

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**ÁLIDA KLIMIONT CAMARGO**

**ANÁLISE DE POROSIDADE: ESTUDO DE CASO SOBRE UMA TAMPA DE CABEÇOTE**

**PONTA GROSSA  
2022**

**ÁLIDA KLIMIONT CAMARGO**

**ANÁLISE DE POROSIDADE: ESTUDO DE CASO SOBRE UMA TAMPA DE CABEÇOTE**

**POROSITY ANALYSIS: CASE STUDY ON A HEAD COVER**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador: Prof. Dr. Roger Navarro Verástegui

**PONTA GROSSA**

**2022**



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**ÁLIDA KLIMIONT CAMARGO**

**ANÁLISE DE POROSIDADE: ESTUDO DE CASO SOBRE UMA TAMPA DE  
CABEÇOTE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 01 de julho de 2022

---

Ivanir Luiz De Oliveira  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Sandra Mara Kaminski Tramontin  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Roger Navarro Verástegui  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**PONTA GROSSA**

**2022**

## RESUMO

Devido ao uso recorrente do alumínio na fundição e em componentes automotivos, se faz necessário uma análise de seus defeitos. Um dos defeitos mais comuns é a porosidade. Seja por gás retido ou por contração, a porosidade é um problema que afeta a funcionalidade da peça. O objetivo desse trabalho é através dos ensaios de Raio X, Metalografia e Espectrometria chegar à causa do problema e assim propor possíveis soluções. De acordo com as análises foi possível ver que houve os dois tipos de porosidade nas amostras, por contração e por gases, o que ocorre normalmente na última região a se solidificar, o que é coerente com a amostra analisada. Para reduzir o defeito de gás aprisionado na peça a melhor forma é garantir que as saídas de gases do molde estejam bem projetadas e funcionando adequadamente. Essas saídas devem ser posicionadas nas últimas áreas do molde a serem preenchidas. Como a porosidade por contração é devido a contração resultante da variação volumétrica durante a solidificação, uma forma de solucionar esse problema seria no controle de velocidades que a peça é injetada.

Palavras-chave: Fundição. Porosidade. Automotivo. Alumínio. Alta Pressão.

## **ABSTRACT**

Overdue to the recurrent use of aluminum in foundry and automotive components, an analysis of its defects is necessary. One of the most common defects is porosity. Whether from trapped gas or shrinkage, porosity is a problem that affects part functionality. The objective of this work is through the X-Ray, Metallography and Spectrometry tests to reach the cause of the problem and thus propose possible solutions. According to the analysis, it was possible to see that there were both types of porosity in the samples, by contraction and by gases, which normally occurs in the last region to solidify, which is consistent with the analyzed sample. To reduce the defect of gas trapped in the part, the best way is to ensure that the gas outlets of the mold are well designed and working properly. These outlets must be positioned in the last areas of the mold to be filled. As shrinkage porosity is due to shrinkage resulting from volumetric variation during solidification, one way to solve this problem would be to control the speeds at which the part is injected.

Keywords: Foundry. Porosity. Automotive. Aluminum. High Pressure.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1- Representação da formação da microestrutura do Alumínio SAE306.<br>.....   | 17 |
| Figura 2 – Sistemática do Processo de Injeção Sob Pressão em Câmara Fria .   | 19 |
| Figura 3– Porosidade por Contração (A) e por Gás Preso (B) .....   | 20 |
| Figura 4– Peça Tampa de Cabeçote Escapamento (A) e Admissão (B) .....  | 23 |
| Figura 5– Forno de fusão tipo Torre .....  | 24 |
| Figura 6- Imagem da peça admissão cortada na fresa. Partes 1, 2 e 3<br>respectivamente. ....                               | 26 |
| Figura 7- Imagem das amostras A, B e C .....   | 27 |
| Figura 8- Esquema das regiões em que foram feitas as imagens microscópicas<br>das amostras A, B e C, respectivamente. .... | 29 |
| Figura 9- Imagem das amostras D e E, respectivamente. ....   | 30 |
| Figura 10- Imagem A a D do Raio X da parte 3 da peça admissão. ....  | 32 |
| Figura 11- Regiões que foram feitas as análises da amostra A. ....   | 33 |
| Figura 12- Micrografia amostra A região 1.....   | 33 |
| Figura 13- Micrografia amostra A região 2.....   | 34 |
| Figura 14- Micrografia amostra A região 3.....   | 34 |
| Figura 15- Micrografia amostra A região 4.....   | 35 |
| Figura 16- Micrografia amostra A região 5.....   | 35 |
| Figura 17- Micrografia amostra A região 6.....   | 36 |
| Figura 18- Micrografia amostra A região 7.....   | 36 |
| Figura 19- Micrografia amostra A região 8.....   | 37 |
| Figura 20- Micrografia amostra A região 9.....   | 37 |
| Figura 21- Micrografia amostra A região 10.....  | 38 |
| Figura 22- Micrografia amostra A região 10.....  | 38 |
| Figura 23- Micrografia amostra A região 10.....  | 39 |
| Figura 24- Micrografia amostra A região 10.....  | 39 |
| Figura 25- Regiões que foram feitas as análises da amostra B. ....   | 40 |
| Figura 26- Micrografia amostra B região 1.....   | 40 |
| Figura 27- Micrografia amostra B região 2.....   | 41 |
| Figura 28- Micrografia amostra B região 3.....   | 41 |
| Figura 29- Micrografia amostra B região 4.....   | 42 |
| Figura 30- Micrografia amostra B região 5.....   | 42 |
| Figura 31- Micrografia amostra B região 6.....   | 43 |
| Figura 32- Micrografia amostra B região 7.....   | 43 |
| Figura 33- Micrografia amostra B região 8.....   | 44 |
| Figura 34- Micrografia amostra B região 9.....   | 44 |
| Figura 35- Micrografia amostra B região 10.....  | 45 |
| Figura 36- Micrografia amostra B região 11.....  | 45 |
| Figura 37- Micrografia amostra B região 12.....  | 46 |
| Figura 38- Regiões que foram feitas as análises da amostra C. ....   | 46 |
| Figura 39- Micrografia amostra C região 1.....   | 47 |
| Figura 40- Micrografia amostra C região 2.....   | 47 |
| Figura 41- Micrografia amostra C região 3.....   | 48 |
| Figura 42- Micrografia amostra C região 4.....   | 48 |
| Figura 43- Micrografia amostra C região 5.....   | 49 |
| Figura 44- Micrografia amostra C região 6.....   | 49 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1- Propriedades físicas típicas do Alumínio .....  | 14 |
| Tabela 2- Especificações de composições químicas para algumas ligas Al-Si de maior utilização comercial. .... | 15 |
| Tabela 3- Propriedades Físicas da Liga SAE306 .....   | 15 |
| Tabela 4- Especificações de composições químicas para liga SAE306. ....                                       | 16 |
| Tabela 5 -Parâmetros da Peça Injetada .....   | 25 |
| Tabela 6- Especificações de composições químicas para liga SAE306. ....                                       | 50 |
| Tabela 7- Análise de Espectrometria da Amostra D.....   | 50 |
| Tabela 8- Análise de Espectrometria da Amostra E.....   | 51 |

## SUMÁRIO

|                |   |           |
|----------------|---|-----------|
| <b>1</b>       | <b>INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>13</b> |
| <b>2</b>       | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....  | <b>14</b> |
| <b>2.1</b>     | <b>Alumínio</b> .....   | <b>14</b> |
| 2.1.1          | Liga SAE306 .....   | 15        |
| <b>2.2</b>     | <b>Processo de Injeção Sob Pressão</b> .....                              | <b>17</b> |
| 2.2.1          | Fusão de ligas de alumínio.....   | 18        |
| <u>2.2.1.1</u> | <u>Processo de Desgaseificação</u> .....                                  | <u>18</u> |
| 2.2.2          | Injeção Sob Pressão em Câmara Fria.....                                   | 18        |
| 2.2.3          | Defeitos na Injeção Sob Pressão .....                                     | 19        |
| <u>2.2.3.1</u> | <u>Porosidade</u> .....   | <u>20</u> |
| <b>2.3</b>     | <b>Ensaios para Caracterização de Defeitos em Ligas de Alumínio</b> ..... | <b>21</b> |
| 2.3.1          | Raio-X .....  | 21        |
| 2.3.2          | Análise Metalográfica .....   | 22        |
| 2.3.3          | Análise de Espectrometria.....  | 22        |
| <b>3</b>       | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....  | <b>23</b> |
| <b>3.1</b>     | <b>Processo de Fusão</b> .....  | <b>24</b> |
| <b>3.2</b>     | <b>Processo de Injeção</b> .....  | <b>24</b> |
| <b>3.3</b>     | <b>Ensaios de Caracterização</b> .....                                    | <b>25</b> |
| 3.3.1          | Radiografia por Raios-X .....   | 27        |
| 3.3.2          | Ensaio de Metalografia .....  | 28        |
| 3.3.3          | Ensaio de Espectrometria de emissão óptica.....                           | 29        |
| <b>4</b>       | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....                                       | <b>31</b> |
| <b>4.1</b>     | <b>Ensaios de Caracterização de Defeitos</b> .....                        | <b>31</b> |
| 4.1.1          | Análise de defeitos por Raio X .....                                      | 31        |
| 4.1.2          | Caracterização metalográfica das amostras .....                           | 32        |
| <u>4.1.2.1</u> | <u>Amostra A</u> .....  | <u>33</u> |
| <u>4.1.2.2</u> | <u>Amostra B</u> .....  | <u>40</u> |
| <u>4.1.2.3</u> | <u>Amostra C</u> .....  | <u>46</u> |
| 4.1.3          | Composição química por espectrometria de emissão óptica .....             | 49        |
| <b>4.2</b>     | <b>Discussões</b> .....   | <b>51</b> |
| <b>5</b>       | <b>CONCLUSÃO</b> .....  | <b>53</b> |
|                | <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | <b>54</b> |



## 1 INTRODUÇÃO

O fato da fundição ser o caminho mais curto entre a liga metálica líquida e a peça acabada torna o processo atrativo economicamente em diversas situações. Na indústria automotiva metais mais leves como o alumínio e o magnésio vem tendo uso crescente ao longo dos anos devido, principalmente, aos novos processos de obtenção de peças, que além da vantagem quanto a peso proporcionam redução em operações de usinagem devido a maior precisão dimensional e melhor acabamento, quando compara-se com os ferros fundidos. (Baldam & Vieira, 2014) (Melo & Amstalden, 2000)

Na fundição sob pressão em câmara fria, que é a estudada neste trabalho, o metal é fundido, em forno independente da máquina de injeção e para onde é, então, transportado em quantidade certa para o cilindro de injeção. As vantagens do processo são: bom acabamento superficial, precisão dimensional excelente, taxa de produção alta, economia para grandes lotes de produção, peças com geometrias complexas e com seções finas podem ser processadas devido à pressão, que garante o preenchimento pelo metal fundido de todos os pequenos detalhes da cavidade do molde. (Baldam & Vieira, 2014) (Melo & Amstalden, 2000)

As desvantagens desse processo são: alto custo do equipamento e do molde, limitação às ligas não ferrosas de alta fluidez, tamanho de peças limitado pelas máquinas de injeção, geralmente menores do que 5 kg e nunca acima de 25 kg. Uma dessas desvantagens são os chamados refugos, peças não conforme que são comuns no processo de fundição, alguns deles são: tiro de aquecimento, falha de preenchimento, trinca, porosidade, junta fria, agarre, rechupe, vazamento, entre outros. (KIMINAMI & CASTRO, 2013)

Para diminuir a quantidade de refugo e minimizar o retrabalho e desperdício, há a necessidade de conhecimentos técnicos sobre a liga e sobre o processo para que a causa desse defeito seja descoberta e solucionada. A peça a ser estudada tem uma grande porcentagem de refugo por porosidade e o objetivo deste trabalho será determinar a causa raiz do problema e assim, conseguir definir ações para que esse defeito diminua. Será utilizado ensaios mecânicos como Metalografia, Espectrometria de Emissão Óptica e Raios-x para determinar a composição química da peça para que assim se possa determinar a causa da porosidade e qual seria a melhor forma de repará-la.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Alumínio

Segundo ABAL( Associação Brasileira do Alumínio), 2019, uma das vantagens mais importantes do alumínio é o fato de poder ser transformado com facilidade podendo ser laminado em qualquer espessura e extrudado numa infinidade de perfis de seção transversal constante e grande comprimento, outra vantagem se dá por ser um metal infinitamente reciclável sem perda de propriedades. É um metal com ponto de fusão relativamente baixo de 660°C e também é leve, com um peso específico de 2,70 g/cm<sup>3</sup>. O metal pode ser também, forjado ou extrudado. Além disso, para a maioria das aplicações do alumínio não são necessários revestimentos de proteção, pois ele possui uma camada fina e invisível de óxido que protege o metal de oxidações. Consequentemente, essa característica dá ao alumínio uma resistência à corrosão elevada. (ABAL, 2019)

A utilização de ligas de alumínio em componentes automotivo se dá pela busca por componentes de menor peso em aplicações tais como tampas de cabeçote, que é a peça de estudo desse trabalho. O baixo peso juntamente com resistência mecânica, resistência à corrosão e alta condutividade térmica torna o alumínio extremamente versátil para o setor automotivo. (ABAL,2019) A tabela 1 mostra as propriedades físicas típicas do alumínio.

