

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS  
ENGENHARIA MECÂNICA  
MICHELLE MONTICELI MORAES**

**ANÁLISES DE MELHORIAS EM TAMPA DE CAIXA DE PASSAGEM DE  
TRANSFORMADOR ELÉTRICO DE LIGA DE ALUMÍNIO SAE 305 FUNDIDA POR  
GRAVIDADE**

**Varginha  
2019**

**MICHELLE MONTICELI MORAES**

**ANÁLISES DE MELHORIAS EM TAMPA DE CAIXA DE PASSAGEM DE  
TRANSFORMADOR ELÉTRICO DE LIGA DE ALUMÍNIO SAE 305 FUNDIDA POR  
GRAVIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas Unis para obtenção de grau de Bacharel sob orientação do Prof. Me. Fabiano Farias de Oliveira e Coorientação de Waldir Maia.

**Varginha  
2019**

**MICHELLE MONTICELI MORAES**

**ANÁLISES DE MELHORIAS EM TAMPA DE CAIXA DE PASSAGEM DE  
TRANSFORMADOR ELÉTRICO DE LIGA DE ALUMÍNIO SAE 305 FUNDIDA POR  
GRAVIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas Unis para obtenção de grau de Bacharel sob orientação pela banca examinadora:

Aprovada em    /    /

---

Prof.

---

Prof.

---

Prof.

OBS.:

Dedico este trabalho à todos aqueles que  
contribuíram para que este fosse possível de ser  
realizado.

Dedico este trabalho à todos meus entes  
queridos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço meus pais, minha irmã, meus familiares e meus amigos por todo apoio dado para que eu conseguisse finalizar este projeto. Agradeço a empresa, por ter fornecido todas as informações necessárias, dados, por ter me dado espaço para ajudar e todo apoio que foi necessário. Agradeço meu orientador, pelo conhecimento adicionado, revisões feitas e por ter creditado em mim confiança. Agradeço meu coorientador, que se manteve ao meu lado durante todo o processo prático deste trabalho e nas revisões, além de todo conhecimento compartilhado.

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação.”  
Simone de Beauvoir

## RESUMO

Este trabalho descreve análises de melhorias em uma tampa, utilizada na caixa de passagem, equipamento de transformador de alta potência, sendo esta de liga de alumínio SAE 305 fundida por gravidade/em coquilha. Tal abordagem se faz necessária devido a uma quantidade razoável das peças fundidas apresentarem defeitos, como rechupe, brocas e porosidades, que são evidenciados após serem usinados. O objetivo deste trabalho é, por meio de testes e análises comparadas a artigos metodológicos de metalografias que podem ser aplicadas, análises de composição química dos lotes recebidos, testes no tratamento do alumínio no cadinho e observação da temperatura de vazamento, encontrar um método que repare ou melhore as aparições destes defeitos. Através dos testes realizados no tratamento, observou-se eficácia na utilização de nitrogênio na diminuição dos defeitos, entretanto devido a seu alto custo torna-se uma alternativa inviável. Portanto, a amostra 6 (50g de escorificante (pó) + 100g de desgaseificante (pó)), também apresentou um resultado satisfatório, com diminuição de aproximadamente 80% dos defeitos anteriores; além de ser financeiramente viável, sendo seu custo 60% mais barato que o nitrogênio.

**Palavras-chave:** Alumínio.Melhorias.Ligas de Alumínio.

## **ABSTRACT**

*This work describes improvements in a cover, used in the junction box, high power transformer equipment, which is made of gravity cast / cupped SAE 305 aluminum alloy. Such an approach is necessary because a reasonable amount of castings presents defects such as shriveling, drills and porosities, which are evident after being machined. The objective of this work is, through tests and analysis compared to methodological articles of metallographies that can be applied, chemical composition analysis of the received batches, tests on the treatment of aluminum in the crucible and observation of the leakage temperature, to find a method that will repair or improve the appearances of these defects. Through the tests performed in the treatment, it was observed effectiveness in the use of nitrogen in the reduction of the defects, however due to its high cost becomes an unviable alternative. Therefore, sample 6 (50g scorifier (powder) + 100g degasser (powder)) also presented a satisfactory result, with approximately 80% reduction of the previous defects; besides being financially viable, its cost is 60% cheaper than nitrogen.*

**Keywords:** *Aluminum.Improvements.Aluminum Alloys.*

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificação das Ligas de Alumínio .....	18
Tabela 2 - Composição Química SAE 305.....	19
Tabela 3 - Propriedades Físicas e Mecânicas .....	20
Tabela 4 - Características Tecnológicas .....	20

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Processos da mineração	14
Figura 2 - Bauxita em seu estado bruto	15
Figura 3 - Tipos de ligas de alumínio	17
Figura 4 - Microporosidade na peça	23
Figura 5 - Bolhas de ar na peça	23
Figura 6 - Cavidade na peça	24
Figura 7 - Rechupes na peça	24
Figura 8 - Microrechupes na peça	25
Figura 9 - Termômetro submerso no cadinho	31
Figura 10 - Termômetro inteiro e após medição no cadinho	31
Figura 11 - Tampa da caixa de passagem em seu estado bruto	32
Figura 12 - Serra elétrica utilizada	33
Figura 13 - Torno mecânico ROMI e fresadora FIRST utilizados	33
Figura 14 - Lixadeira manual utilizada	35
Figura 15 - Equipamento de polimento e frasco com alumina	35
Figura 16 - Ácido Fluorídrico	36
Figura 17 - Microscópio utilizado	37
Figura 18 - Conjunto completo caixa de passagem do transformador elétrico	38
Figura 19 - Tampa da caixa de passagem referente a amostra 1	39
Figura 20 - Tampa da caixa de passagem referente a amostra 2	39
Figura 21 - Tampa da caixa de passagem referente a amostra 3	40
Figura 22 - Tampa da caixa de passagem referente a amostra 4	40
Figura 23 - Tampa da caixa de passagem referente a amostra 5	41
Figura 24 - Tampa da caixa de passagem referente a amostra 6	41
Figura 25 - Microestrutura do lingote de alumínio, lote 190113, Fevereiro de 2019.	42
Figura 26 - Microestrutura do lingote de alumínio, lote 190434, Abril de 2019.	43
Figura 27 - Microestrutura do lingote de alumínio, lote 190528, Maio de 2019.	43
Figura 28 - Microestrutura da amostra 1	44
Figura 29 - Microestrutura da amostra 2	44
Figura 30 - Microestrutura da amostra 3	45
Figura 31 - Microestrutura da amostra 4	45
Figura 32 - Microestrutura da amostra 5	46
Figura 33 - Microestrutura da amostra 6	46

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA — Aluminum Association

ANSI — American National Standards Institute

ASTM — American Society for Testing and Materials

Cu — Cobre

DIN — German Industrial Standard

FED — Federal Specifications

JIS — Japanese Industrial Standard

Mg — Magnésio

MIL — Military Specifications

Mn — Manganês

NADCA — North American Die Casting Association

Ni — Níquel

SAE — Society of Automotive Engineers

Si — Silício

Ti — Titânio

UNS — Unified Numbering System

Zn — Zinco

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 ALUMÍNIO.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1. Ligas de Alumínio.....</b>	<b>16</b>
2.1.1 Liga de Alumínio Al-Si.....	17
2.1.2 Liga de Alumínio SAE 305 .....	19
<b>3 FUNDIÇÃO.....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 Defeitos do processo de fundição.....</b>	<b>22</b>
<b>4 TRATAMENTOS NO METAL LÍQUIDO .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1 Degaseificação .....</b>	<b>26</b>
<b>4.2 Gás reativo e inerte.....</b>	<b>27</b>
<b>4.3 Grão da microestrutura .....</b>	<b>27</b>
4.3.1 Fatores que influenciam no tamanho do grão.....	28
4.3.2 Medida do tamanho do grão .....	28
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
<b>5.1 Fluxograma de processos .....</b>	<b>29</b>
<b>5.2 Descrição dos processos .....</b>	<b>30</b>
5.2.1 Forno.....	30
5.2.1.1 Parâmetros operacionais da fundição .....	30
5.2.1.2 Controle de temperatura .....	30
5.2.1.3 Aferição dos equipamentos e acessórios .....	31
5.2.2 Amostras.....	31
5.2.2.1 Introdução das amostras .....	32
5.2.2.2 Preparação metalográfica .....	32
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>38</b>
<b>6.1 Resultados dos tratamentos feitos.....</b>	<b>38</b>
<b>6.2 Resultados da metalografia.....</b>	<b>42</b>
6.2.1 Análises do lingote .....	42
6.2.2 Análises das microestruturas das amostras.....	44
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Este estudo de caso aborda análises de melhorias em liga de alumínio SAE 305 fundido por gravidade/em coquilha. As aparições de brocas, porosidades e rechupes nas peças usinadas são problemas mais usuais, sendo estes possíveis defeitos de fundição, composição química dos lingotes de alumínio, produtos usados para melhorar o material no cadinho e temperatura de vazamento.

A busca pelo aumento da qualidade nos produtos feitos a partir desta liga, além de maior conhecimento e possível controle de defeitos, são motivos que justificam este projeto. Ressaltando a importância do trabalho para a prática e estudo sobre ligas de alumínio, atingindo o público interessado.

Utilizando-se de testes, análises e comparações, será possível encontrar melhor maneira para controle e/ou melhora no aparecimento de defeitos nas peças.

