

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

JOÃO VITOR RAIMUNDO SILVA E SILVA

ESTUDO DE DESCONTINUIDADES NA FUNDIÇÃO DE COMPONENTES DE
ALUMÍNIO EM MOLDES DE AREIA VERDE

BELO HORIZONTE

2018

JOÃO VITOR RAIMUNDO SILVA E SILVA

**ESTUDO DE DESCONTINUIDADES NA FUNDIÇÃO DE COMPONENTES DE
ALUMÍNIO EM MOLDES DE AREIA VERDE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. João Bosco dos Santos

BELO HORIZONTE

2018

JOÃO VITOR RAIMUNDO SILVA E SILVA

**ESTUDO DE DESCONTINUIDADES NA FUNDIÇÃO DE COMPONENTES DE
ALUMÍNIO EM MOLDES DE AREIA VERDE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Aprovado em / /

BANCA EXAMINADORA

Prof. João Bosco dos Santos – Orientador

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. CEFET-MG

Prof. Dr. Joel Lima

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. CEFET-MG

Prof. Dr. Cláudio Turani Vaz

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. CEFET-MG

AGRADECIMENTOS

Muitas batalhas, esforço e dedicação mas, enfim, chegou o momento tão esperado: **A VITÓRIA!** O fim da jornada? **NÃO!** Foi dada a partida, e partirei em busca de novos ideais, sonhos e realizações... e o mais gratificante é ter a oportunidade de compartilhar este instante único com vocês, que me apoiaram e acreditaram no meu potencial.

SÓ EU E VOCÊS: Pai, Mãe, Tios/Tias, Madrinhas, Padrinhos, Irmão, Prima e Amigos sabemos o que passei (e passamos) para eu chegar até aqui!

Os momentos de sofrimento, angústias, insônia e saudades só me impulsionaram à busca de novos horizontes... E, por acreditar que este dia chegaria, me esforcei além dos meus limites e busquei, cada vez mais, a realização deste sonho que nunca foi só meu.

Meu coração não esquece o olhar e a voz doce dizendo: *“Vai com Deus e que Nossa Senhora te abençoe por onde for!”*, de você Vovó Terezinha, Vovô Zequinha, Vovó Almerinda, Vovô Moacir, Tia Thuêta e Tia Arlinda... quão, ainda mais perfeito, seria este momento com vocês aqui...

Por tudo isso, agradeço a Deus, autor, protetor e principal guia da minha vida. Aos meus pais, Milton e Liza, agradeço infinitamente pelo ser humano que me tornei. Uma pessoa capaz de não desistir dos objetivos, sem, jamais, ferir alguém. Hoje, sempre e para sempre o meu **MUITO OBRIGADO!**

Ao meu irmão Paulo Vitor, agradeço a paciência, afeto, lealdade e compreensão com as minhas ausências quando você mais me queria. Vocês, minhas tias e meus tios guerreiros e amáveis, foram fundamentais em toda essa trajetória.

Aos meu mestres, pelos conhecimentos brilhantemente compartilhados durante todos esses anos, tanto em projetos, gestão e execução, quanto em dedicação e doação ao próximo. Em especial, ao meu orientador Professor João Bosco dos Santos, ao Professor Joel Lima e ao Técnico Gilberto Caldeira. Aos funcionários da Coordenação de Política Estudantil e do DEMAT pelo incessante apoio dirigido à mim sem hesitação. Por tudo, a saudade há de ficar! Só tenho a agradecer a todos. Sem vocês, tanto este trabalho, quanto toda a minha formação intelectual, não seria possível.

Ao meu grande amigo Tio Sélvio! Você simplesmente foi, é, e sempre será **“O CARA!”**. Te amo! Vovó Rosa, tenho certeza que todas as suas orações zelosas chegaram até o céu e refletiram sobre mim, em forma de luz e força... meu muito obrigado!

Sr. Adão Ribeiro, Sra. Lígia Maria Ribeiro Sr. José Lucas Araújo e Sra. Maria Odete Teixeira, vocês foram presenças marcantes nesta caminhada. Toda a minha gratidão a vocês sempre!