**Tabela 1- Propriedades físicas típicas do Alumínio**

| <b>Propriedades Físicas Típicas</b>        | <b>Alumínio</b> |
|--|-----------------|
| Densidade (g/cm <sup>3</sup> )             | 2,70            |
| Temperatura de Fusão (°C)                  | 660             |
| Módulo de Elasticidade (MPa)               | 70000           |
| Coefficiente de Dilatação Térmica (L/°C)   | 23.10-6         |
| Condutibilidade Térmica a 25°C (Cal/cm/°C) | 0,53            |
| Condutibilidade Elétrica (%IACS)           | 61              |

**Fonte: Adaptado de ABAL, 2019.**

Quando resfriado o alumínio pode ter alguns dos seus constituintes retidos, isso faz com que sua estrutura atômica se torne mais rígida. A principal função dos elementos de ligas de alumínio é aumentar a resistência mecânica sem prejudicar suas outras propriedades. De acordo com Fuoco, 2017, as ligas Al-Si são as mais

utilizadas na fundição destes componentes por apresentarem elevada fluidez, fundibilidade e propriedades mecânicas relativamente elevadas.

Na tabela 2 tem-se as ligas de alumínio mais utilizadas comercialmente e o percentual de cada componente da liga.

**Tabela 2- Especificações de composições químicas para algumas ligas Al-Si de maior utilização comercial.**

| Liga        | Processo  | Si(%)       | Fe(%)     | Cu(%)     | Mg(%)       | Zn(%)     |
|-------------|-----------|-------------|-----------|-----------|-------------|-----------|
| A356        | Gravidade | 6,5 - 7,5   | 0,20 máx. | 0,20 máx. | 0,25 – 0,45 | 0,10 máx. |
| 356/SAE323  | Gravidade | 6,5 - 7,5   | 0,60 máx. | 0,20 máx. | 0,20 – 0,45 | 0,35 máx. |
| A413        | Gravidade | 11,0 – 13,0 | 0,20 máx. | 0,10 máx. | 0,05 máx.   | 0,10 máx. |
| A319        | Gravidade | 5,5 – 6,5   | 1,0 máx.  | 3,0 - 4,0 | 0,10 máx.   | 3,0 máx.  |
| ALSi9Cu3    | Gravidade | 8,0 – 10,0  | 0,50 máx. | 3,0 - 4,0 | 0,10 máx.   | 0,50 máx. |
| A380/SAE306 | Injeção   | 7,5 – 9,5   | 1,3 máx.  | 3,0 - 4,0 | 0,10 máx.   | 3,0 máx.  |
| 413/SAE305  | Injeção   | 11,0 – 13,0 | 0,50 máx. | 0,10 máx. | 0,05 máx.   | 0,50 máx. |
| 383         | Injeção   | 9,5 – 11,5  | 1,3 máx.  | 2,0 – 3,0 | 0,10 máx.   | 3,0 máx.  |

Fonte: Fuoco, 2017.

O presente trabalho foca na liga SAE306 injetada sob pressão. Por ser uma das ligas mais utilizadas para esta finalidade cabe aqui um maior aprofundamento das suas propriedades.

### 2.1.1 Liga SAE306

De acordo com Tratho, 2021, a liga SAE306 é uma liga indicada para fundição sob pressão, pois possui boa usinabilidade que permite obter peças com características mecânicas médias e peças com espessuras de paredes variadas.

As propriedades da Liga SAE306 encontra-se na tabela 3.

**Tabela 3- Propriedades Físicas da Liga SAE306**

| Propriedades Físicas            | Liga SAE306 |
|---------------------------------|-------------|
| Intervalo de Solidificação (°C) | 520 – 580   |
| Módulo de Elasticidade (GPA)    | 71          |
| Resistência à Tração (MPA)      | 325         |
| Tensão de Escoamento (MPA)      | 160         |
| Dureza (HB)                     | 80          |
| Tensão de Cisalhamento (MPA)    | 185         |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| Resistência à Fadiga (MPa) | 140 |
|----------------------------|-----|

Fonte: Adaptado de Norma B85, 2010 e De Moura, 2006. Retirado de Ferreira de Camargo, 2014.

Na tabela 4 estão as concentrações de composição aceita para a liga SAE306.

**Tabela 4- Especificações de composições químicas para liga SAE306.**

| Liga        | Processo | Si(%)     | Fe(%)    | Cu(%)     | Mg(%)     | Zn(%)    |
|-------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|
| A380/SAE306 | Injeção  | 7,5 – 9,5 | 1,3 máx. | 3,0 - 4,0 | 0,10 máx. | 3,0 máx. |

Fonte: Fuoco, 2017.

Os efeitos dos elementos de liga são benéficos em maior parte para ligas de alumínio fundidas sob pressão, quando utilizadas em teores adequados. O Silício teria um efeito de aumentar a resistência e fluidez, além de reduzir a contração do metal, o Cobre aumenta a resistência a tração, mas em contrapartida, reduz a ductibilidade. O Magnésio aumenta a resistência, mas reduz a fluidez, o Manganês refina a microestrutura, mas gera inclusões em grandes teores e o zinco aumenta a fluidez da liga. (Camargo, 2014)

De acordo, também com Camargo, 2014, os defeitos de fundição tendem a se formar na última região de solidificação, portanto deve-se observar a região do núcleo dos fundidos para uma análise correta dos defeitos.

Durante a solidificação de ligas hipoeutéticas há formação de dentritas de alumínio  $\alpha$ , a matriz de alumínio, abaixo da linha *liquidus*. Essas dentritas continuam a crescer deslocando as impurezas para o contorno de grão ou as retendo nos braços dentríticos secundários. Isso resulta na formação de precipitados, óxidos e gases, por exemplo) nas regiões entre grãos. (Corradi, 2001)

Por conta desse deslocamento, defeitos de fundição tem a tendência de se formar na última região de solidificação, principalmente na região central. As fases e os precipitados presentes na liga SAE306 estão demonstradas na figura 1, assim como a ilustração do formato de cada fase ou precipitado.

**Figura 1- Representação da formação da microestrutura do Alumínio SAE306.**

| Temperatura (°C) | Fase  | Momento da formação |
|------------------|---|---------------------|
| 650              | $Al_{10}(Fe, Mn)_2Si_3$ (primário)  | Pré-dendrítico      |
| 600              | Dendritas de alumínio- $\alpha$ , $Al_{10}(Fe, Mn)_2Si_3$ e/ou $Al_5FeSi$ | Dendrítico          |
|                  |   | Pós-dendrítico      |
|                  |   | Pré-dendrítico      |
| 550              | Eutético (Al+Si) e $Al_5FeSi$   | Eutético            |
|                  |   | Coeutético          |
| 540              | $Mg_2Si$ (Mg > 0,2%)  | Pós-eutético        |
| 520-540          | $Al_2Cu$  | Pós-eutético        |
| 480-500          | Fases complexas com vários materiais (Si, Fe, Mg, Cu e Zn)                | Pós-eutético        |



Fonte: Adaptado de Kleine, et al, 2013, retirado de Camargo, 2014.

## 2.2 Processo de Injeção Sob Pressão

Consiste em um processo de formação no qual um metal líquido fundido contido em um recipiente (câmara de injeção) é injetado a velocidade e pressão controladas em uma cavidade de um molde de aço por meio de um pistão. (Malavazi,2010) (ABAL, 2019)

Seu tempo de preenchimento pode ser de alguns milissegundos até meio segundo dependendo do tamanho do componente. Esse tempo extremamente curto para preencher o molde minimiza a tendência do metal se solidificar prematuramente e possibilita seu fluxo até o preenchimento de seções muito finas. Por sua solidificação rápida, a peça desenvolve propriedades que não são desenvolvidas em outros processos. (Malavazi,2010) (ABAL, 2019)

As peças atuais podem ser projetadas com maior ênfase nos critérios estruturais e menos limitações em termos de processo devido a utilização de sistemas de controle e monitoramento do fluxo do metal. (Malavazi,2010) (ABAL, 2019)

A injeção sob pressão se divide em três fases, na primeira é onde se define a posição do pistão que se desloca dentro da bucha da injeção e o ar é eliminado da câmara de injeção. Na segunda fase, há o curso restante do pistão, no qual o alumínio no estado líquido preenche a matriz. E na terceira fase, também conhecida como pressão de recalque, é utilizada para expulsar o ar ainda preso e compensar a variação volumétrica durante a contração do metal. (Concer D, Marcondes P. V. P, 2016).

A fundição sob pressão pode ser classificada como em câmara quente, no qual o forno é junto com a máquina de fundição e câmara fria, no qual o forno é

separado da máquina de injeção e tem apenas um local onde se armazena o alumínio fundido (Camargo,2014). O processo de fundição sob pressão em câmara fria será o foco desse trabalho.

### 2.2.1 Fusão de ligas de alumínio

A fusão da liga é o processo que está diretamente relacionada à qualidade da peça. Nessa etapa, a composição química é rigorosamente controlada, pois sua microestrutura e as propriedades da peça dependem diretamente da sua composição. Os procedimentos para distribuição homogênea, dissolução completa e minimização de perda por reações químicas secundárias dos materiais da liga também devem ser controlados. (Kiminami, 2013)

Gases dissolvidos estão geralmente presentes no metal fundido, caso a quantidade desses gases no metal líquido seja grande, durante a sua solidificação átomos dos gases rejeitados pelo metal em solidificação formam bolhas ou porosidade dentro da peça fundida, constituindo, assim, uma forma de defeito. (Kiminami & Castro, 2013)

#### 2.2.1.1 Processo de Desgaseificação

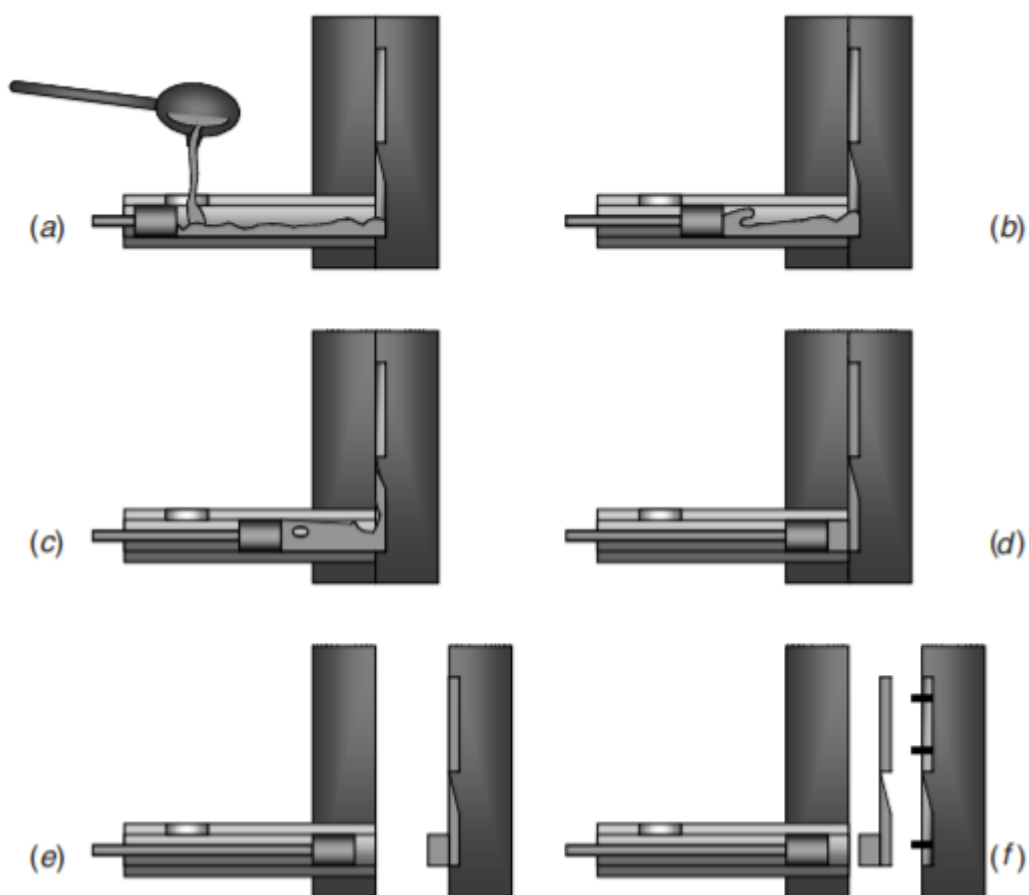
Na liga de alumínio fundida, o hidrogênio se encontra em forma monoatômica (H) e não na forma molecular ( $H_2$ ), então é necessário combinar átomos de hidrogênio com o intuito de formar hidrogênio gasoso. Para que esse processo ocorra, é necessário utilizar a desgaseificação, que consiste em utilizar um fluxo gasoso com a finalidade de introduzir bolhas gasosas, livres de hidrogênio, no banho metálico. À medida que ocorre a difusão dos átomos para as bolhas introduzidas é criado  $H_2$ , que é expelido para a atmosfera quando essas atingem a superfície. (Moreira, 2017)

### 2.2.2 Injeção Sob Pressão em Câmara Fria

Injeção Sob Pressão em câmara fria são tipicamente usadas para fundição convencional de componentes usando ligas de alumínio. De acordo com Vinarcik, 2003, nesse sistema, o sistema de injeção de metal só fica em contato com o metal fundido por um período curto de tempo. O metal líquido é colocado (ou medido por algum outro método) na injeção para cada ciclo.