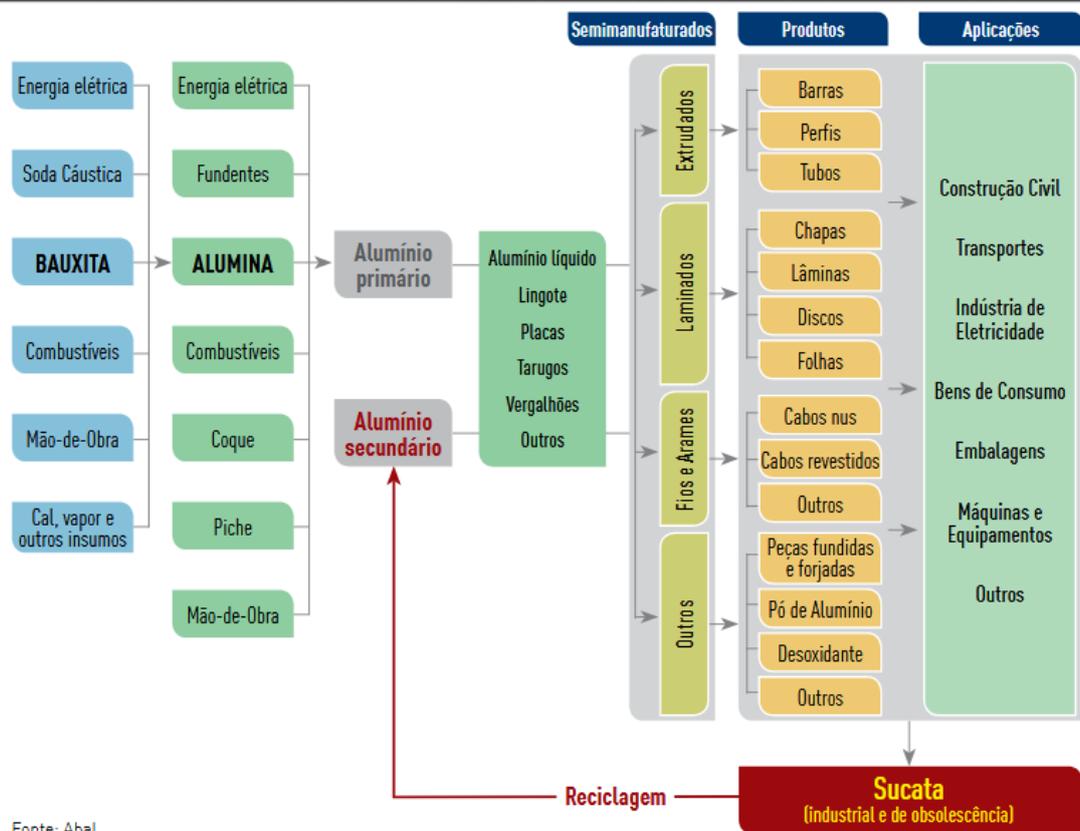
No capítulo inicial serão apresentados históricos e informações sobre o alumínio e suas ligas; no segundo o enfoque será a fundição e os defeitos decorrentes deste; no terceiro os tratamentos feitos para melhoramento do metal líquido no cadinho, os grãos da microestrutura do alumínio após o vazamento e os fatores de influência nos grãos; no quinto capítulo será demonstrada a metodologia usada para os testes; e no sexto serão expostos os resultados das análises feitas.

## 2 ALUMÍNIO

O alumínio é utilizado de várias formas e empregado em muitas áreas, e de acordo com Emsley (1998) as principais propriedades são: baixa densidade, maleabilidade e ductilidade, alta condutividade elétrica, leveza, resistência a corrosão, entre outros.

Sua origem vem da bauxita, matéria prima retirada na mineração; em seguida, com uso de tratamentos de beneficiamento, refinação e retirada de impurezas, há a formação da Alumina, e por fim, através de eletrólise obtém-se o alumínio primário.

Figura 1- Processos da mineração



Fonte: Abal.

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ALUMÍNIO (2017).

Para a produção de 2 toneladas de alumina são necessárias, aproximadamente, de 5 a 7 toneladas de bauxita, que depois se convertem em 1 tonelada de alumínio (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ALUMÍNIO, 2017, p. 10).

Figura 2 - Bauxita em seu estado bruto



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ALUMÍNIO (2017).

O Departamento Nacional de Produção Mineral (2015) destaca que o Brasil é o terceiro maior produtor de bauxita, estimada em 35 milhões de toneladas, 14,1% da mundial que é 274 milhões de toneladas. Sendo o primeiro lugar ocupado pela Austrália, com 80,0 milhões de toneladas e a China em segundo, com 60 milhões de toneladas (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2016, p. 33).

O Brasil também ocupa o 3º lugar em reservas de bauxita, totalizando 2,6 bilhões de toneladas, sendo a mundial de 28,0 bilhões de toneladas (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2016, p. 33).

De acordo com Mártires (2009), 92% da bauxita extraída é direcionada para produção de alumina e o restante é empregada nas indústrias químicas, sendo estas de sulfato de alumínio, de abrasivos e de cimentos.

No Brasil, a Albras Aluminium, parcialmente pertencente à Norsk Hydro, reduziu 50% de sua capacidade anual de 460.000 toneladas desde meados de abril de 2018, depois que seu fornecedor de matérias-primas, Alunorte, foi forçado a operar com meia capacidade desde março de 2018 devido a restrições impostas pelas autoridades ambientais brasileiras em meio a preocupações com a contaminação da água. (DEPARTMENT OF INDUSTRY, INNOVATION AND SCIENCE, 2019, p.87).

De forma semelhante O'Neill (1998) diz que o alumínio é o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre e, como o oxigênio e o silício, está amplamente disperso nos minerais de silicato. Além disso, também é parte da composição química de algumas pedras preciosas, dentre elas: Rubi, safira, granada, jade e topázio.

Segundo a Associação Brasileira de Alumínio (2011), o processo de mineração, da retirada da Bauxita, pode-se obter da seguinte maneira:

Quadro 1 - Passos para obtenção da Bauxita

Passo 1	Remoção planejada da vegetação e do solo orgânico;
Passo 2	Retirada das camadas superficiais do solo (argilas e lateritas);
Passo 3	Britagem, para a redução do tamanho, depois lavagem do minério com água para reduzir (quando necessário) o teor de sílica contida na parcela mais fina e por fim a secagem.

Fonte: adaptado de Associação Brasileira de Alumínio (2011).

### 2.1. Ligas de Alumínio

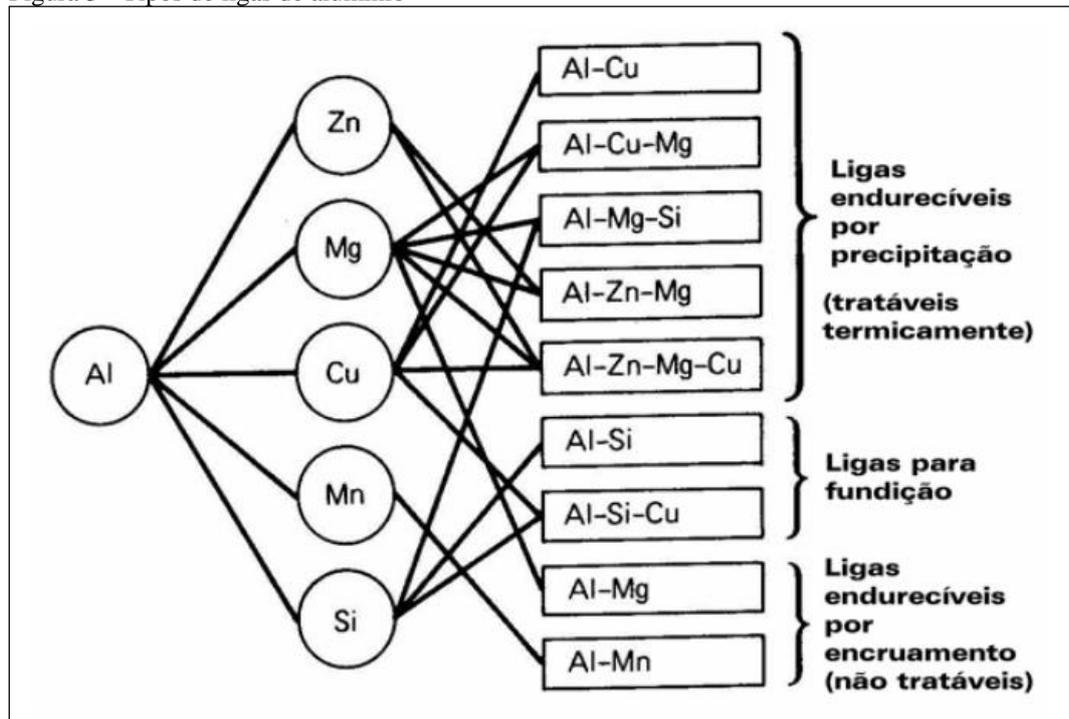
De acordo com SENAI (2010), a introdução de elementos no metal líquido melhora sensivelmente as características de fundição e as propriedades mecânicas do alumínio, e, são estes: Si, Cu, Mg, Zn, Ti, Ni, Mn, entre outros. Entre as principais propriedades alteradas estão: economia de peso, boa resistência a algumas corrosões, boa usinabilidade, etc.

As ligas de alumínio fundidas são classificadas conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019) de acordo com as suas composições químicas:

- a) Al-Si – Alumínio-Silício;
- b) Al-Cu – Alumínio-Cobre;
- c) Al-Mn – Alumínio-Manganês;
- d) Al-Zn – Alumínio-Zinco;
- e) Al-Mg – Alumínio-Magnésio.

Podendo também ter classificação para tratáveis ou não e para fundição, como mostrado na figura abaixo:

Figura 3 - Tipos de ligas de alumínio



Fonte: LA ALUMÍNIOS (2019)

Segundo Zangrandi (2008), pode-se apontar as características dos principais elementos antes citados:

- O zinco acentua a resistência mecânica do alumínio ao proporcionar o endurecimento por precipitação natural e artificial da liga;
- O cobre, além de propiciar o endurecimento por precipitação natural, aumenta a resistência mecânica e diminui a resistência à corrosão, a ductilidade e a soldabilidade da liga;
- O magnésio age aumentando a resistência à corrosão da liga em água salgada, além de reduzir o endurecimento por deformação e a temperatura de fusão. Se adicionado junto ao Si, propiciam endurecimento por precipitação da liga;
- O silício melhora a ductilidade, a resistência mecânica, a temperatura de fusão, além de aumentar a fluidez da liga;
- O manganês contribui com melhora da resistência mecânica do alumínio comercialmente puro, bem como da resistência à corrosão, e com pequena redução da ductilidade.

