pela amostra com teor de ferro adicionado de 1,2% e na figura 26, análise obtida pela amostra com teor de ferro adicionado de 2,0%.

Figura 25 – Precipitação de fase – 3,04%



Fonte: Próprio autor

Figura 26 - Precipitação de fase – 5,25%



Fonte: Próprio autor

6 CONCLUSÃO

Em função dos resultados obtidos após análises da microestrutura que as amostras foram submetidas, pode-se concluir que:

- 1) O ferro forma fases intermediárias que alteram o material final.
- 2) A contaminação do ferro gera mudanças na sequência de solidificação, possibilitando o surgimento de fases primárias compostas de ferro antes da cristalização dos grãos de alumínio.
- 3) As fases que contem ferro, por se desenvolverem antes do alumínio, podem crescer livremente, dando forma a cristais grosseiros na fase líquida.

REFERÊNCIAS

ABAL, **Propriedades do Alumínio**, Disponível em <http://abal.org.br/alumínio/caracteristicas-quimicas-e-fisicas/>, acesso em 04/03/2018 as 12h e 52min

ABRALATAS, **Lata de alumínio**, Disponível em <http://www.abralatas.org.br/#containerLata> acesso em 21/04/2018 as 17h e 18min

BORGES, M. M. **Fundição**. Disponível em http://mmborges.com/processos/Conformacao/cont_html/fundicao.htm, acesso em 25/02/2018 as 16h e 58 min

BOTELHO, V. **Introdução a fundição**. Literatura Mecânica. Disponível em <https://literaturamecanica.wordpress.com/2011/07/22/introducao-a-fundicao/> acesso em 25/02/2018 as 17h 10 min

CALLISTER, W. D; RETHWISCH, D. G. , **Ciência e engenharia de Materiais. Um Introdução**, 2016.

CEMPRE, **Latas de Alumínio**. Disponível em <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/5/latas-de-alumínio>, acesso em 21/04/2018 as 16h e 01min

COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 3. ed. São Paulo: Editora Edigard Blüche Ltda 1974.

GIL, A. C., **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3ª edição, São Paulo. Editora Atlas, 1991.

INFOESCOLA, **Bauxita**. Disponível em <https://www.infoescola.com/rochas-e-minerais/bauxita/> acesso em 21/04/2018 as 17h e 32 min

INFOESCOLA, **Ensaio de Tração**. Disponível em <https://www.infoescola.com/fisica/ensaio-de-tracao/>. Acesso em 16/04/2018 as 11h e 02min

INFOSOLDA, **Ensaio Mecânico: Dobramento**. Disponível em <http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/ensaios-nao-destrutivos-e-mecanicos/213-ensaio-mecanico-dobramento.html> acesso em 16/04/2018 as 11h e 16min

INFOSOLDA, **Ensaio Mecânico: Impacto**. Disponível em <http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/ensaios-nao-destrutivos-e-mecanicos/210-ensaio-mecanico-impacto.html> Acesso em 17/04/2018 as 21h e 23min

ITEN, **Ensaio Mecânicos**. Disponível em <http://www.itensp.com.br/ensaios-mecanicos> acesso em 11/04/2018 as 22h e 49min

MATOS, L. G. P., **Ensaio de Dureza**. Disponível em <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAMakAH/ensaio-dureza> acesso em 16/04/2018 as 11h e 10min

METALTHAGA, **Composição química das ligas de alumínio**. Disponível em <http://metalthaga.com.br/wp-content/uploads/2015/11/1-Composicao-Quimica-das-Ligas-de-Aluminio.pdf> acesso em 18/08/2019 as 15h e 57min

MORAES, H. L. ; TENÓRIO, J. A. S., **Remoção de ferro do banho de alumínio de sucata por filtragem**. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672003000400010, acesso em 21/04/2018 as 16h e 32 min

ROHDE, R A., **Metalografia Preparação de Amostras**. Disponível em <http://www.urisan.tche.br/~lemm/metalografia.pdf> acesso em 18/08/2018 as 19h 09 min

SILVA E. L., MENEZES E. M., **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4ª edição revisada e atualizada, Florianópolis. UFSC, 2005.

SHOCKMETAIS, **Propriedades Mecânicas do Alumínio**. Disponível em <http://www.shockmetais.com.br/especificacoes/aluminio/pmec> acesso em 09/09/2018 as 21h 51min

TOTAL MATERIA, **Graus de alumínio**. Disponível em <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=Home&LN=PT> acesso em 09/09/2018 as 20h 15min

VERRA, G.O., KURZAWA, U., Pescador, W.A., **Reciclagem de latas de alumínio Visando Melhor rendimento e Qualidade Metalúrgica no Alumínio Obtido**. Disponível em <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10635/> acesso em 04/03/2018 as 12h e 52min