Esse processo se dá pelo metal líquido medido em um sistema de injeção, que é então empurrado através de um sistema de canal em uma cavidade sob alta pressão. Após a solidificação completa, a matriz abre e o componente é ejetado. (VINARCIK,2003). A sistemática do processo pode ser observada na figura 2.

**Figura 2 – Sistemática do Processo de Injeção Sob Pressão em Câmara Fria**



Fonte: Vinarcik,2003.

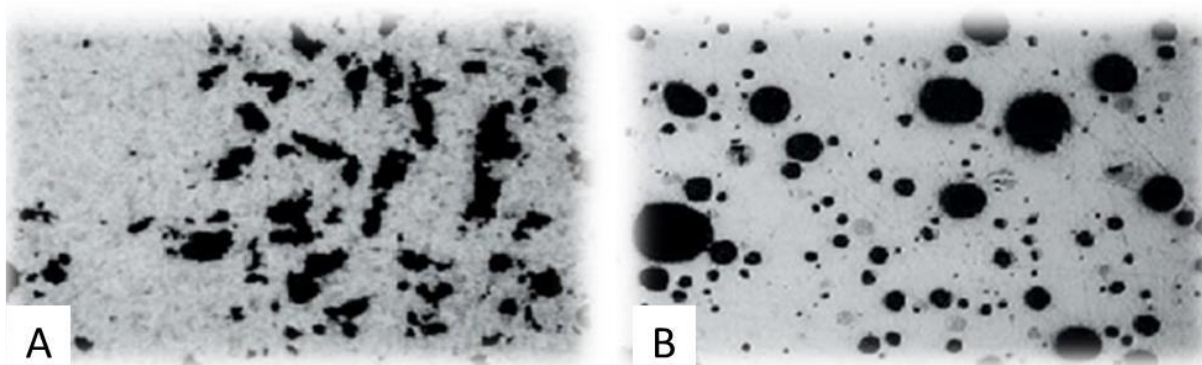
### 2.2.3 Defeitos na Injeção Sob Pressão

De acordo com Concer, 2016, o processo de fundição sob pressão pode causar alguns defeitos nos produtos injetados e, entre todos, a porosidade é o pior. De acordo com o NADCA, a porosidade é um dos problemas mais comuns presentes nesse processo.

### 2.2.3.1 Porosidade

É definida como a falha de preenchimento que se formou durante o preenchimento de um produto através da injeção sob pressão. Este defeito reduz as propriedades mecânicas e conseqüentemente, é considerada, como a principal causa de rejeição de componentes injetados através do processo injeção sob pressão. Há dois principais fatores que contribuem para a formação de porosidade na solidificação das ligas de alumínio. O primeiro é a contração resultante da variação volumétrica durante a solidificação, enquanto o segundo é o aprisionamento de gás, durante o fluxo de injeção (AMMAR, 2008). Segundo Camargo, 2014, os fatores que contribuem para a formação da porosidade requerem ações de correção diferentes, por isso deve-se certificar do tipo de porosidade existente, de modo a agilizar o processo de correção. A figura 3 demonstra a porosidade por contração (A) e a porosidade por gás preso (B).

**Figura 3– Porosidade por Contração (A) e por Gás Preso (B)**



**Fonte: Adaptado de Concer, 2016. Retirado de Vendrametto, 2019.**

De acordo com Malavazi, 2010, a melhor forma de reduzir a quantidade de ar aprisionado é garantir que as saídas de gases do molde estejam bem projetadas e funcionando adequadamente. Essas saídas devem ser posicionadas nas últimas



áreas do molde a serem preenchidas. Além disso, é importante garantir que estejam presentes em quantidade adequada.

Segundo Camargo, 2014, a porosidade por contração caracteriza-se pela forma irregular e superfície interna áspera. Conforme Orchan, 1994, isto se deve ao campo de forças formadas pela contração durante a solidificação do metal, formando vazios irregulares e de coloração própria, que evoluem à medida que há acúmulo de tensões residuais ao redor dos poros formados. Ocorrem geralmente na última região do fundido a solidificar. Há também a possibilidade de ocorrer porosidades por contrações em regiões onde havia concentrações de gases, mesclando os dois defeitos.

## **2.3 Ensaios para Caracterização de Defeitos em Ligas de Alumínio**

### **2.3.1 Raio-X**

De acordo com Mendes, 2018, os ensaios por raios X são utilizados para a inspeção não destrutiva de componentes, a fim de comprovar a qualidade de peças e verificar sua conformidade com as normas de fabricação e serviços. Segundo Andreucci, 2017, esses raios tem comprimento de onda extremamente curto, o que permite atravessar materiais que absorvem a luz visível.

Também de acordo com Andreucci, 2017, essa é uma técnica que aproveita a absorção diferenciada da radiação penetrante da peça que está sendo inspecionada. Devido diferenças nas características de absorção, cada região da peça absorverá diferentes quantidades de radiação. Essas diferenças são detectadas indicando possíveis falhas internas no material.

Segundo Mendes, 2018, as principais vantagens desse ensaio são:

- Alta sensibilidade de inspeção;
- Facilidade na interpretação da imagem;
- Exatidão dimensional da imagem;
- Resultado permanente.

### 2.3.2 Análise Metalográfica

Segundo Rijeza, 2021, a análise consiste em coletar informações por meio de imagem, através de Microscópio Óptico ou Microscópio Eletrônico de Varredura. Dependendo do objetivo da análise, se faz necessário ataque químico da superfície para obter contraste de coloração de fases ou inclusões.

As principais informações obtidas através dessa análise são:

- Processo de manufatura;
- Presença de tratamento termoquímico;
- Distribuição e Morfologia de fases intermetálicas;
- Tamanho e região de crescimento de grãos;
- Corrosão intergranular e/ou intragranular;
- Análise do modo de falha.

### 2.3.3 Análise de Espectrometria

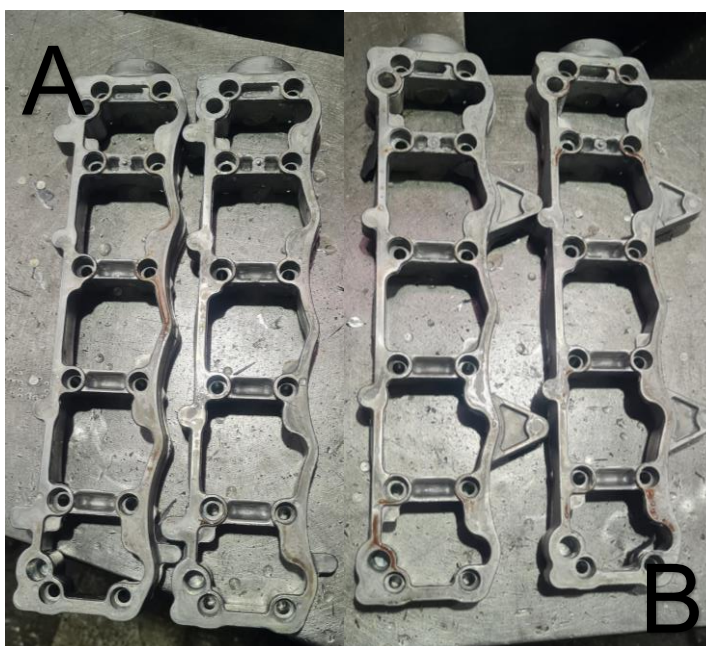
É um processo que consiste em analisar e identificar com precisão os elementos químicos presentes em um material. A espectrometria de emissão óptica é um ensaio que utiliza um equipamento chamado de espectrômetro que é capaz de emitir com segurança e precisão todos os dados necessários da composição química e das suas concentrações. (Colzato)

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa realizada foi considerando a injeção sob pressão de uma tampa de cabeçote, sendo que ela é dividida entre admissão e escapamento. Essa peça foi identificada para o estudo por apresentar elevado índice de refugo pela indústria por porosidade.

A liga utilizada foi a SAE 306 e a injetora utilizada foi a da marca LK GROUP, do tipo LK DCC Impress-Plus. que contém robô para descarte automático de peças e lubrificação automática. O molde utilizado para injetar a peça em questão consiste em 4 cavidades, duas de admissão e duas de escapamento. A figura 4 a seguir mostra as duas peças após serem injetadas.

**Figura 4– Peça Tampa de Cabeçote Escapamento (A) e Admissão (B)**



**Fonte: Acervo Pessoal.**

As peças apresentaram porosidade e a fim de descobrir a causa raiz por trás dessa porosidade, o trabalho começou conhecendo um pouco mais sobre as etapas do processo da peça em si. Após isso, dedicou-se aos ensaios de caracterização de onde foram propostas as possíveis causas do problema e como seria possível remediá-la.

### 3.1 Processo de Fusão

Inicialmente é realizado uma análise química por espectrometria de emissão óptica da matéria prima, a liga aprovada, vai para o forno de fusão tipo Torre. Na figura 5 é possível observar o forno utilizado para fundir o alumínio. O alumínio fundido é transferido para uma panela no qual passa pelo processo de F.D.U, o qual consiste na injeção de um gás inerte no metal com objetivo de levar as impurezas para a superfície e posteriormente remover a escória. Após esse tratamento, é retirado uma amostra que é analisada novamente pelo espectrômetro para verificar se o metal está nas condições aceitas para seguir o fluxo.

O alumínio fundido é então transferido para os fornos de espera das injetoras.

**Figura 5– Forno de fusão tipo Torre**



**Fonte: Acervo Pessoal.**

### 3.2 Processo de Injeção

A injetora utilizada é a da marca LK GROUP, que contém robô para descarte automático de peças e lubrificação automática e controle automático dos parâmetros de injeção. O molde utilizado para injetar a peça em questão consiste em 4 cavidades, duas de admissão e duas de escapamento, sua vida útil está em 32%.

O alumínio fundido, localizado no forno de espera, é transferido com um dosador para o canal de alimentação da injetora. A primeira fase da injeção começa permitindo a saída de ar da bucha até o início do canal de alimentação.

Logo após a primeira fase, já ocorre a segunda fase de injeção que consiste no preenchimento do molde em uma velocidade mais alta e em alta pressão. A fase três, que é a compressão do metal, então ocorre. A peça é então desmoldada, o molde lubrificado e o processo, então, ocorrem novamente. Os parâmetros de injeção utilizados na tampa do cabeçote são descritos na tabela 5.

**Tabela 5 -Parâmetros da Peça Injetada**

|                                       |       |
|---------------------------------------|-------|
| Tempo de Ciclo (s)                    | 115   |
| Velocidade de 1ª fase (m/s)           | 0,18  |
| Velocidade de 2ª fase (m/s)           | 5,5   |
| Temperatura da liga (°C)              | 660   |
| Dosagem de Alumínio para injetar (Kg) | 9,80  |
| Peso da Peça Pronta Escape (kg)       | 1,098 |
| Peso da Peça Pronta Admissão (Kg)     | 1,128 |
| Tempo de Resfriamento (s)             | 14    |

**Fonte: Acervo Pessoal.**

### **3.3 Ensaio de Caracterização**

Para realização dos ensaios foi utilizado uma peça do tipo admissão. A peça então foi cortada na empresa em três pedaços menores com o auxílio de uma fresadora, como mostrado na Figura 6.

Figura 6- Imagem da peça admissão cortada na fresa. Partes 1, 2 e 3 respectivamente.