### 2.1.1 Liga de Alumínio Al-Si

É necessário destacar as propriedades e características das ligas Al-Si.

Ligas Al-Si compõem aproximadamente 95% dos componentes fundidos de alumínio, sendo as mais usadas:

Tabela 1 - Especificação das Ligas de Alumínio

Comercial	UNS	ANSI AA	ASTM B85	Antigo SAE J452	Federal QQ-A-591 (B)	DIN 1725	JIS H 5302
360	A03600	360.0	SG100B	-	(B)		
A360 (A)	A13600	A360.0	SG100A	309	(B)	233	ADC3
380 (C)	A03800	380.0	SC84B	308	(B)		
A380 (A) (C)	A13800	A380.0	SC84A	306	(B)	226A (E)	ADC10 (C)(D)
383	A03830	383.0	SC102A	383	(B)	226A (E)	ADC12 (C)(D)
384	A03840	384.0	SC114A	303	(B)		ADC12 (C)(D)
A384 (A)	-	A384.0	-	-	(B)		ADC12 (C)(D)
B390	A23900	B390.0	SC174B	-	(B)		
13	A04130	413.0	S12B	-	(B)		
A13 (A)	A14130	A413.0	S12A	305	(B)	231D (F)	ADC1 (C)
43	A34430	C443.0	S5C	304	(B)		
218	A05180	518.0	G8A	-	(B)	314	

Fonte: Adaptado de NADCA Product Specification Standards for Die Castings (2015). Legenda: (A) Semelhante à entrada anterior, com pequenas variações nos constituintes menores. (B) A especificação Federal para fundições sob pressão de liga de alumínio utiliza as designações da Associação de Alumínio para ligas individuais. Designações militares substituídas pelas especificações Federal. (C) As especificações da NADCA e do Japão permitem um máximo de 0,3 magnésio. (D) As especificações japonesas permitem um máximo de 1,0 zinco. (E) A especificação DIN 1725 permite 1,2 max de zinco e até 0,5 max de magnésio. (F) A especificação DIN 1725 permite 0,3 máx de magnésio. (G) As composições de liga mostradas na DIN 1725 tendem a ser "de base primária" e possuem baixa impureza, dificultando a correlação direta com as ligas dos EUA.

Nota: alguns desses padrões são absolutos, mas incluídos aqui para fins históricos. Todas as especificações são apenas para peças fundidas.

De acordo com Moreira (2012) entre as principais características gerais desta liga, tem-se:

- a) Baixa densidade, sendo ela  $2,7 \text{ g/cm}^3$ ;
- b) Baixa temperatura de fusão, podendo ser feita em moldes metálicos;
- c) Elevada fluidez, decorrente do Si;
- d) Baixa tendência a trincas de solidificação;
- e) Elevado coeficiente de transmissão de calor;
- f) Resistência moderada após tratamento térmico.

A liga de alumínio destacada neste estudo de caso é a SAE 305 e no próximo tópico serão apresentadas as características, propriedades, composição química e aplicação desta liga.

### 2.1.2 Liga de Alumínio SAE 305

A liga SAE 305 é indicada para produção de peças fundidas de parede finas ou de geometria complexa e ainda tem alta resistência a corrosão e ótima fusibilidade.

TRATHO (2019) salienta que, para peças fundidas em areia ou coquilha, recomenda-se a modificação com sódio; e para peças injetadas utiliza-se quantidade de Fe maior, sendo entre 0,70% e 1,10%, para maior fluidez quando aquecido.

Tabela 2 - Composição Química SAE 305

Elemento	Mínimo	Máximo
Si	11,00%	13,00%
Fe	0,00%	1,30%
Cu	0,00%	1,00%
Mn	0,00%	0,35%
Mg	0,00%	0,10%
Ni	0,00%	0,50%
Zn	0,00%	0,50%
Sn	0,00%	0,15%

Fonte: Brutt (2019).

As propriedades físicas são:

Tabela 3 - Propriedades Físicas e Mecânicas	
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	2,65
Intervalo de Solidificação (°C)	590-540
Coefficiente de dilatação térmica (20 a 200°C)	0,0000216
Condutibilidade Elétrica (IACS %)	37
Resistência a tração (kg/mm <sup>2</sup> )	23-27 – Injeção
	20-24 – Coquilha
	15-18 – Areia
Alongamento (%)	1,5-2,5 – Injeção
	2,0-4,0 – Coquilha
	1,0-1,5 – Areia
Dureza Brinell	70-90 – Injeção
	55-70 – Coquilha
	50-60 – Areia

Fonte: TRATHO Metal Química LTDA (2019).

Assim como as características tecnológicas associadas ao alumínio:

Tabela 4 - Características Tecnológicas	
Fluidez	Ótima
Estanqueidade (resistência à pressão)	Boa
Resistencia a corrosão	Boa
Usinabilidade	Regular
Temperatura de vazamento (°C)	630 a 700

Fonte: TRATHO Metal Química LTDA (2019).

O tratamento térmico não se aplica a esta liga, apenas alívio de tensão no qual é recomendado manter a peça aquecida a 250°-300° por 3 horas.

### 3 FUNDIÇÃO

Outro aspecto a ser tratado é a fundição e suas características, já que a liga utilizada deverá passar por este processo, sendo este um dos primeiros na fabricação de artigos de metal.

De acordo com a Associação Brasileira de Fundição (2016), o Brasil, em 2014, estava na 7ª colocação de produtor de fundidos, com 2.737 mil toneladas, ultrapassando Coreia, Itália e França. Sendo assim, exportando aproximadamente 40% da produção interna de alumínio.

Na fundição existem alguns tipos aplicáveis a ele, tais como a fundição com uso de areia, por gravidade, sob pressão (alta ou baixa), por cera perdida e tixofundição.

E de acordo com MICROFUND (2019):

- a. A fundição com moldes de areia é uma das mais antigas utilizadas, e são indicadas para pequenas quantidades de peças, de grande tamanho ou muito intrincadas;
- b. A fundição por gravidade, que também é chamada de fundição em coquilha, é basicamente o vazamento do metal líquido em um molde metálico, que faz o uso da gravidade para a formação da peça;
- c. A fundição sob pressão consiste na inserção do metal líquido em uma câmara de injeção, que com o uso de um pistão faz a injeção do material no molde de aço. Os produtos são obtidos por meio de três fases, sendo a primeira a expulsão do ar da câmara de injeção, a segunda é um rápido preenchimento das cavidades do molde para evitar o resfriamento do metal e a terceira é a compactação do metal, para evitar microporosidades da contração na solidificação;
- d. Fundição por cera perdida nada mais é que vazamento em moldes de cera;
- e. Fundição por tixofundição, que também é chamado de fundição em ligas semi-sólidas de alumínio, que ao invés de usar o metal líquido, utiliza em pasta.

A fundição manipulada no estudo de caso é por gravidade/em coquilha. Este método faz uso de moldes metálicos, empregando tanto aço quanto ferro fundido, pois têm durabilidade maior e conseguem produzir desde peças grandes a pequenas, e de simples a complexas. Entretanto o método não traz a peça final, sendo necessária realizar usinagem.

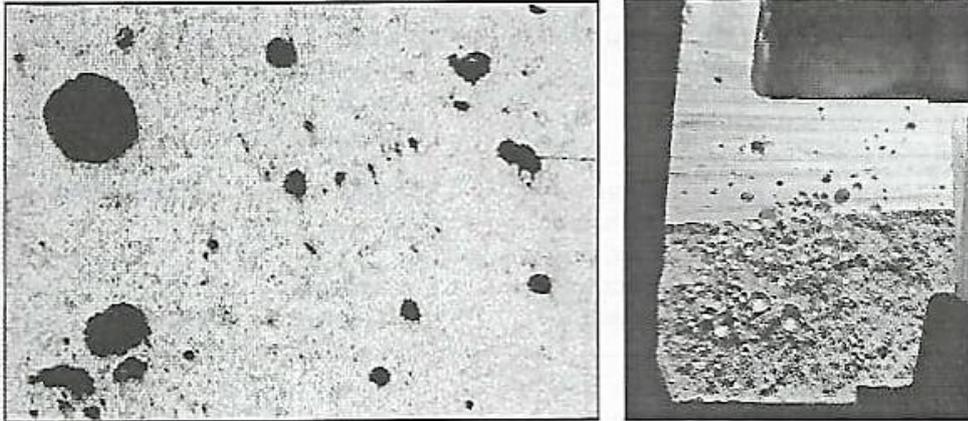
#### 3.1 Defeitos do processo de fundição

Nos processos de fundição por gravidade, existem parâmetros que influenciam a qualidade da peça. Pode ser considerado defeito quando a aparência ou propriedades esperadas não são alcançadas, e de acordo com SENAI (2004), os tipos de defeitos podem ser

classificados no geral como excrescências metálicas, cavidades (vazios), descontinuidade do material, defeitos superficiais, erros dimensionais e de forma e inclusões ou anomalias; onde o foco são os de cavidades:

- a) Microporosidades: pequenas bolhas de hidrogênio dispersas na peça, sendo arredondadas e de superfície lisa;

Figura 4 - Microporosidade na peça



Fonte: SENAI (2004).