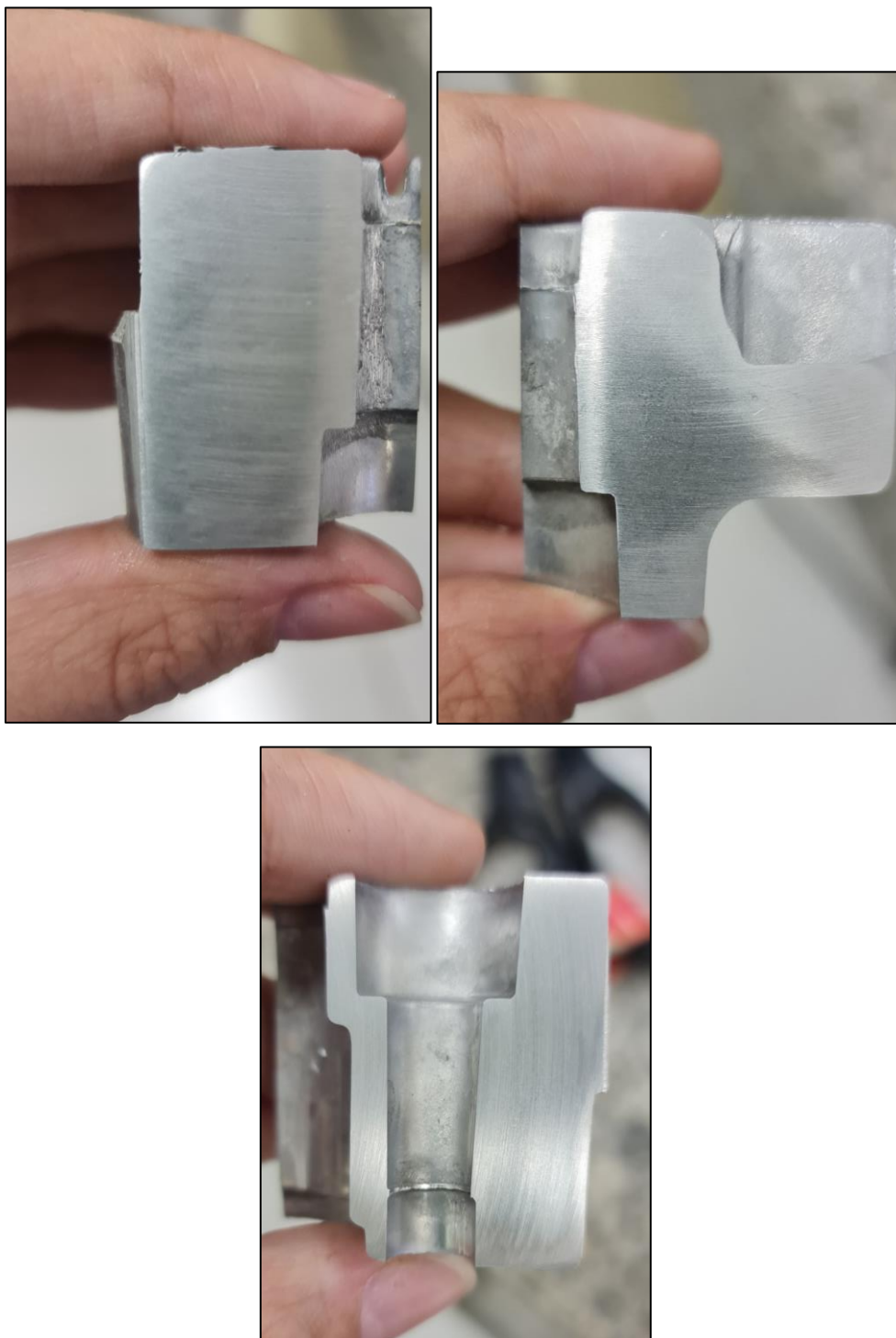
Fonte: Acervo pessoal.

Esta peça cortada foi seccionada por mais duas vezes com o auxílio de uma máquina policorte no laboratório de metalográfica da UTFPR Ponta Grossa, do qual resultou em três amostras para a análise. Para fazer o corte o procedimento se fez da seguinte maneira:

- i. Fixar a peça nas duas morsas de forma que esteja alinhada com o local que foi feito o corte longitudinal.
- ii. Ligar o fluido e posteriormente o motor de acionamento do disco.
- iii. Verificar se a amostra está sendo resfriada pelo fluido de corte.
- iv. Aplicar uma carga moderada sobre o corpo de prova até que esse esteja cortado.
- v. Retornar o disco na sua posição de descanso e desligar o motor e o fluido.
- vi. Soltar o corpo de prova da mesa de fixação.

Refaz os passos para a outra parte da peça. Como em um dos pedaços da peça resultou em duas superfícies para análise, a peça teve de ser cortada novamente de forma manual, tanto para separar as superfícies quanto para garantir a planicidade das amostras. As amostras A, B e C resultantes do corte estão ilustradas na Figura 7. A amostra A e B foram retiradas da parte 3 e a amostra C foi retirada da parte 2,

**Figura 7- Imagem das amostras A, B e C**



**Fonte: Acervo Pessoal.**

### 3.3.1 Radiografia por Raios-X

O ensaio consistiu na análise da peça admissão e foi realizado na empresa que foi recebida a peça. O procedimento utilizado foi colocar a peça no dispositivo e

observar no computador as suas partes para identificação dos defeitos. As regiões que contém defeito na peça ficam com uma coloração mais clara e opaca.

### 3.3.2 Ensaio de Metalografia

Para as amostras utilizadas, foi necessário usar o lixamento semiautomático e o ensaio ocorreu no laboratório de metalografia da UTFPR Ponta Grossa.

A técnica de lixamento consistiu em lixar a amostras com lixas de granulometrias cada vez maiores, mudando de direção ( $90^\circ$ ) em cada lixa subsequente até que os traços da lixa anterior desapareçam.

Para as três amostras, o lixamento foi manual e úmido, iniciando na lixa 400, passando pela lixa 600 e terminando na lixa 1200. O procedimento consiste em:

- i. Limpar o prato que vai a lixa com água corrente para garantir que não haja partículas restantes de outros lixamentos.
- ii. Colocar a lixa a ser utilizada e fixar com o tampo.
- iii. Ligar o fluído e posteriormente o motor de acionamento da lixa.
- iv. Posicionar a peça para que seja feito o lixamento.
- v. Trocar a lixa e repetir os passos até que sejam passadas todas as lixas.

Após o lixamento das amostras, se fez necessário o polimento. O procedimento utilizado no polimento é bem semelhante ao lixamento. Para isso, foi utilizado o processo mecânico, com o auxílio de uma politriz. O agente polidor utilizado foi a suspensão de diamante  $0,1\mu$  para a amostra B e a suspensão de alumina  $0,3\mu$  para as amostras A e C, foi usado agentes diferentes para polimento para verificar a possibilidade de encontrar maior número de defeitos.

Os procedimentos para o polimento foram:

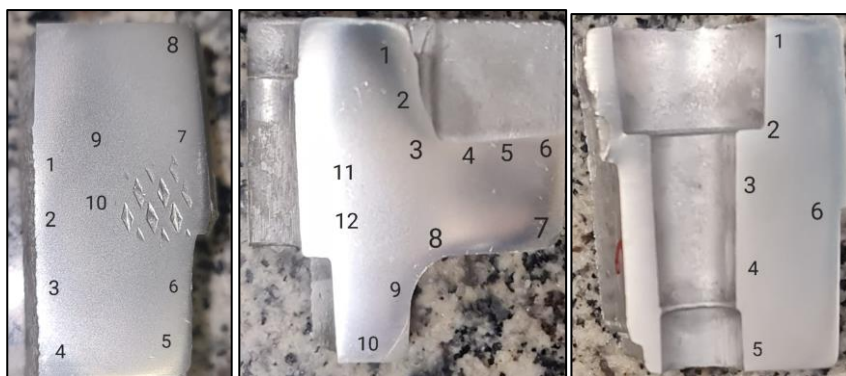
- i. Verificar o pano de polimento se está limpo e em condições de uso.
- ii. Ligar a água (bem pouco).
- iii. Ligar o motor de acionamento da politriz.
- iv. Espalhar sobre o pano o agente polidor.
- v. Posicionar as amostras para que seja feito o polimento.
- vi. Lavar para tirar resquícios de alumina e diamante e secar as amostras com o secador.



Por terem um bom acabamento superficial e ter sido possível analisar os defeitos previamente pelo microscópio, não se fez necessário o ataque químico, as amostras foram do polimento direto para a análise do microscópio.

Para a análise microscópica, foram tiradas imagens de dez partes distintas da amostra A, doze imagens da amostra B e seis imagens da amostra C. Na figura 8 tem os esquemas dos lugares de onde foram tiradas as imagens. As marcas da amostra A são as marcas da morsa utilizada para fazer o corte e que não foram retiradas com o lixamento.

**Figura 8- Esquema das regiões em que foram feitas as imagens microscópicas das amostras A, B e C, respectivamente.**



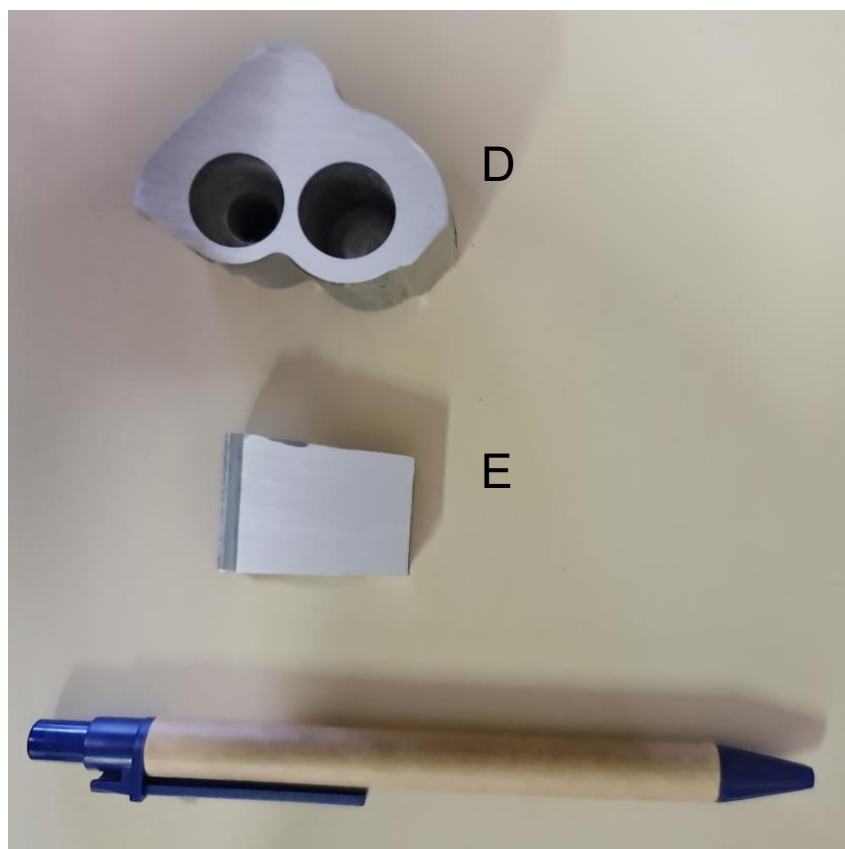
**Fonte: Acervo Pessoal**

### 3.3.3 Ensaio de Espectrometria de emissão óptica

Para esse ensaio, foi necessário cortar mais duas amostras, pois as amostras utilizadas para metalografia já haviam sido polidas e para um melhor resultado do ensaio com o espectrômetro, as amostras devem estar apenas lixadas com uma lixa de granulometria mais grossa.

Foi pego um pedaço de peça e cortado em duas amostras com o serrote. A peça foi fixada na morsa para maior estabilidade e, então, foi cortada a primeira amostra e repetindo o processo para a outra amostra. A figura 9 mostra as amostras D e E respectivamente, as duas amostras foram retiradas da parte 1 da peça.

**Figura 9- Imagem das amostras D e E, respectivamente.**



**Fonte: Acervo Pessoal**

Após as amostras serem cortadas, as duas foram passadas na lixa semiautomática para um lixamento manual e seco. Elas foram passadas apenas na lixa 80 devido a sua maior granulometria.

Para realizar o ensaio, as amostras foram colocadas no dispositivo para fazer a queima do material. Foram feitas três queimas em cada amostra e tirada a média dos resultados.

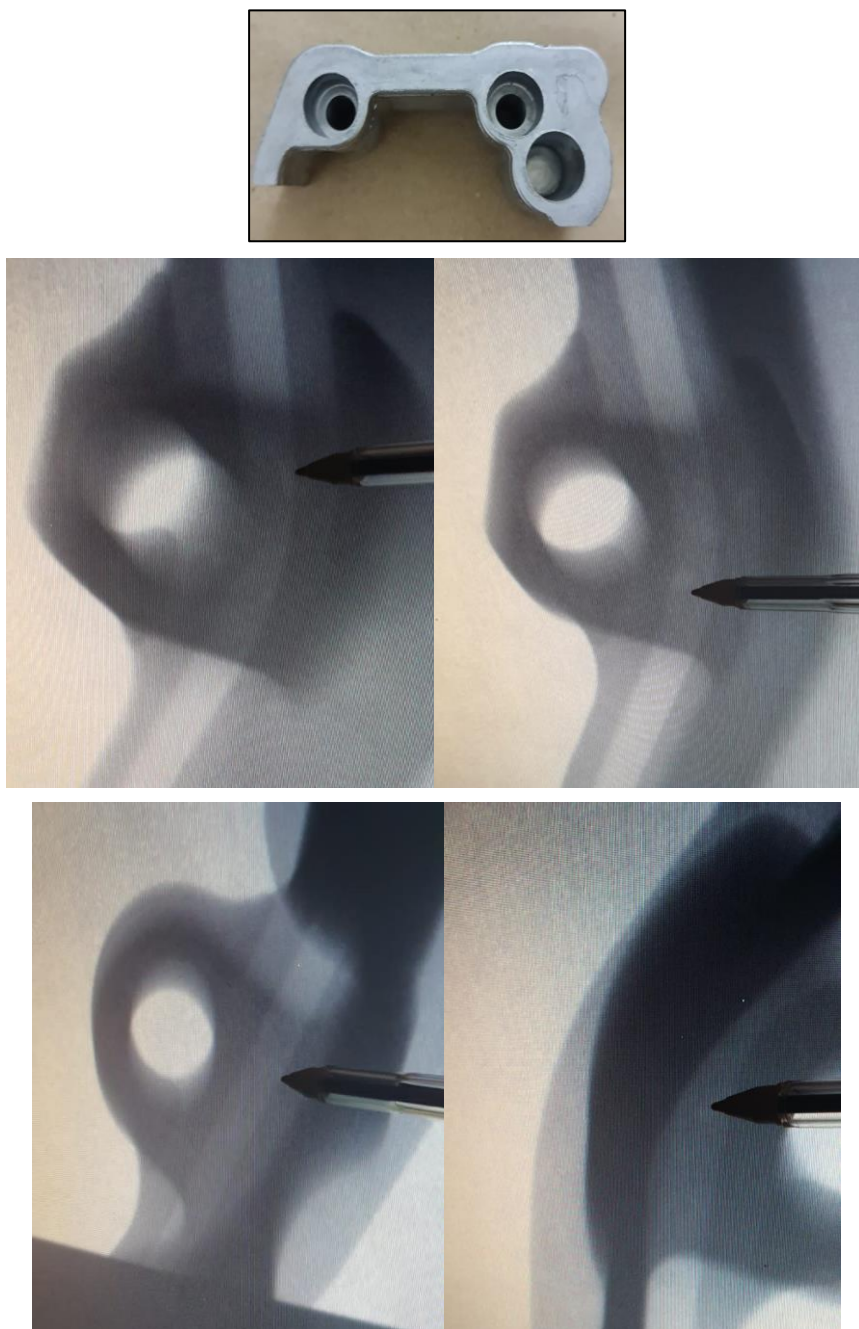
## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Ensaios de Caracterização de Defeitos**

#### **4.1.1 Análise de defeitos por Raio X**

A figura 11 mostra as imagens do ensaio de Raio X realizados na peça de admissão estudada. As partes mais claras indicadas pela caneta são as áreas que contém defeito.

Figura 10- Imagem A a D do Raio X da parte 3 da peça admissão.



Fonte: Acervo pessoal.

Através desse ensaio e das imagens apresentadas é observado que a região predominante de defeitos é próxima aos furos da peça.

#### 4.1.2 Caracterização metalográfica das amostras

#### 4.1.2.1 Amostra A

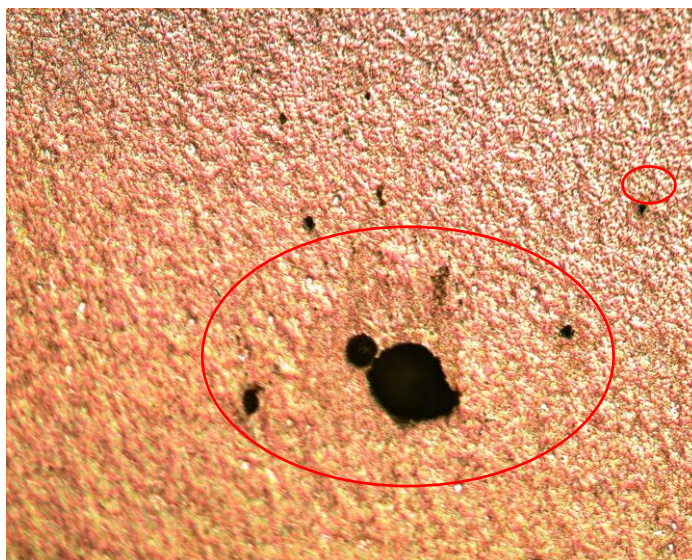
**Figura 11- Regiões que foram feitas as análises da amostra A.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

Na figura 12 que demonstra a micrografia da amostra A, região 1, no qual há a presença de uma porosidade consideravelmente grande e ao seu redor há o que pode chamar de precipitado. As porosidades são os pontos pretos na figura, enquanto as áreas que aparentemente apresentam os precipitados estão destacadas em vermelho. A ampliação utilizada foi de 62,5x.

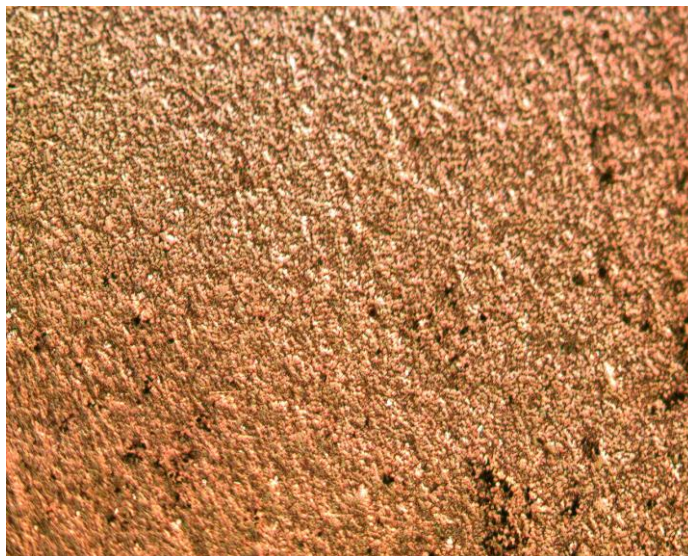
**Figura 12- Micrografia amostra A região 1.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

Na figura 13 que demonstra a micrografia da amostra A, região 2, é possível notar a presença de pequenas porosidades, mas concentradas em certas regiões da figura. A ampliação utilizada foi de 62,5x.

**Figura 13- Micrografia amostra A região 2.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

Na figura 14 da micrografia da amostra A, região 3, há uma pequena quantidade de microporosidades dispersas na imagem e não é perceptível a formação de precipitações. O risco que aparece mais na parte superior da imagem é devido as marcas da morsa que não foi retirado com o lixamento, mas que são desprezados para a análise. A ampliação utilizada foi de 62,5x.

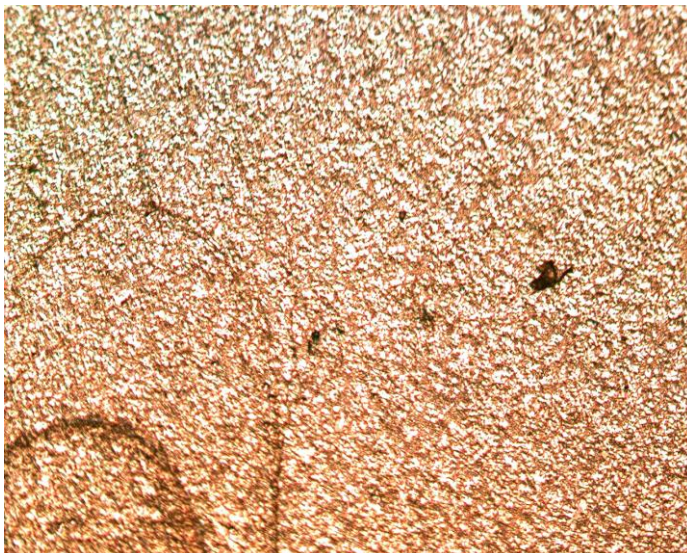
**Figura 14- Micrografia amostra A região 3.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

Nas regiões 4,5,6 e 7 das figuras 15, 16, 17, e 18, há a presença de porosidades, mas são de dimensões muito pequenas e são isoladas. A ampliação utilizada foi de 62,5x.

**Figura 15- Micrografia amostra A região 4.**



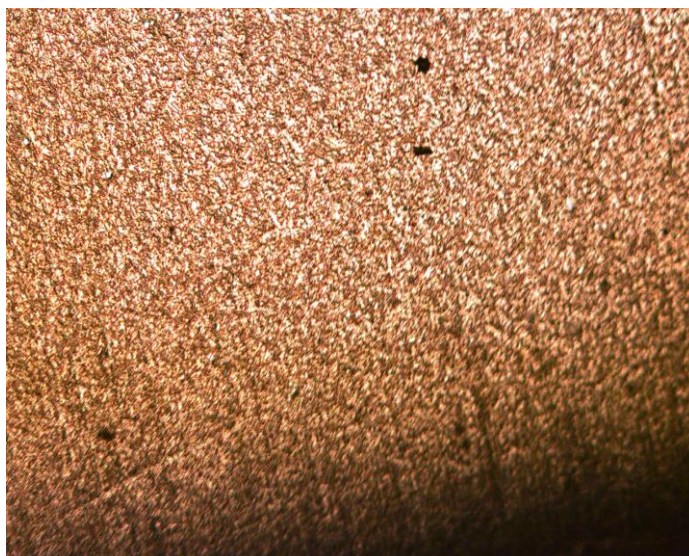
**Fonte: Acervo pessoal.**

**Figura 16- Micrografia amostra A região 5.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

**Figura 17- Micrografia amostra A região 6.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

**Figura 18- Micrografia amostra A região 7.**

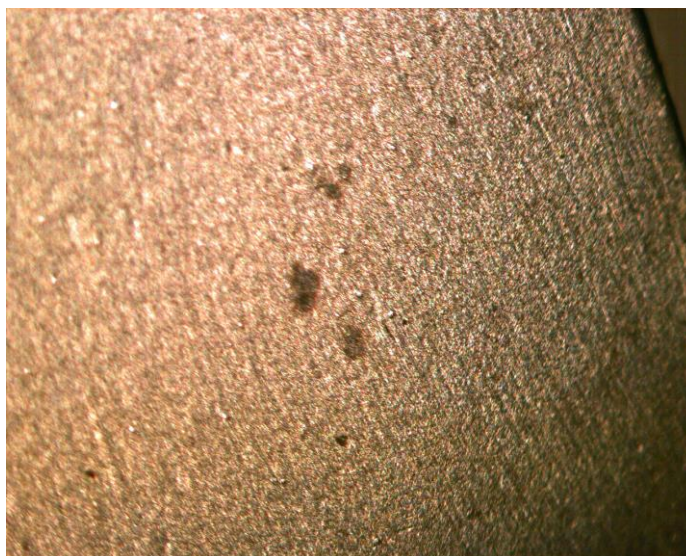


**Fonte: Acervo pessoal.**

Na figura 19, da micrografia da amostra A, região 8, é possível observar que na região central há três pontos com porosidades.



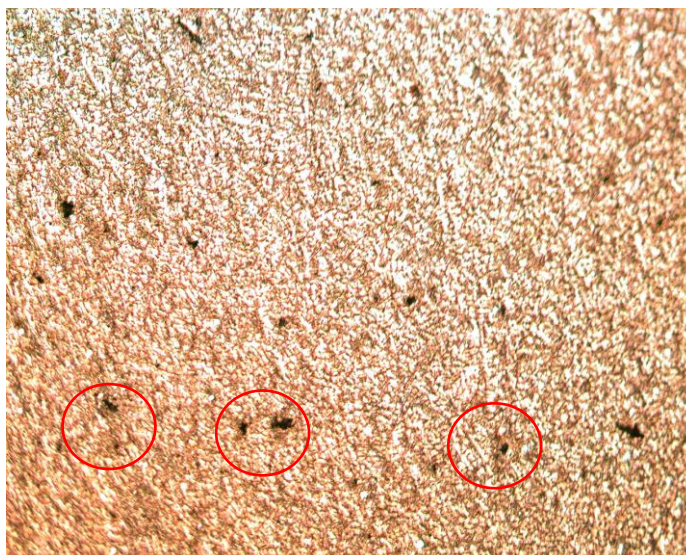
**Figura 19- Micrografia amostra A região 8.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

Na região 9, demonstrada pela figura 20, é perceptível vários pontos de porosidade espalhados pela imagem, porém de tamanho pequeno, juntamente com algumas manchas que podem ser precipitações, destacadas em vermelho. A ampliação utilizada foi de 62,5x.