- b) Bolhas de ar ou ar preso: bolhas de ar com aspecto grande e de superfície lisa;

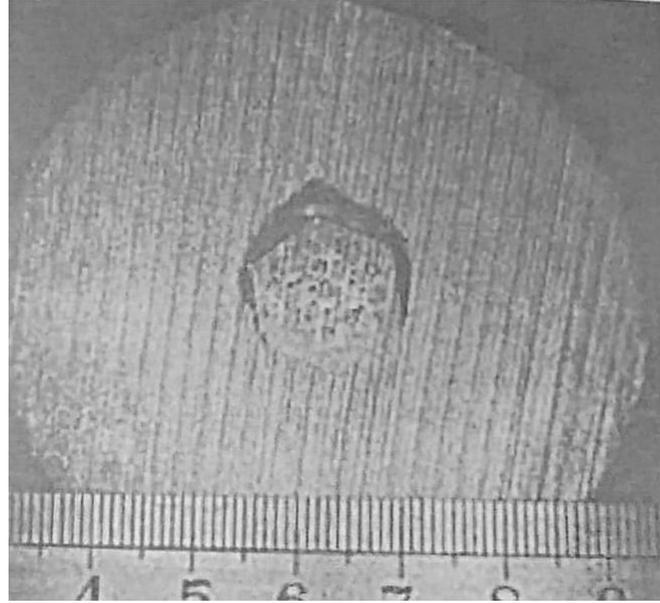
Figura 5 - Bolhas de ar na peça



Fonte: SENAI (2004).

- c) Cavidades perto de insertos metálicos e/ou de resfriadores: bolhas de gás associadas as reações do alumínio líquido com a umidade, podendo ser um rechupe, uma bolha de ar ou uma inclusão de óxido;

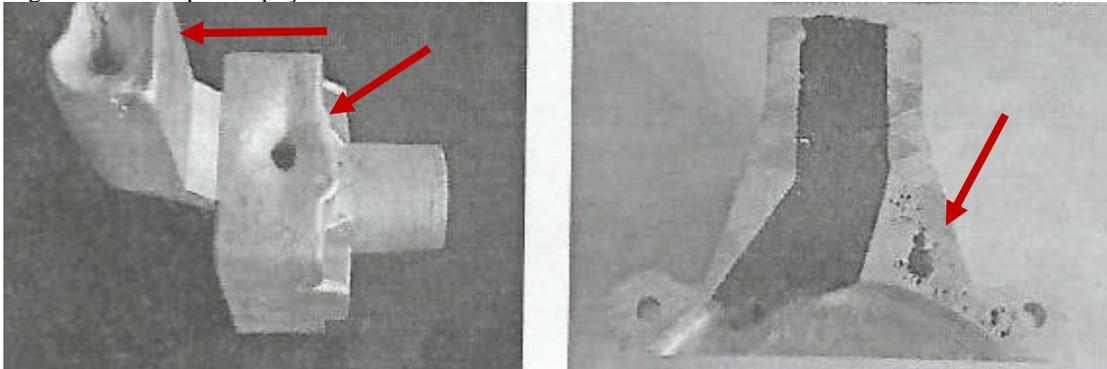
Figura 6 - Cavidade na peça



Fonte: SENAI (2004).

- d) Rechupe geral, de ângulo e de macho: contração defeituosa na solidificação do metal líquido;

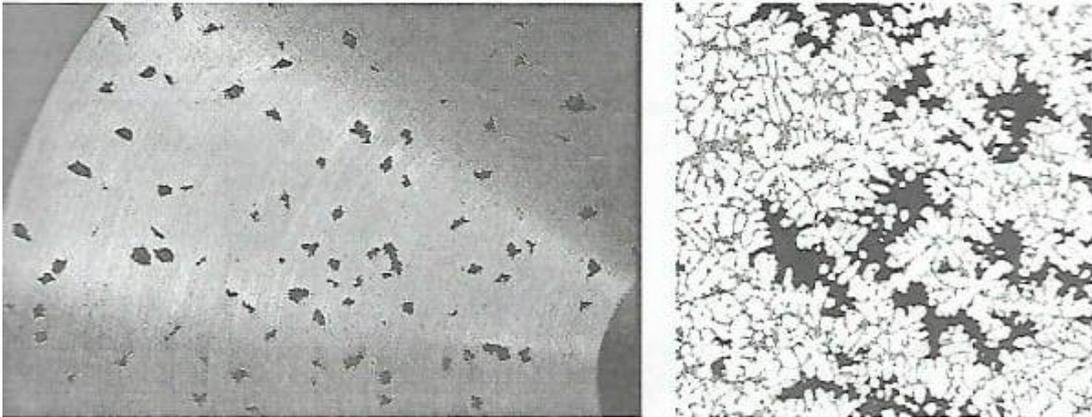
Figura 7 - Rechupes na peça



Fonte: SENAI (2004).

- e) Microrechupes: semelhante ao rechupe geral porém com intervalo de solidificação muito grande, e com aspecto dendrítico, podendo causar trincas posteriormente.

Figura 8 - Microrechupes na peça



Fonte: SENAI (2004).

De acordo com SENAI (2001), estes defeitos aparecem durante a etapa de solidificação, dependendo da temperatura de fusão do alumínio e o tempo de permanência a certa temperatura. Quanto maior a temperatura de vazamento, maior será a contaminação por  $H_2$ .

Para a eliminação dos defeitos de porosidade na peça, deve-se evitar fontes de  $H_2$  e fazer a retirada deste por meio do Método de Desgaseificação.

As fontes de hidrogênio podem ser: atmosfera, gases de combustão no forno, fluxos, cadinho e refratários, matéria-prima, ferramentas de fusão, etc. (SENAI, 2001, p. 67)

## 4 TRATAMENTOS NO METAL LÍQUIDO

Os tratamentos adicionados ao metal líquido, nada mais são que uma proteção com a finalidade de reduzir a absorção de gases e aparecimento de óxidos, sendo este adicional denominado escorificante, que reagirá com os óxidos e impurezas contidas, aglomerando-as. (SENAI, 2001, p. 63)

A mistura é feita pela adição de aproximadamente 0,5 a 1,0% de sal escorificante, e com a ajuda de uma escumadeira faz-se a retirada do material na superfície do banho, sendo a escória, seca e isenta de alumínio. (SENAI, 2001, p. 63)

De acordo com SENAI (2001), estes fluxos podem conter:

- a) Cloretos, que limpam o alumínio e protegem contra a absorção de  $H_2$ ;
- b) Fluoretos, que servem para aglomeração dos óxidos;
- c) Misturas de carbonetos, sulfatos e fluoretos, que promovem a reação exotérmica.

Com isso, haverá melhora no material, tanto físico quanto químico. Sendo este, necessário sempre que houver adição de retorno (tarugos), lingotes ou peças no banho metálico.

### 4.1 Desgaseificação

Os gases podem estar em todos os metais ou ligas, quimicamente como sólidos ou líquidos (SENAI 2001, p. 64). São estes:

- a)  $H_2$  (Hidrogênio);
- b)  $SO_2$  (Dióxido de enxofre);
- c)  $CO_2$  (Dióxido de carbono);
- d)  $CO$  (Monóxido de carbono);
- e)  $O_2$  (Oxigênio, oriundos de metais fundidos).

Os métodos para desgaseificação são:

- a) Desgaseificação natural – consiste na perda natural de hidrogênio, quando o mesmo estiver supersaturado;
- b) Desgaseificação por gás inerte – Injeção de um gás inerte (argônio ou nitrogênio) no fundo do cadinho, sendo o gás inerte de vapor de água, evitando contaminação;
- c) Desgaseificação com gás – injeção de gás no fundo do cadinho, sendo estes: cloro, freon-12 ( $CCl_2F_2$ ) ou dióxido de carbono;

- d) Desgaseificação com fluxos ou briquetes – o principal fluxo utilizado é o hexacloretano  $C_2Cl_6$ , sendo feito através da imersão do produto, aproximadamente 0,2 a 1,0%, forçando até o fundo do banho metálico;
- e) Desgaseificação por vácuo – bastante utilizado na Europa, nada mais é que a retirada da pressão atmosférica através de uma bomba de vácuo, sendo utilizado um gás inerte adicionado no fundo do cadinho, arrastando as bolhas de hidrogênio para superfície. Os gases retirados pelo sistema a vácuo, podem ser tratados;
- f) Sistema GBF (Gás Bubbling Filtration) – Injeção de gás inerte (Ar ou N), gás reativo (Cloro) ou a mistura de ambos no fundo do cadinho, através de um rotor. O tamanho do rotor é de acordo com o tamanho do cadinho e quantidade de metal a ser tratado (SENAI, 2001).

A eficiência do processo de Desgaseificação relaciona-se a três fatores:

- a) Tipo de gás utilizado (reativo, inerte ou a mistura de ambos);
- b) Tamanho e distribuição das bolhas do gás;
- c) Temperatura de Desgaseificação.

#### **4.2 Gás reativo e inerte**

A utilização de gás reativo possibilita maior eficiência, já que o hidrogênio, em forma molecular, dissolvido será combinado com o cloro, sendo levado a superfície do banho.

Já nos gases inertes, o argônio ou o nitrogênio, funcionarão como nucleantes das bolhas de hidrogênio, arrastando-as para a superfície do banho (SENAI, 2010, p. 76).

#### **4.3 Grão da microestrutura**

“Pode-se definir grão como sendo só um cristal impregnado ou não numa massa eutética, após a solidificação.” (SENAI, 2010, p. 26).

Em outras palavras, é a cristalização da microestrutura do metal após a solidificação.

Conforme SENAI (2010), o grão fino trás:

- a) Melhores propriedades na fundição, principalmente diminuindo o aparecimento de trincas;
- b) Melhores características mecânicas estáticas e dinâmicas, aumentando o limite de fadiga e diminuindo a fragilidade da liga;
- c) Para ligas tratadas termicamente, tem-se uma dissolução rápida;
- d) Melhora usinagem.

#### 4.3.1 Fatores que influenciam no tamanho do grão

Os principais são, de acordo com SENAI (2010):

- a) Temperaturas de fusão e vazamento: na ausência de elementos refinadores e em um aumento de temperatura, próxima a 800°C, há um aumento na dimensão do grão;
- b) Influencia no tratamento de refino, sendo o refino por duas formas diferentes:
  - I. Refino por restrição do crescimento;
  - II. Refino por germinação heterogênea ou nucleação;
- c) Influencia na velocidade de resfriamento: quanto mais rápida a solidificação, mais fino o grão.

#### 4.3.2 Medida do tamanho do grão

Segundo SENAI (2010), existem dois métodos para a medida do tamanho do grão:

- a) Contagem do número de grãos por unidade de área do corpo-de-prova – Traça-se um círculo na imagem tirada dos grãos. Conta-se o número  $n_1$  de grãos no interior do círculo, o número  $n_2$  de grãos cortados pelo círculo e o número total de grãos é dado por:

$$n = n_1 + n_2 / 2 \quad (1)$$

Aumento de 100 vezes:

$$N = 2n \quad (2)$$

- b) Medida do tamanho do grão pelo sistema do Segmento Interceptado Médio – Conta-se o número  $n_g$  de interseções com os contornos de grãos sobre um comprimento  $L$ . O tamanho do grão é:

$$G = L / n_g \quad (3)$$

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

O objetivo deste projeto é sanar/reduzir o aparecimento dos defeitos de fundição do alumínio, com o uso de tratamentos no cadinho.

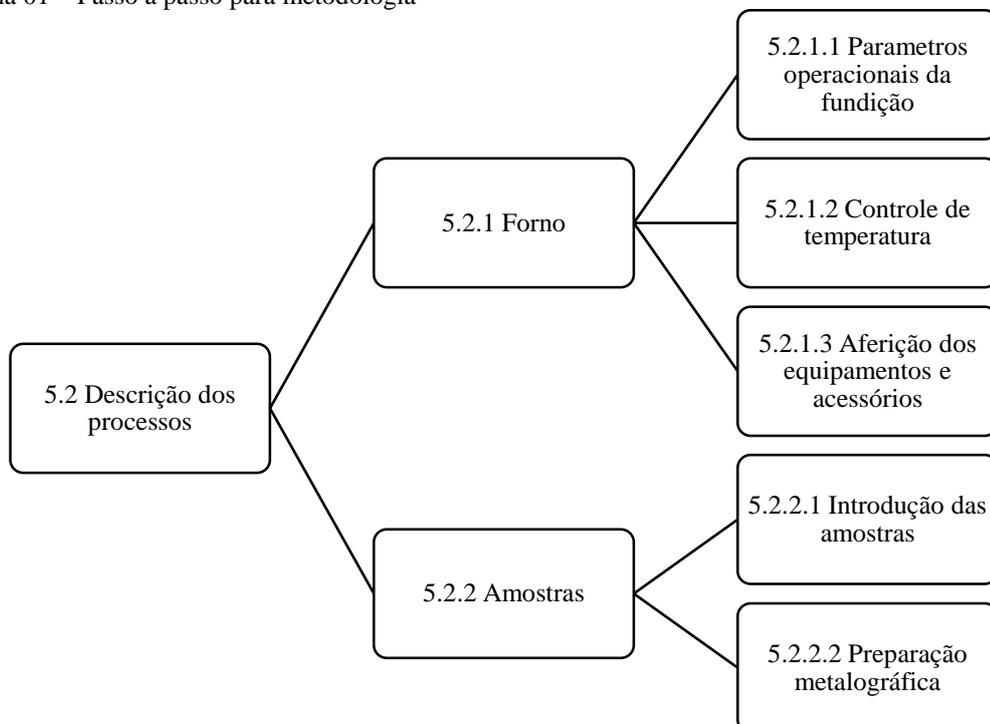
Uma empresa localizada no sul de Minas Gerais, comercializa equipamentos de segurança para transformadores de grande porte e enfrenta um problema na produção. Os defeitos nas peças vindas da fundição de alumínio aparecem após usinadas, sendo estes rechupe, brocas e porosidades. Sabe-se que a liga referente é a SAE 305.

Para o tratamento do alumínio no cadinho, eram utilizados Fluxo de escorificação e desgaseificante, em pó, sendo o primeiro para melhoramento do alumínio/escorificante, e o segundo faria a liberação do hidrogênio do material e a limpeza do cadinho.

### 5.1 Fluxograma de processos

Para melhor entendimento do funcionamento, segue abaixo um fluxograma.

Fluxograma 01 – Passo a passo para metodologia



Fonte: O Autor.

## 5.2 Descrição dos processos

Para as análises foram feitas verificações, primeiramente no forno/cadinho e depois na liga.

### 5.2.1 Forno

Antes de mais nada, alguns itens devem ser verificados para garantia de uma boa fundição.

#### 5.2.1.1 Parâmetros operacionais da fundição

Sabe-se que para uma boa fundição, alguns dos parâmetros de operação no processo devem ser verificados e validados.

Após acompanhamento do processo, verificou-se que a metodologia utilizada estava de acordo.

#### 5.2.1.2 Controle de temperatura

De acordo com a tabela 4 do item 2.1.2, a temperatura correta de vazamento do alumínio nos moldes é de 630-700°C.

Foram feitos acompanhamentos durante o processo e após três verificações, os dados recolhidos se encontram na faixa especificada.

Imagem para identificar o modo de imersão do termômetro no cadinho.

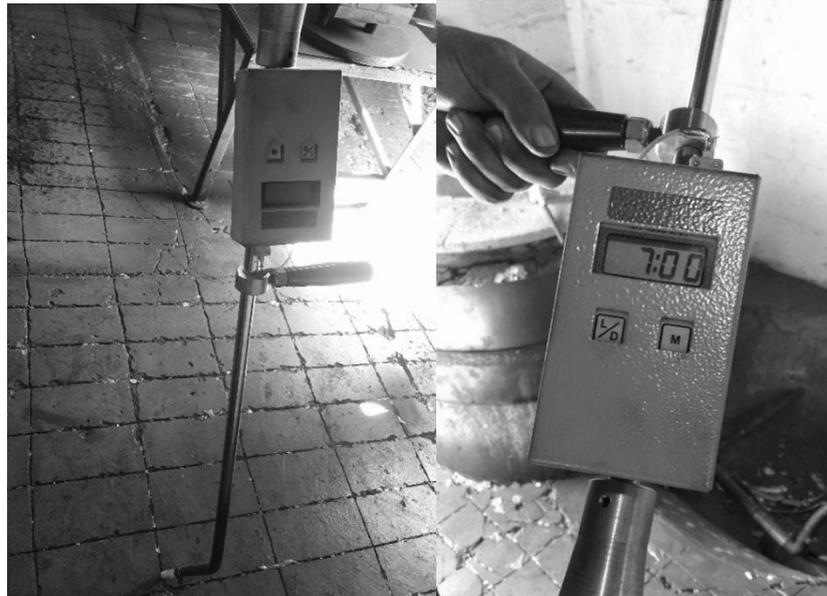
Figura 9 - Termômetro submerso no cadinho



Fonte: O autor.

Imagem para identificar o termômetro usado.

Figura 10 - Termômetro inteiro e após medição no cadinho



Fonte: O autor.

### 5.2.1.3 Aferição dos equipamentos e acessórios

Para a fundição e vazamento do metal líquido são usados concha, escumadeira, manômetros para vazão do gás, cadinho e moldes.

Todos os equipamentos estavam aferidos no momento das verificações e análises.

### 5.2.2 Amostras

Como especificado acima no item 2.1.2, a liga utilizada é a SAE 305.

### 5.2.2.1 Introdução das amostras

Para análises de melhoramento dos defeitos apresentados, foram feitos 6 verificações diferentes no tratamento do alumínio no cadinho, pré-vazamento.

Cada verificação feita, foi vazada em moldes e acompanhadas até o processo de usinagem, para o recolhimento dos resultados.

Destas 6 verificações feitas, uma é referente ao método utilizado até o momento (amostra 1) que apresentava defeitos, e cada amostra sofreu um tratamento no metal líquido diferente, sendo estas:

- a) Amostra 1 – 200g de escorificante (pó) + 200g de desgaseificante (pó)
- b) Amostra 2 – 4L/min de Nitrogênio durante 2,5 min (gás) + 200g de escorificante (pó)
- c) Amostra 3 – 4L/min de Nitrogênio durante 2,5 min (gás)
- d) Amostra 4 – Sem adição de nenhum produto para tratamento
- e) Amostra 5 – 200g de desgaseificante (pó)
- f) Amostra 6 – 50g de escorificante (pó) + 100g de desgaseificante (pó)

### 5.2.2.2 Preparação metalográfica

As amostras foram preparadas para análises metalográficas a fim de observar sua microestrutura e fazer uma comparação entre elas.

Passaram por processos de serragem, usinagem, tipagem, lixamento e polimento, e foram retiradas dos tarugos de respiro da tampa da caixa quando ainda em estado bruto, logo após a solidificação

Na indicação A, foi retirada a amostra retangular e na indicação B, as amostras cilíndricas.

Figura 11 - Tampa da caixa de passagem em seu estado bruto



Fonte: O autor.

- a) Etapa de corte de material: corte em serra elétrica de fita vertical, Ronemak SF 13, com uso de fluido de corte, para evitar a queima do material;

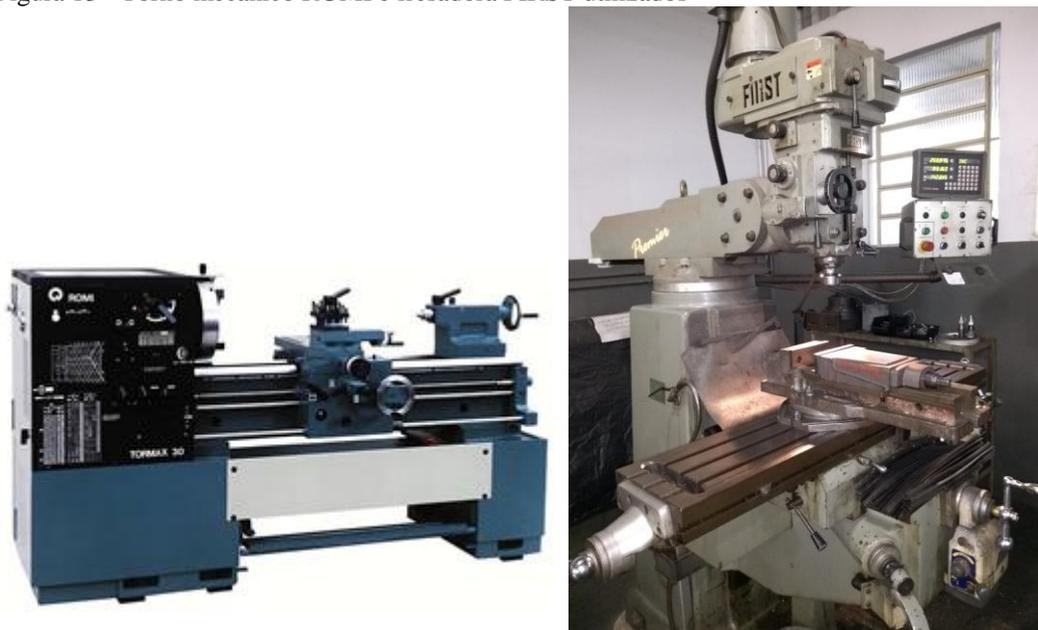
Figura 12 - Serra elétrica utilizada



Fonte: Ronemak (2019).