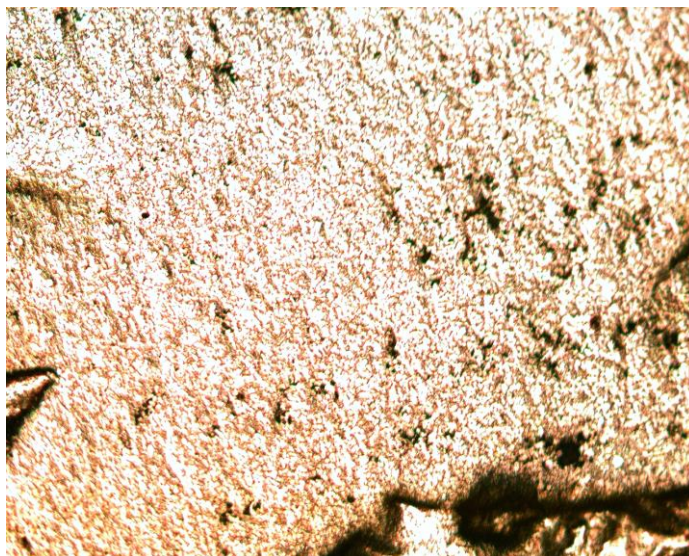
**Figura 20- Micrografia amostra A região 9.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

Na região 10, demonstrado na figura 21, há uma grande quantidade de porosidade concentrada em vários pontos mais a direita. As partes mais inferior e a esquerda da imagem são marcas da morsa que não foram retiradas com a lixa e serão desprezadas. A ampliação utilizada foi de 62,5x.

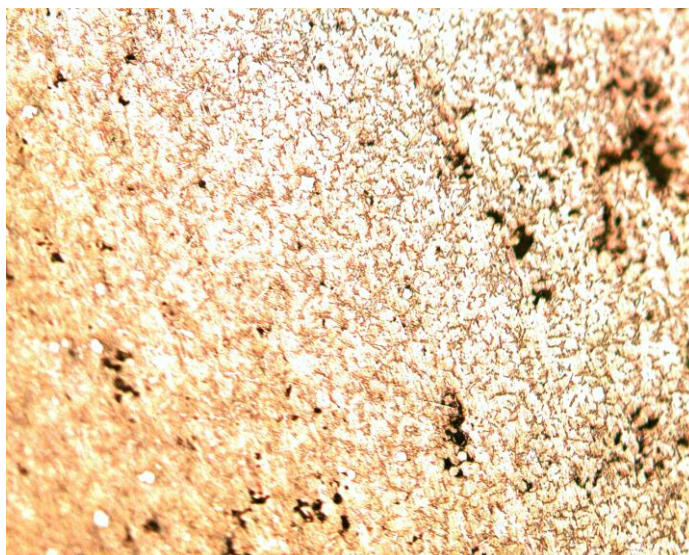
**Figura 21- Micrografia amostra A região 10.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

Na figura 22, há uma maior ampliação, o que permite observar melhor as microestruturas presentes e também as porosidades. A ampliação utilizada foi de 125x.

**Figura 22-Micrografia amostra A região 10.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

Nas figuras 23 e 24, que são ampliações maiores na região 10, é possível ver as características da porosidade e os tipos de microestrutura presentes. Na figura 24, há porosidades de maior tamanho e na figura 23 há mais quantidade de porosidades, porém mais espalhadas. Essas porosidades encontradas na região 10, de acordo com

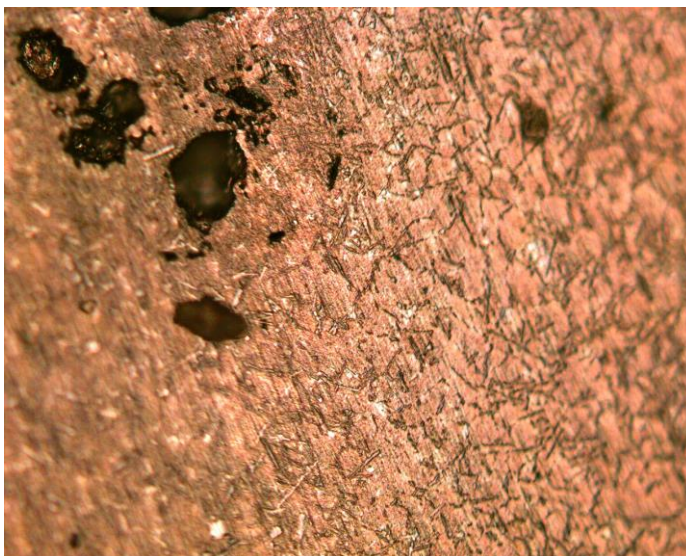
a sua forma, pode-se dizer que é por contração, ou seja, pelo processo de injeção. A ampliação utilizada foi de 250x.

**Figura 23- Micrografia amostra A região 10.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

**Figura 24- Micrografia amostra A região 10.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

A partir das regiões 9 e 10, mostradas nas figuras 20 a 24, é possível notar que são as regiões que apresentam mais porosidades e também são as regiões que foram analisadas mais internamente.

#### 4.1.2.2 Amostra B

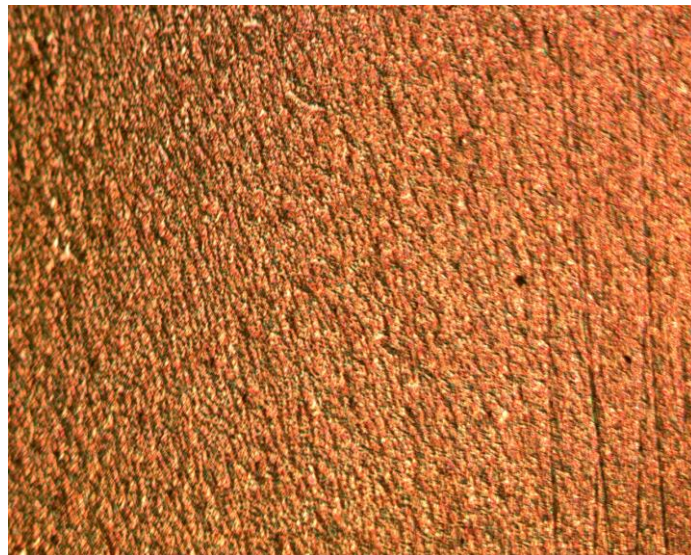
**Figura 25- Regiões que foram feitas as análises da amostra B.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

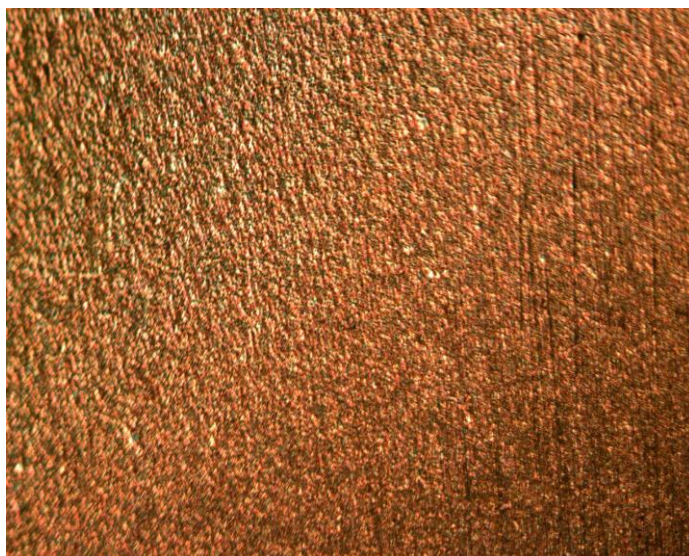
Na amostra B regiões 1, 2 e 3 das figuras 26, 27 e 28 há pequenas microporosidades espalhadas. A ampliação utilizada foi de 62,5x.

**Figura 26-Micrografia amostra B região 1.**



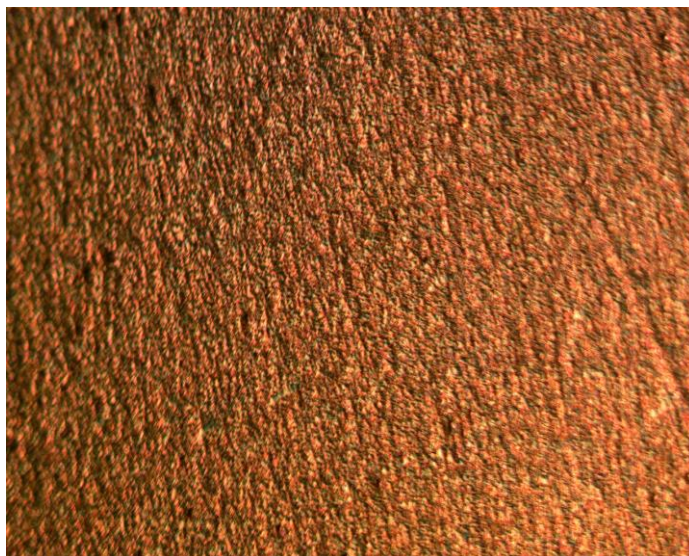
**Fonte: Acervo pessoal.**

**Figura 27- Micrografia amostra B região 2.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

**Figura 28- Micrografia amostra B região 3.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

Na região 4 mostrada na figura 29, é possível observar porosidades de forma diferente das demais, que seria a porosidade pelo processo, ou seja, por contração. A ampliação utilizada foi de 62,5x.

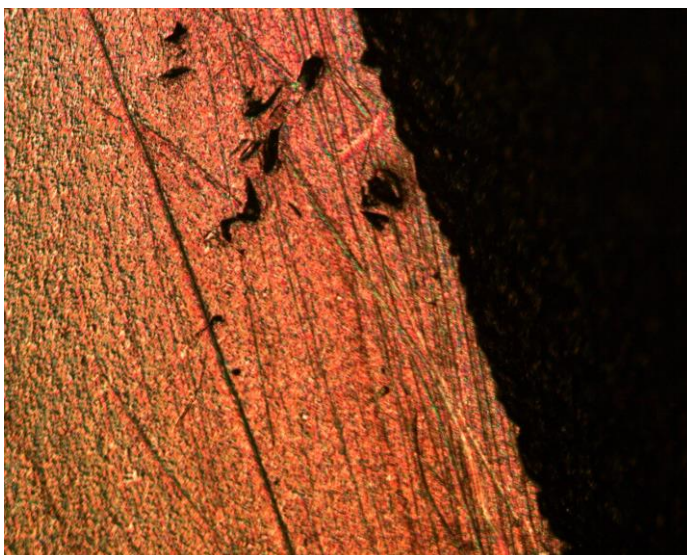
**Figura 29- Micrografia amostra B região 4.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

Na região 5, figura 30, também é possível notar porosidades por contração, que fica mais na extremidade da peça. A ampliação utilizada foi de 62,5x.

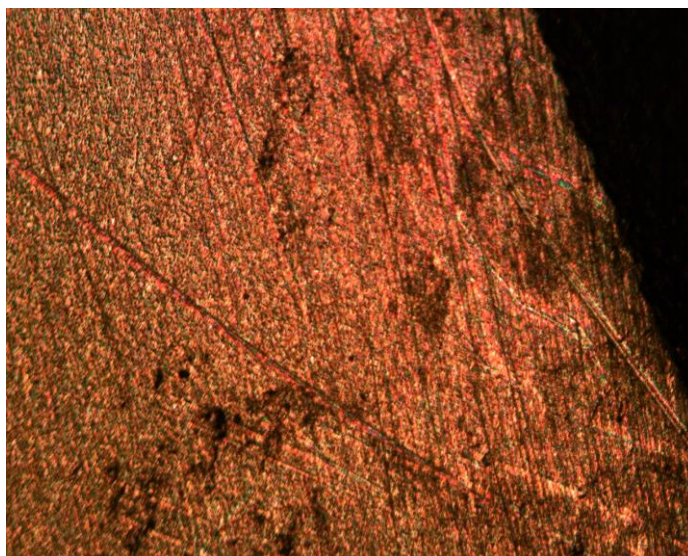
**Figura 30- Micrografia amostra B região 5.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

Na região 6, figura 31, há uma nuvem de porosidade, mas que não é tão nítida quanto as outras. A ampliação utilizada foi de 62,5x.