- b) Usinagem do material: 5 amostras feitas no torno mecânico, ROMI – Tormax 30A e uma amostra retangular feita na fresadora, FIRST – ISO 40;

Figura 13 - Torno mecânico ROMI e fresadora FIRST utilizados



Fonte: Daumec (2019) e o Autor.

- c) Tipagem com uso de punção alfabético, sendo as letras D para desgaseificante, F para escorificante, N para nitrogênio, S/N/ para sem adição de tratamento, e finalizado com tinta;

Quadro 2. Amostras e tipagem

<p>Amostra 1</p> 	<p>Amostra 2</p> 
<p>Amostra 3</p> 	<p>Amostra 4</p> 
<p>Amostra 5</p> 	<p>Amostra 6</p> 

Fonte: O autor.

- d) Lixamento feito usando lixas d'água, com granulometria de 220, 320, 420, e 600, sequencialmente, na lixadeira manual de quatro pistas;

Figura 14 - Lixadeira manual utilizada



Fonte: O autor.

- e) Polimento feito em equipamento politriz motorizada, Struers DP-10 – Panambra de duas velocidades (300-600 rpm), e o abrasivo utilizado foi alumina liquida, com granometria de  $1\mu\text{m}$  e  $0,5\mu\text{m}$ ;

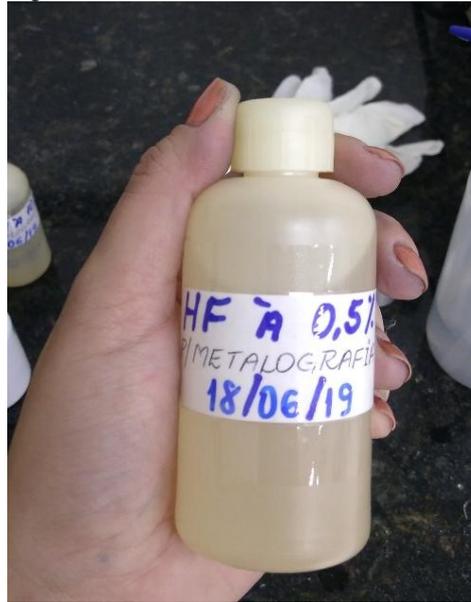
Figura 15 - Equipamento de polimento e frasco com alumina



Fonte: O autor.

- f) Ataque químico: de acordo com Rohde (2010), na metalografia, o ataque químico foi feito com reativo químico, conhecido por ácido fluorídrico, composto de 0,5 ml de ácido fluorídrico e 99,5 ml de água destilada;

Figura 16 - Acido Fluorídrico



Fonte: O autor.

O método utilizado para aplicação foi ataque químico por esfregação, segundo Rohde (2010), a solução de ataque deve ser umedecida em um chumaço de algodão ou pano, e esfregada sobre a superfície da amostra, removendo, assim, as camadas afetadas pela reação.

O passo a passo utilizado:

- a. Após polidas, as amostras devem ser limpas com algodão umedecido com álcool;
- b. Secagem das amostras através de um secador;
- c. Umedecer o algodão com o ácido e aplicar na superfície da peça, fazendo movimentos circulares;
- d. Fazer a observação da microestrutura da amostra no microscópio ótico.

Obs.: necessário uso de luvas para o processo.

- g) Microscópio utilizado foi o ótico, com 80x lentes de aumento.

Figura 17 - Microscópio utilizado



Fonte: O autor.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises realizadas neste projeto foram feitas a partir de uma peça específica fornecida pela empresa em questão, uma tampa da caixa de passagem, equipamento de segurança de transformador de grande porte. A função deste equipamento é fazer a ligação dos circuitos internos com os externos, dos transformadores, como painéis, caixa de derivações e pontos de medição, conforme figura abaixo:

Figura 18 - Conjunto completo caixa de passagem do transformador elétrico



Fonte: O autor.

O objeto de estudo escolhido foi a tampa da caixa, por motivos de maior aparecimento de rechupes e brocas.

### 6.1 Resultados dos tratamentos feitos

Abaixo serão apresentadas imagens da peça com o tratamento utilizado pela empresa e após cada tratamento teste e usinagem.

- a) Tampa da caixa de passagem referente a amostra 1: aparições de brocas fundas e rechupe no meio da peça;

Figura 19 - Tampa da caixa de passagem referente a amostra 1



Fonte: O autor.

- b) Tampa da caixa de passagem referente a amostra 2: aparições de brocas, porém sem rechupes;

Figura 20 - Tampa da caixa de passagem referente a amostra 2



Fonte: O autor.

- c) Tampa da caixa de passagem referente a amostra 3: sem aparições de brocas visíveis e rechupe;

Figura 21 - Tampa da caixa de passagem referente a amostra 3



Fonte: O autor.

d) Tampa da caixa de passagem referente a amostra 4: aparições de número grande de brocas;

Figura 22 - Tampa da caixa de passagem referente a amostra 4



Fonte: O autor.

e) Tampa da caixa de passagem referente a amostra 5: aparições de brocas profundas e rechupe;

Figura 23 - Tampa da caixa de passagem referente a amostra 5



Fonte: O autor.

- f) Tampa da caixa de passagem referente a amostra 6: pouquíssimas aparições de brocas, sem rechupe.

Figura 24 - Tampa da caixa de passagem referente a amostra 6



Fonte: O autor.

## 6.2 Resultados da metalografia

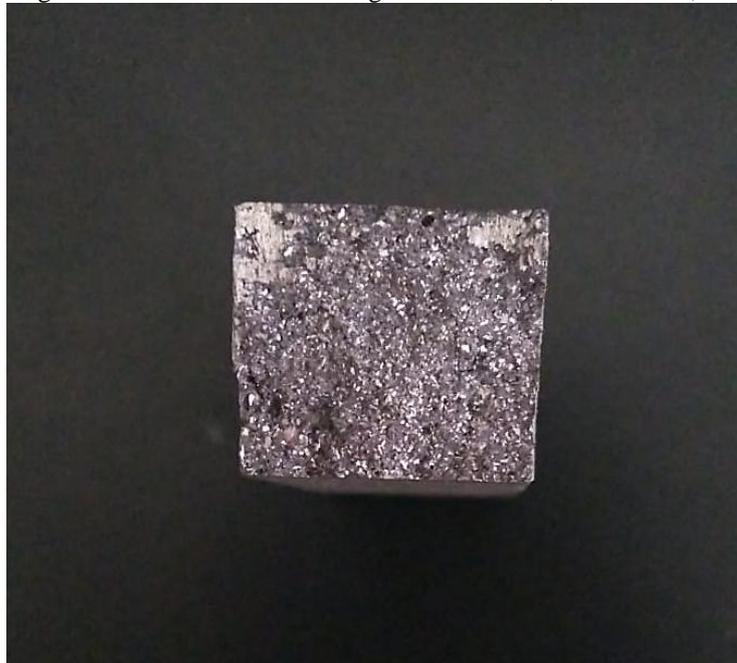
Foram feitas três análises da estrutura do lingote de alumínio, a fim de visualizar os grãos ali contidos. O alumínio observado é o recebido pelo fornecedor.

Além destas, foram feitas análises metalográficas e da estrutura de cada amostra tratada.

### 6.2.1 Análises do lingote

A primeira análise é um lingote do lote 190113, Fevereiro de 2019.

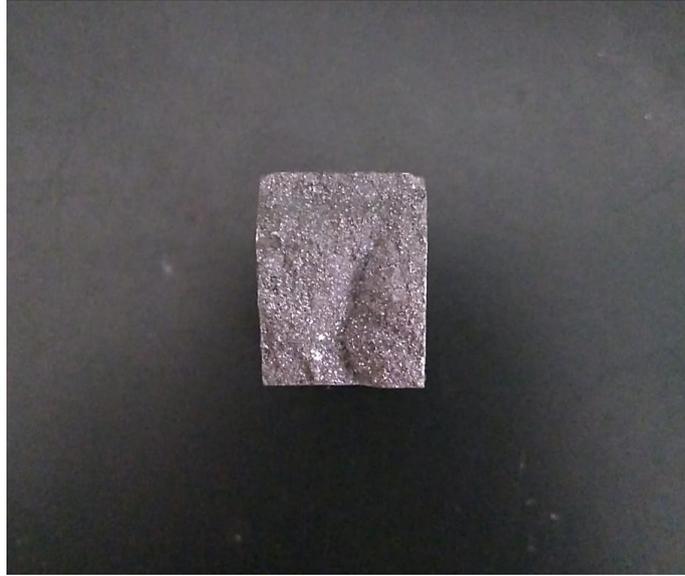
Figura 25 - Microestrutura do lingote de alumínio, lote 190113, Fevereiro de 2019.



Fonte: O autor.

A segunda análise é do lingote lote 190434, Abril de 2019.