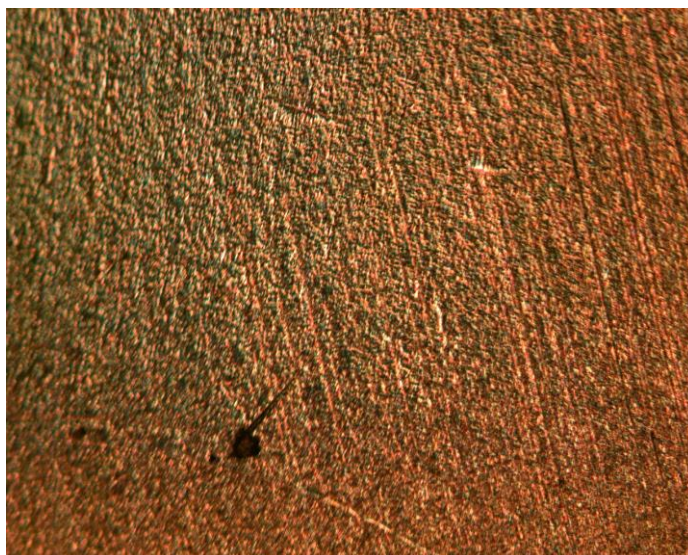
**Figura 31- Micrografia amostra B região 6.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

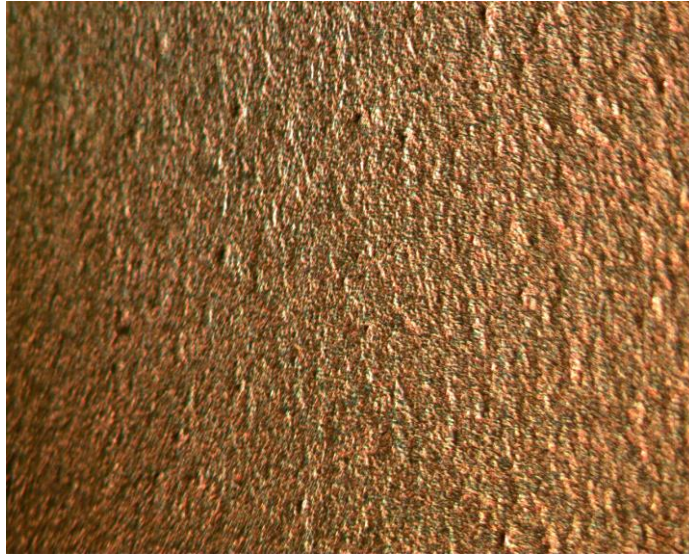
Nas regiões 7 e 8, figuras 32 e 33, há microporosidades espalhadas. A ampliação utilizada foi de 62,5x.

**Figura 32- Micrografia amostra B região 7.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

**Figura 33- Micrografia amostra B região 8.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

Na região 9, figura 34, com maior ampliação é possível observar a microestrutura da peça. A microestrutura dessa região está na fase eutética. A ampliação utilizada foi de 12500x.

**Figura 34- Micrografia amostra B região 9.**

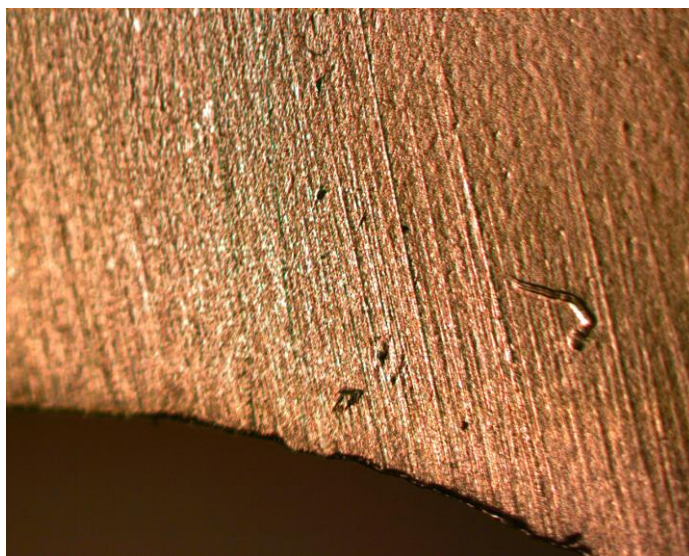


**Fonte: Acervo pessoal.**

Nas regiões 10 e 11, figuras 35 e 36, há microporosidades espalhadas. A ampliação utilizada foi de 62,5x. Na região 12, figura 37, também há microporosidades, porém seu aumento foi de 250x.

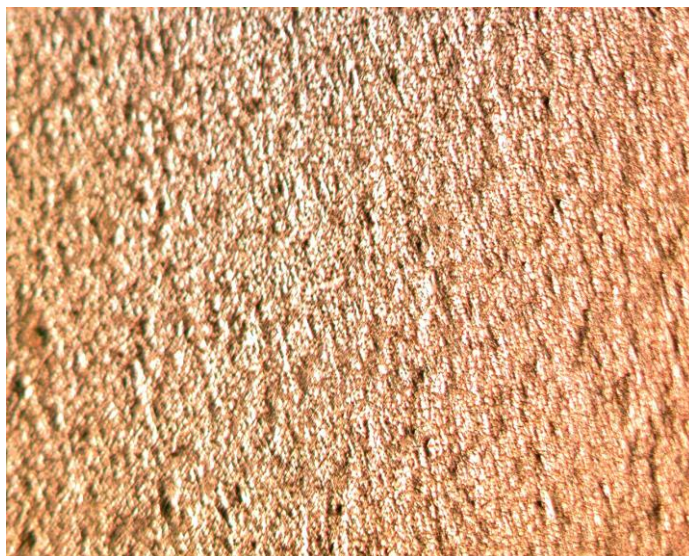


**Figura 35- Micrografia amostra B região 10.**



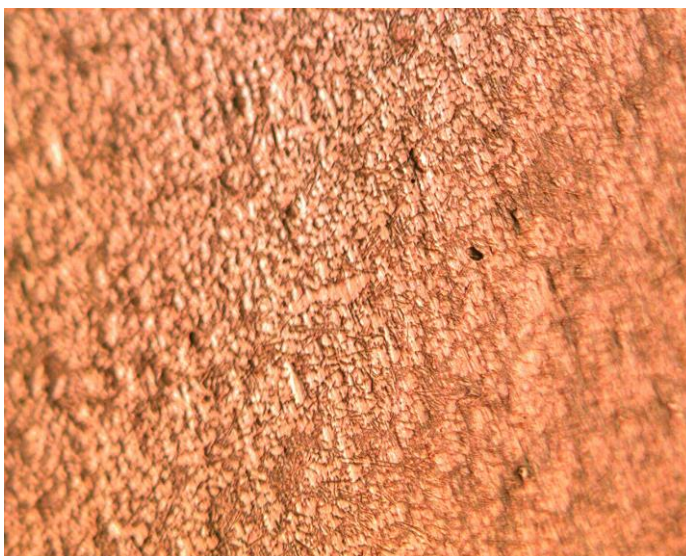
**Fonte: Acervo pessoal.**

**Figura 36- Micrografia amostra B região 11.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

**Figura 37- Micrografia amostra B região 12.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

#### 4.1.2.3 Amostra C

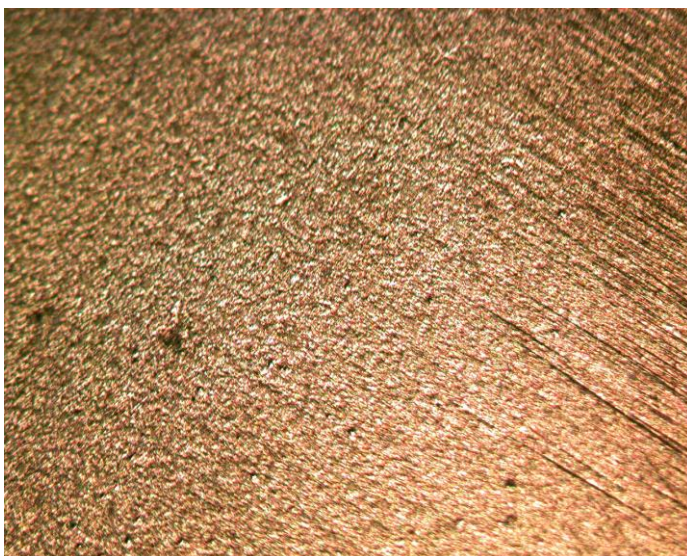
**Figura 38- Regiões que foram feitas as análises da amostra C.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

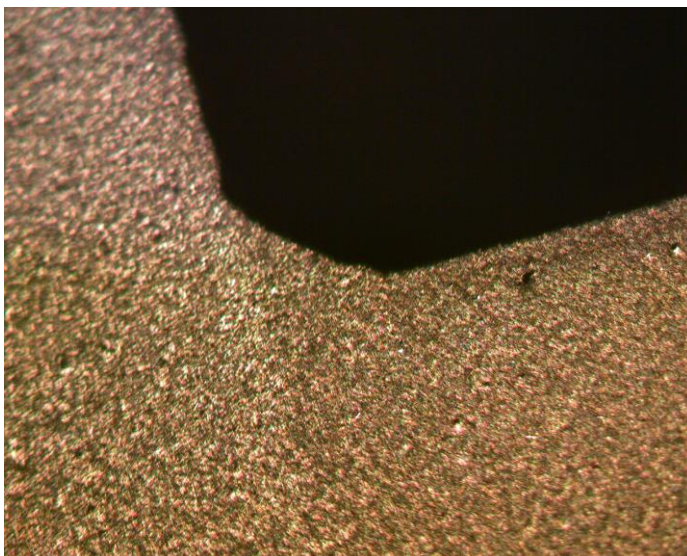
Na amostra C. regiões 1,2, 3, figuras 39, 40 e 41, há microporosidades espalhadas pela região. A ampliação utilizada foi de 62,5x.

**Figura 39- Micrografia amostra C região 1.**



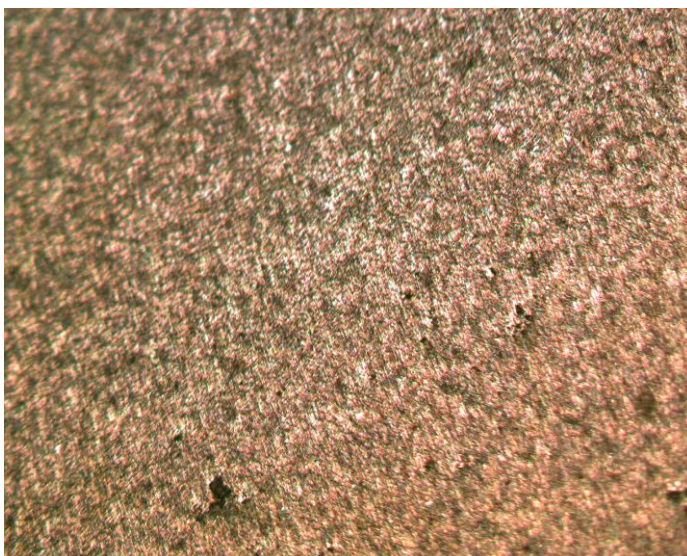
**Fonte: Acervo pessoal.**

**Figura 40- Micrografia amostra C região 2.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

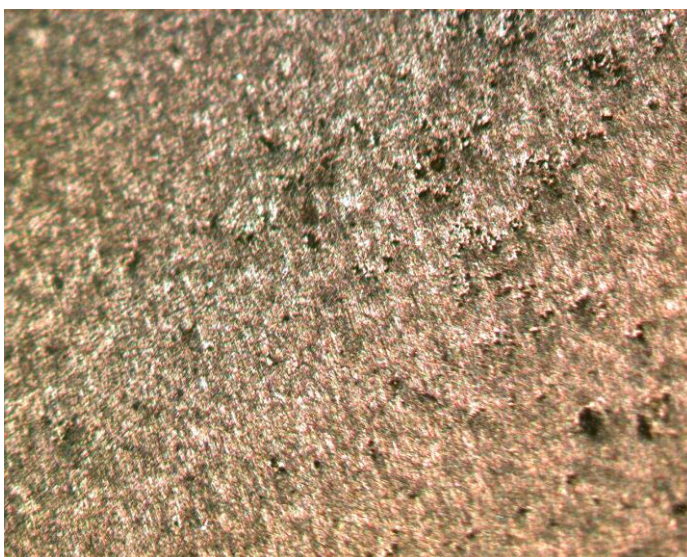
**Figura 41- Micrografia amostra C região 3.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

Na região 4, figura 42 ,há muitas porosidades espalhadas e pela sua forma é caracterizada por porosidade por gás. A ampliação utilizada foi de 62,5x.

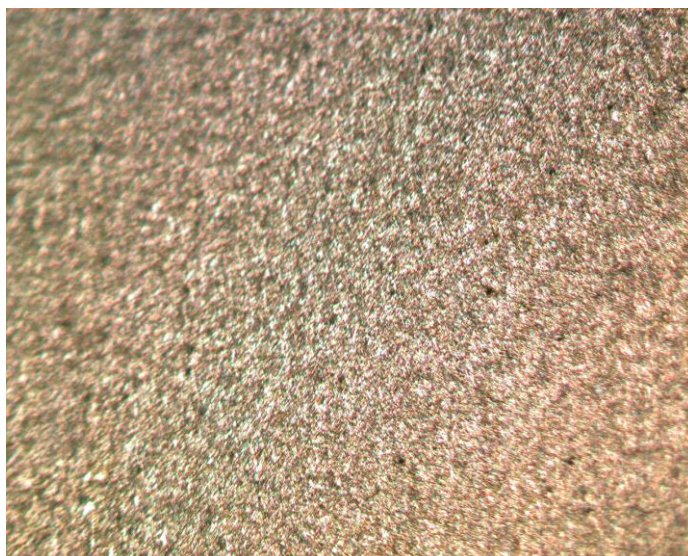
**Figura 42- Micrografia amostra C região 4.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

Na região 5, figura 43, há microporosidades espalhadas. A ampliação utilizada foi de 62,5x.