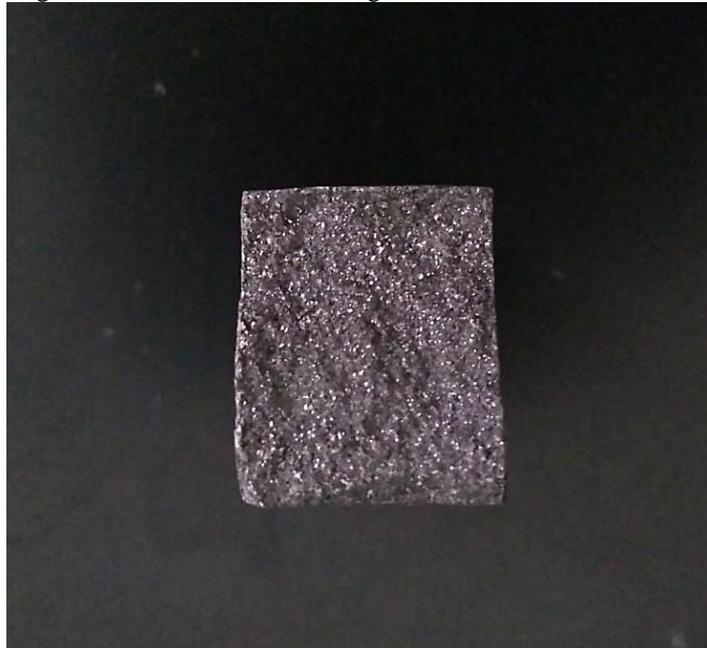
Figura 26 - Microestrutura do lingote de alumínio, lote 190434, Abril de 2019.



Fonte: O autor.

A terceira análise é do lingote lote 190528, Maio de 2019.

Figura 27 - Microestrutura do lingote de alumínio, lote 190528, Maio de 2019.



Fonte: O autor.

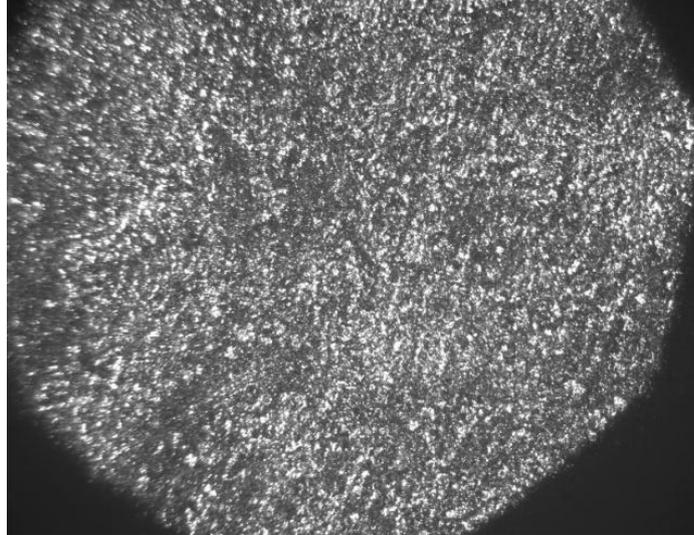
É possível observar que a primeira análise da estrutura contém grãos grandes, e já a segunda os grãos estão mais refinados, e na terceira, os grãos estão medianos, comparados as outras duas imagens.

### 6.2.2 Análises das microestruturas das amostras

Foram observadas as 6 amostras e registrados os resultados.

- a) Amostra 1: Microestrutura com aparição de óxidos em alta quantidade com menor uniformidade.

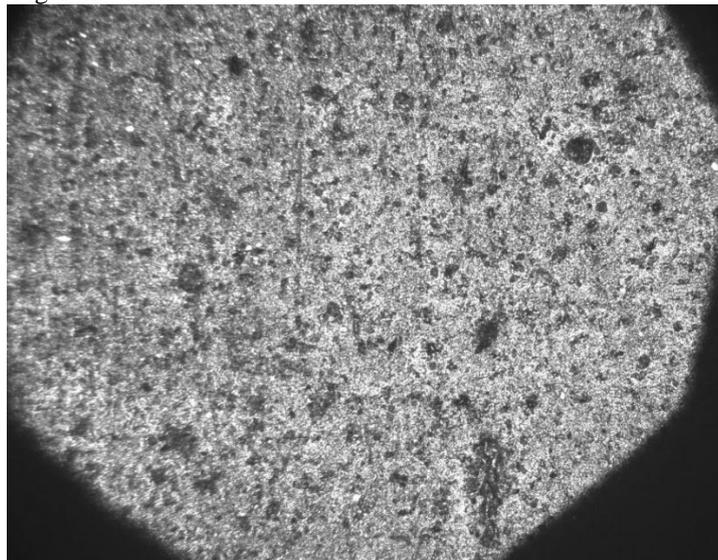
Figura 28 - Microestrutura da amostra 1



Fonte: O autor.

- b) Amostra 2: Microestrutura com alto aparecimento de bolhas de ar e trincas.

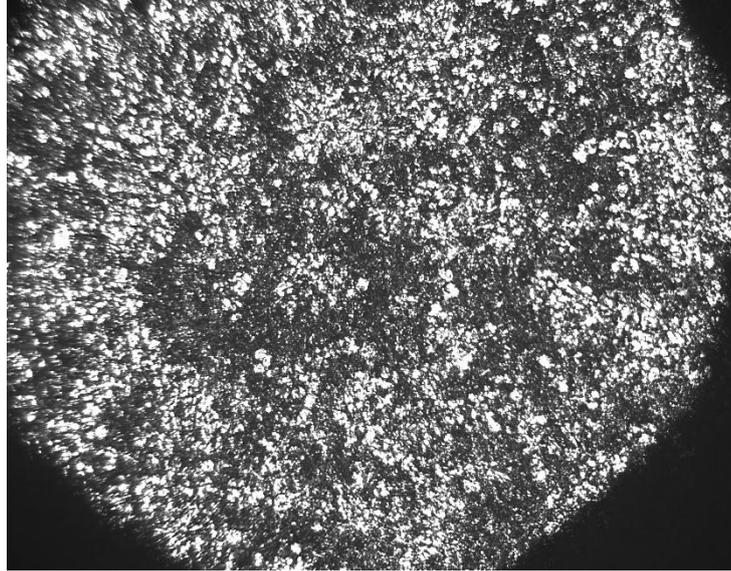
Figura 29 – Microestrutura da amostra 2



Fonte: O autor.

c) Amostra 3: Aparição de óxidos em média quantidade.

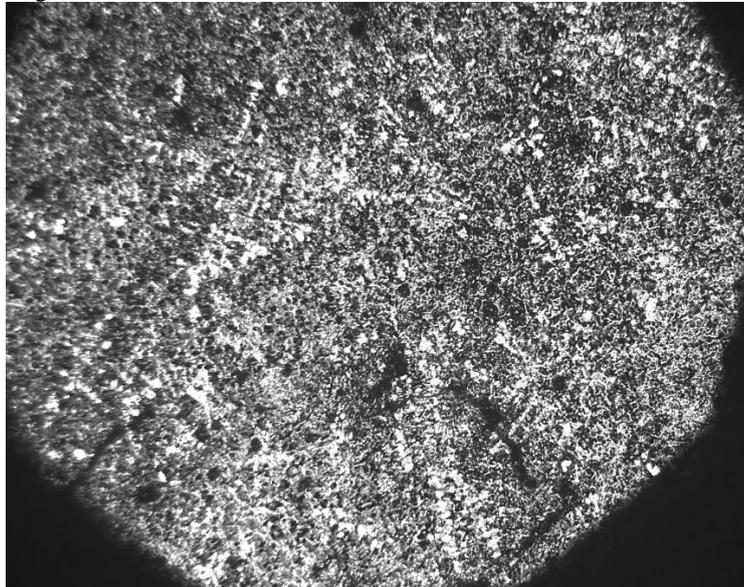
Figura 30 - Microestrutura da amostra 3



Fonte: O autor.

d) Amostra 4: Microestrutura com aparecimento de bolhas de ar, rechupe e trincas.

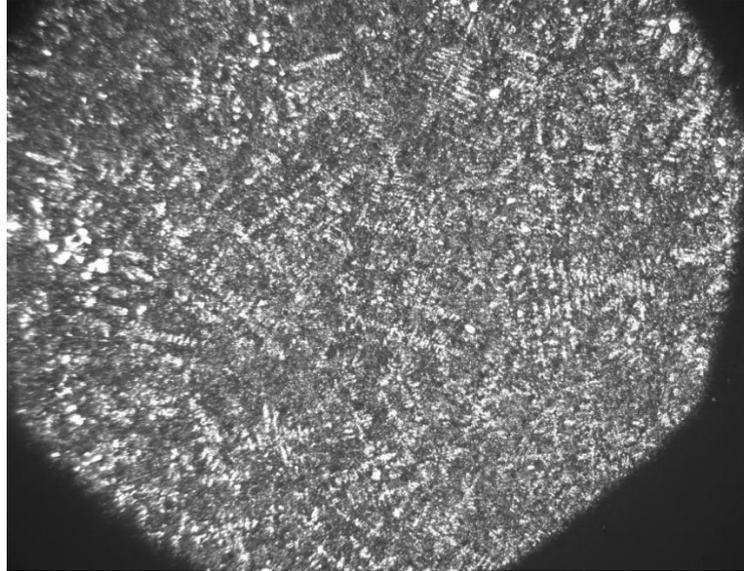
Figura 31 - Microestrutura da amostra 4



Fonte: O autor.

e) Amostra 5: Microestrutura com aparecimento de trincas e granulação grande.

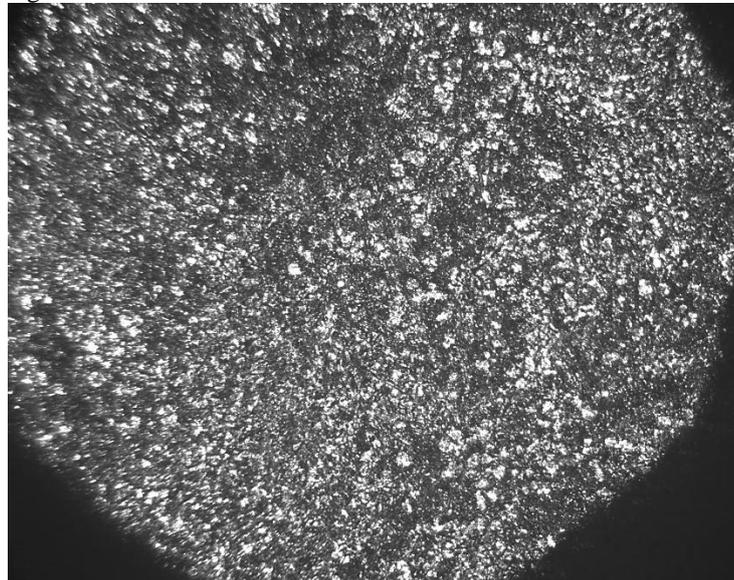
Figura 32 - Microestrutura da amostra 5



Fonte: O autor.

f) Amostra 6: Aparência mais uniforme da microestrutura, contendo apenas óxidos.

Figura 33 - Microestrutura da amostra 6



Fonte: O autor.

## 7 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, supostamente o problema inicia-se no material fornecido à empresa, lingotes de alumínio, que podem não seguir à risca as recomendações de quantidade de elementos na composição química ou porcentagem de impurezas no material, atrapalhando no resultado final das peças fundidas. Logo, não se tem o controle desejado no metal recebido.

Através dos testes realizados no tratamento, foi possível observar que a utilização de nitrogênio se fez eficaz na diminuição dos defeitos, em contra partida, a não viabilidade financeira da utilização, sobressaiu, sendo o preço por galão e o uso do produto no tratamento em cada fornada, alto. Além do fato da verificação ter sido feito em apenas uma peça, na produção da empresa existem outras peças de várias formas e geometrias, onde nem sempre o resultado foi satisfatório como as tampas. Entretanto, a amostra 6 (50g de escorificante (pó) + 100g de desgaseificante (pó)), também apresentou um efeito eficiente, com diminuição de aproximadamente 80% dos defeitos anteriores; além de ser financeiramente viável, já que seu custo chega a ser 60% mais barato que o nitrogênio.

Microestruturadamente falando, as amostras apresentaram alguns defeitos visíveis no microscópio, sendo estas: trincas, óxidos de alumina, porosidade e bolhas de ar, onde as amostras 3 (4L/min de Nitrogênio durante 2,5 min (gás)) e 6 (50g de escorificante (pó) + 100g de desgaseificante (pó)) foram as que quase não houve aparecimento destes, apenas o óxido de alumina.

Portanto, tendo em vista que o maior problema encontrado nesse estudo seja a possível quantidade de impurezas ou composição oscilante no material fornecido, deve ser exigido uma maior rigorosidade no controle das composições químicas e maiores números de análises em amostras feitas pela empresa de fornecimento. Ou então, um investimento na empresa questão, projetando um laboratório simples, onde possam ser feitas análises químicas ou de microestruturas nas amostras, para assim ter uma melhor confiabilidade sobre o material.

Este estudo requer uma ampla pesquisa sobre métodos de fundição deste tipo de liga, SAE 305, pois o que se encontra ainda é muito pouco para que se possa embasar uma solução de defeitos nos produtos fundidos, ou meios e métodos para se fazer uma análise dentro da empresa, que seja simples ou usual e prática, não necessitando gastos com laboratórios especificados, dependendo do tipo de problema.

## REFERÊNCIAS

- ALUMIZA. **Produtos: Alumínio**, 2019. Disponível em: <<https://alumiza.com.br/aluminio/>>. Acesso em: 20.Jun.2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ALUMÍNIO. **Bauxita no Brasil, Mineração Responsável e Competitividade**. São Paulo: ABAL, 2017. 61p. Disponível em: <[http://www.abal.org.br/downloads/ABAL\\_Relatorio\\_Bauxita\\_2017\\_1.pdf](http://www.abal.org.br/downloads/ABAL_Relatorio_Bauxita_2017_1.pdf)>. Acesso em: 08.Set.2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. **ANUÁRIO ABIFA 2016**: Guia ABIFA de Fundição. São Paulo: Abifa, 2016. Anual. Disponível em: <[http://abifa.org.br/wp-content/uploads/2016/09/revista\\_abifa\\_193.pdf](http://abifa.org.br/wp-content/uploads/2016/09/revista_abifa_193.pdf)>. Acesso em: 24 ago. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6834: Alumínio e suas ligas: classificação**. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **Alumínio: Características Químicas e Físicas – Ligas**, 2019. Disponível em: <<http://abal.org.br/aluminio/caracteristicas-quimicas-e-fisicas/ligas/>>. Acesso em: 16.Jun.2019.
- BRUNOEMT. **Fresadora Ferramenteira Iso 40 Completa Autom. 3 Eixos 2012**, 2019. Disponível em: <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1062170220-fresadora-ferramenteira-iso-40-completa-autom-3-eixos-2012-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1062170220-fresadora-ferramenteira-iso-40-completa-autom-3-eixos-2012-_JM)>. Acesso em: 27.Out.2019.
- BRUTT Indústria Metalúrgica. **Produtos: Ligas de Alumínio**. Disponível em: <<http://www.brutt.com.br/aluminio.html>>. Acesso em: 20.Jun.2019.
- CARDOSO, José Guilherme da Rocha et al. **A indústria do alumínio: estrutura e tendências**. Insumos Básicos, BNDES Setorial 33, p. 43-88. Rio de Janeiro, Mar 2011.
- CORRADI, Christiano Alves Lima. **Metalurgia das ligas de alumínio e tratamentos no metal líquido**. Itáua: SENAI, 2001.
- DAUMEC USINAGEM MECANICA. **Equipamentos**, 2019. Disponível em: <<http://www.daumec.com.br/equipamentos.php>>. Acesso em: 27.Out.2019.
- DEAN, W. A. **Effects of alloying elements and impurities on properties**. In: HATCH, J. E. (Ed.). Aluminum: properties and physical metallurgy. Metals Park, Ohio: ASM, 1990.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Sumário Mineral 2015**. Vol. 35. Copyright© 2016 DNPM/MME, Brasília, Mar. 2016.
- DEPARTMENT OF INDUSTRY, INNOVATION AND SCIENCE. **Resources and Energy Quarterly**. Austrália, Jun 2019.
- DIOGENES, Anderson Carmo. **Estudo da Usinagem por Torneamento de Ligas de Alumínio**. 2019. Disponível em: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/118894/diogenes\\_ac\\_tcc\\_guara.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/118894/diogenes_ac_tcc_guara.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 19.Ago.2019.

EMSLEY, J. **The Elements**. 3ª ed. Nova York, Oxford University Press Inc., 292p. 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações e análises da economia mineral Brasileira**. 7. ed. Brasília, 2012.

LA ALUMÍNIOS. **Ligas de Alumínio**. Disponível em:  
<<http://aluminios.la/ligasdealuminio.html>>. Acesso em: 24 ago. 2019.

MATSUMOTO, Lucas Massahuru. **Estudo do Efeito do Modificador Al-Sr no Tratamento de Modificação do Eutético da Liga AA356**. Disponível em:  
<<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/119903/000739860.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 20 Jun.2019.

MÁRTIRES, R.A.C. 2009. **Alumínio**. In: Rodrigues A.F.S. (coord.). Economia Mineral do Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Brasília, p. 179-197.

MB GROUP Microfusão do Brasil – Fundição de Precisão. **Fundição**, 2019. Disponível em:  
<<http://www.mbgroup.com.br/produtos/fundicao/fundicao-por-cera-perdida>>. Acesso em: 20.Jun.2019.

METALTHAGA Metal Service Center. **Ligas de Alumínio**, 2019. Disponível em:  
<<http://metalthaga.com.br/ligas-de-aluminio/>>. Acesso em: 16.Jun.2019.

MICROFUND Fundição e Usinagem. **Tipos de Fundição**, 2019. Disponível em:  
<<http://www.microfund.com.br/blog/post/noticias/tipos-de-fundicao/8>>. Acesso em: 20.Jun.2019.

MOREIRA, Marcelo F. **Ligas de Alumínio para Fundição: Relação entre o processo de fundição e a Microestrutura**, 2019. Disponível em:  
<[http://www.pmt.usp.br/pmt3402/material/ligas\\_aluminio\\_fundidas.pdf](http://www.pmt.usp.br/pmt3402/material/ligas_aluminio_fundidas.pdf)>. Acesso em: 20.Jun.2019.

NORTH AMERICAN DIE CASTING ASSOCIATION. **Product Specification Standards for Die Casting**. 9. ed. Arlington Heights, Illinois. North American Die Casting Association, 2015.

O'NEILL, Peter. **Environmental Chemistry**. 3. ed. Plymouth, UK: Blackie Academic & Professional, 1998.

ROHDE, Regis Almir. **Metalografia preparação de amostras: uma abordagem prática**. 3 ed. Santo Ângelo, RS: URISAN, 2010.

RONEMAK. **Reforma + adequação à NR-12**, 2019. Disponível em:  
<<https://www.ronemak.ind.br/reforma-adequacao-nr12-de-maquinas?lightbox=dataItem-iufkjrj5>>. Acesso em: 27.Out.2019.

SENAI. **Metalurgia das ligas de alumínio e tratamentos no metal líquido**. Belo Horizonte: Perffil Editora, 2001.

SENAI. **Metalurgia das ligas de alumínio**. Itaúna: SENAI, 2010.

TRATHO Metal Química LTDA. **Alumínio**, 2019. Disponível em:  
<<http://www.tratho.com.br/pdf/Aluminio.pdf>>. Acesso em: 29.Set.2019.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral Commodity Summaries 2016**. Reston, Virginia:  
U.S. Geological Survey, 2016.

ZANGRANDI, A. **Alumínio e suas ligas**: fundamentos metalúrgicos e tecnológicos. Lorena,  
SP: GRAFIST - Gráfica & Editora Santa Teresa, 2008. v. 1. 103p.