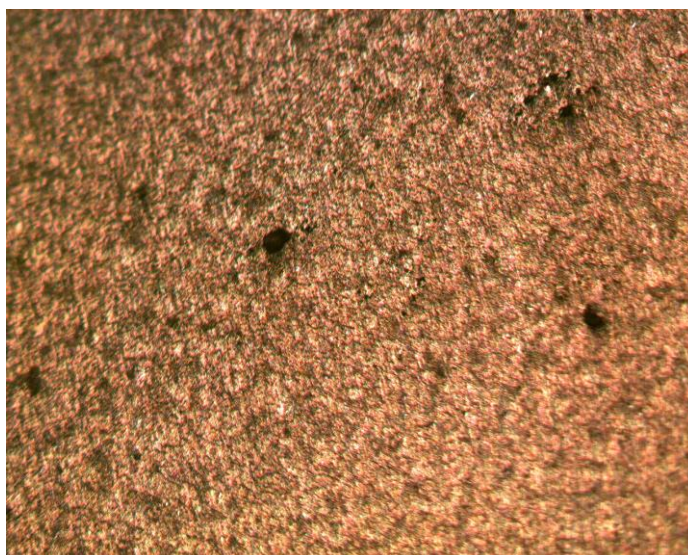
**Figura 43- Micrografia amostra C região 5.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

Na região 6, figura 44, também há microporosidades espalhadas e pela sua forma também é caracterizada por porosidade por gás. A ampliação utilizada foi de 62,5x.

**Figura 44- Micrografia amostra C região 6.**



**Fonte: Acervo pessoal.**

#### 4.1.3 Composição química por espectrometria de emissão óptica

Nas tabelas 7 e 8 há a análise de espectrometria realizada nas amostras D e E, foram realizadas três queimas em cada amostra e retirada a média delas. Esse

resultado fornece a concentração, em porcentagem, de cada elemento na amostra. Com a tabela 6, que é a quantidade permitida de concentração de cada elemento para a liga SAE306 pode se fazer a comparação e ver se as concentrações estão dentro do limite permitido e qual a consequência disso.

**Tabela 6- Especificações de composições químicas para liga SAE306.**

| Liga        | Processo | Si(%)     | Fe(%)    | Cu(%)     | Mg(%)     | Zn(%)    |
|-------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|
| A380/SAE306 | Injeção  | 7,5 – 9,5 | 1,3 máx. | 3,0 - 4,0 | 0,10 máx. | 3,0 máx. |

Fonte: Fuoco, 2017.

Na tabela 7 é observado que a concentração de Si está um pouco acima do recomendado, mas está no limite superior da norma técnica. O índice do Cu. O Mg e Zn também estão dentro do esperado.

**Tabela 7- Análise de Espectrometria da Amostra D.**

| Elemento | N=1     | N=2     | N=3     | Média   |
|----------|---------|---------|---------|---------|
| Cu       | 3,08    | 3,12    | 3,10    | 3,10    |
| Si       | 9,57    | 9,63    | 9,45    | 9,55    |
| Mg       | 0,03    | 0,03    | 0,03    | 0,03    |
| Zn       | 0,70    | 0,73    | 0,70    | 0,71    |
| Fe       | 1,12    | 1,10    | 1,10    | 1,11    |
| Mn       | 0,19    | 0,19    | 0,19    | 0,19    |
| Ni       | 0,07    | 0,08    | 0,08    | 0,08    |
| Ti       | 0,04    | 0,04    | 0,04    | 0,04    |
| Cr       | 0,02    | 0,03    | 0,02    | 0,02    |
| Sn       | 0,01    | 0,02    | 0,019   | 0,02    |
| Pb       | 0,07    | 0,07    | 0,07    | 0,07    |
| V        | 0       | 0       | 0       | 0       |
| P        | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Ca       | 0,00061 | 0,00118 | 0,00085 | 0,00088 |
| Allnt    | 4,80    | 5,08    | 5,33    | 5,07    |
| Al%      | 85,04   | 84,96   | 85,20   | 85,07   |

Fonte: Acervo Pessoal.

Na tabela 8 observa-se que a concentração de Si está acima do recomendado, pela média está 0,21% acima da concentração aceita. O índice de Fe está dentro do esperado para essa liga, assim como o Cu. O Mg e Zn também estão dentro do esperado.

**Tabela 8- Análise de Espectrometria da Amostra E.**

| Elemento | N=1     | N=2     | N=3      | Média   |
|----------|---------|---------|----------|---------|
| Cu       | 3,1577  | 3,1257  | 3,1433   | 3,1422  |
| Si       | 9,715   | 9,673   | 9,7343   | 9,7074  |
| Mg       | 0,03457 | 0,03435 | 0,03427  | 0,0344  |
| Zn       | 0,70431 | 0,71017 | 0,71231  | 0,70893 |
| Fe       | 1,1418  | 1,1152  | 1,1066   | 1,1212  |
| Mn       | 0,19086 | 0,1905  | 0,18945  | 0,19027 |
| Ni       | 0,08065 | 0,0794  | 0,07855  | 0,07953 |
| Ti       | 0,04504 | 0,04452 | 0,04323  | 0,04426 |
| Cr       | 0,02706 | 0,02516 | 0,02481  | 0,02568 |
| Sn       | 0,01895 | 0,01985 | 0,02012  | 0,01964 |
| Pb       | 0,06832 | 0,07185 | 0,07311  | 0,07109 |
| V        | 0       | 0       | 0        | 0       |
| P        | 0       | 0       | 0        | 0       |
| Ca       | 0,00075 | 0,00084 | 0,000096 | 0,00085 |
| Allnt    | 5,0547  | 5,2839  | 5,4273   | 5,2553  |
| Al%      | 84,815  | 84,909  | 84,839   | 84,855  |

Fonte: Acervo Pessoal.

Segundo Camargo, 2014, o Silício teria um efeito de aumentar a resistência e fluidez, além de reduzir a contração do metal.

## 4.2 Discussões

A partir das análises de Raio X, Metalografia e de composição por Espectrometria e das literaturas apresentadas, é possível concluir que o problema é a porosidade das peças. No caso das amostras analisadas na metalografia, é possível

notar uma mescla de porosidade por contração e por gases, o que conforme Orchan, 1994, há também a possibilidade de ocorrer porosidades por contrações em regiões onde havia concentrações de gases, mesclando os dois defeitos. Esse defeito ocorre normalmente na última região a se solidificar, o que seria coerente com a amostra analisada.

Para reduzir o defeito de gás aprisionado na peça, de acordo com Malavazi, 2010, a melhor forma é garantir que as saídas de gases do molde estejam bem projetadas e funcionando adequadamente. Essas saídas devem ser posicionadas nas últimas áreas do molde a serem preenchidas. Além disso, é importante garantir que estejam presentes em quantidade adequada.

Como a porosidade por contração é devido a contração resultante da variação volumétrica durante a solidificação (AMMAR, 2008), uma forma de solucionar esse problema seria no controle de velocidades que a peça é injetada.



## 5 CONCLUSÃO

Tendo em vista um problema recorrente de porosidade nas tampas de cabeçote, esse trabalho teve como objetivo descobrir os motivos desse defeito e propor possíveis soluções para que ele fosse solucionado. Através disso, foram feitas análises de Metalografia, Raio X e Espectrometria, chegando à conclusão que o defeito era resultado da combinação dos dois tipos de porosidade: por contração e por gases.

A porosidade por contração é por consequência da variação volumétrica na solidificação e a por gases é pela presença de gases presos na peça. As duas soluções propostas para isso foi o controle de velocidade na hora da injeção do alumínio e a implementação de saídas de gases na região afetada.

## REFERÊNCIAS

- ABAL (Associação Brasileira do Alumínio). **Alumínio: Características Químicas e Físicas**. São Paulo, 2019.
- ABAL (Associação Brasileira do Alumínio). **Aplicações do Alumínio: Automotivo e Transportes**. São Paulo, 2019.
- BALDAM, R. L.; VIEIRA, E. A. **Fundição: processos e tecnologias correlatas**. 2. Ed. São Paulo: Érica, 2014.
- CAMARGO, W. F. **Estudo do Processo de Desgaseificação por Nitrogênio da Liga de Alumínio SAE 306 na Fundição Sob Pressão**. 2014. 66 f. Relatório de conclusão de curso de graduação de Engenharia Mecânica, Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2014.
- CONCER, D; MARCONDES, P. V. P. Experimental and numerical simulation study of porosity on high-pressure aluminum die casting process. **The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**. Curitiba, p. 10, nov. 2016.
- FUOCO, R. Propriedades Mecânicas de Peças Fundidas em Ligas Al-Si. In: 17º Congresso de Fundição - CONAF, 2017, São Paulo. São Paulo, 2017. p. 31.
- GROOVER, M. P. **Fundamentos da Moderna Manufatura: Versão SI**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora, 2013.
- KIMINAMI, C. S.; CASTRO, W. B. **Introdução aos Processos de Fabricação de Produtos Metálicos**. 1. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2013.
- MALAVAZI, J.; YOSHINO, N. Y. **Manual de Fundição Sob Pressão**. 2010. Disponível em: < <https://issuu.com/prodweb/docs/manual-de-fundicao-sob-pressao>> Acesso em: 30 nov. 2021.
- MALISKA, A. M. **Microscopia Eletrônica de Varredura**. Apostila, Departamento de Engenharia Mecânica - LCM/LCMAI. 97 p. Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: < [http://www.usp.br/nanobiodev/wp-content/uploads/MEV\\_Apostila.pdf](http://www.usp.br/nanobiodev/wp-content/uploads/MEV_Apostila.pdf)> Acesso em: 08 dez. 2021.

MELO, M. L. N. M.; AMSTALDEN, J. Os Rumos do Mercado de Materiais para Componentes Automobilísticos. In: I Encontro Nacional de Tecnologia e Inovação em Materiais, 2000, São Carlos. São Carlos, 2000, p. 20.

MENDES, C. L.; SILVEIRA, A. M. **Ensaio Mecânicos**. 1. ed. Porto Alegre: Sagah Educação S.A, 2018.

MOREIRA, D. V. F. **Método de Quantificação da Porosidade em Ligas de Alumínio Fundidas**. 2017. 66 f. Dissertação de mestrado em Engenharia Metalúrgica e Materiais, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2017.

Rijeza Metalurgia. Metalografia: o que é e para que é utilizada essa análise? Disponível em: <<https://rijeza.com.br/blog/metalografia-o-que-e-e-para-que-e-utilizada-essa-analise/> > Acesso em: 9 dez. 2021.

RODRIGUES, A. C.; FURTADO, A. C. S. Análise Química por Espectroscopia de Raio-X por Dispersão Energia (EDs): Adaptação Aplicada à Raízes de Dendzeiro (*Eleais guineensis* JACQ.) In: 21º Seminário de Iniciação Científica da Embrapa Amazônia Oriental, 2017, Belém. Belém, 2017. p. 4.

SZCZEREPA, L. **Análise da Texturização de Molde de Injeção de Alumínio Através do Método Taguchi Sobre o Acabamento Superficial de uma peça**. 2015. 48 f. Trabalho de conclusão de curso de Tecnólogo em Fabricação Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta grossa, 2015.

TRATHO Metal Química LTDA. Alumínio. Disponível em: <<https://www.tratho.com.br/pdf/Aluminio.pdf> > Acesso em: 5 dez. 2021.

VENDRAMETTO, L. F. **Monitoramento e Controle de Parâmetros de Fundição Sob Pressão Através de Equipamento Eletrônico**. 2019. 48 f. Monografia de Especialização, apresentada ao Curso de Especialização em Automação Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

TRATHO Metal Química LTDA. Alumínio. Disponível em: <<https://www.tratho.com.br/pdf/Aluminio.pdf> > Acesso em: 5 dez. 2021.

COLZATO, M. **Fundamentos ICP OES** Disponível em: <  
<https://cmaa.esalq.usp.br/fundamentos-icp-oes/>> Acesso em: 03 jul. 2022.

ROHDE, R. A. **Metalografia Preparação de Amostras** :Uma abordagem pratica.

Versão-3.0. Disponível em:

<Rohde[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4313798/mod\\_resource/content/1/AP  
OSTILA\\_METALOGRAFIA.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4313798/mod_resource/content/1/APOSTILA_METALOGRAFIA.pdf)> Acesso em: 02 jun. 2022.