Aos novos amigos que conquistei, em especial aos GRANDES Rogério Alves, Vitor Hugo Aguilar, Sorvete, Raphael Severino e Moisés Hatem, e aos velhos amigos que compreenderam e aceitaram meus momentos de falta e que, com certa dificuldade devido as circunstâncias, conseguiram me proporcionar momentos de distração em períodos menos estressantes, em especial os MITOLÓGICOS Deivit Lanchine, Victor Guimarães e Rodrigo Teixeira. Ao meu nobre amigo Flávio Motta, digo-lhe em particular, que sem a sua sincera e bondosa ajuda, eu simplesmente não poderia, ao menos, dar início a este projeto... sintam-se todos abraçados!

GRATIDÃO define este momento que é, sem dúvida, um dos mais especiais em minha vida. Conseguir chegar até aqui foi uma grande e árdua conquista. Estou feliz e orgulhoso.

Finalizo com a certeza de que o futuro só dependerá daquilo que tenho construído no presente...

"Deus, ao mar, o perigo e o abismo deu. Mas é nele que se reflete o céu."

- Fernando Pessoa.

RESUMO

O processo de fundição é um dos mais importantes e tradicionais métodos de fabricação de materiais metálicos, tratando-se, em tese, da maneira mais viável de se obter componentes de grandes dimensões e complexidade de formas. Tal procedimento, em especial o método em moldes de areia verde possui, porém, o revés da obtenção de peças totalmente isenta de descontinuidades. Este trabalho tem por objetivo a análise, via experimentos, do processo de fundição de alumínio em moldes de areia verde, através de moldagem manual, no que tange a ocorrência de descontinuidades que, caso interfiram na aplicação final dos componentes fundidos, passam a ser consideradas defeitos. A verificação de resultados é feita através de inspeção visual, a fim de se estabelecer os possíveis teores das descontinuidades de inclusão de areia e porosidade e/ou bolhas. Ao final do trabalho conseguiu-se inferir sobre os níveis de ocorrência de tais descontinuidades de processo, acarretando um estudo didático sobre as etapas do método de fundição de alumínio em moldes de areia verde, desde a moldagem até o vazamento.

Palavras-chave: Fundição. Descontinuidades. Defeitos. Alumínio. Areia Verde.

ABSTRACT

The casting process is one of the most important and traditional methods of manufacturing metallic materials, being in theory the most feasible way to obtain components of large dimensions and complexity of forms. Such a procedure, in particular the method in green sand molds, has, however, the setback of obtaining parts totally free of discontinuities. The objective of this work is to analyze, through experiments, the process of casting aluminum in green sand molds, by means of manual molding, in what concerns the occurrence of discontinuities that, if they interfere in the final application of the molten components, are considered defects. The verification of results is done through visual inspection, in order to establish the possible contents of sand and porosity and / or bubble inclusion discontinuities. At the end of the work it was possible to infer about the occurrence levels of such process discontinuities, leading to a didactic study on the steps of the method of casting aluminum in green sand molds from molding to casting.

Keywords: Casting. Discontinuities. Defects. Aluminum. Green. Sand.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação dos principais processos de fundição.	4
Figura 2: Influência morfológica dos grãos e da umidade da mistura sobre a resistência mecânica das areias de moldação.	5
Figura 3: Disposição da sílica, argila e água, quando em contato mútuo.	7
Figura 4: Ciclo de etapas do processo de fundição de componente mecânico em molde de areia verde.	8
Figura 5: Ciclo de etapas do processo de fundição de componente mecânico em molde de areia verde (continuação).	8
Figura 6: Esboço evidenciando inclusões de areia devido à erosão do molde.	10
Figura 7: Etapas do processo de moldagem manual em areia verde.	11
Figura 8: Ocorrência de inclusão de areia em cantoneira de apoio, em alumínio, fabricada no laboratório de fundição do CEFET-MG.	12
Figura 9: Esboço evidenciando porosidades ou bolhas em peças fundidas.	12
Figura 10: Exemplo da vista lateral de um esboço de projeto de fundição, com o canal de ataque em evidência.	13
Figura 11: Efeito do tempo de preenchimento sobre a qualidade de peças em alumínio fundido.	14
Figura 12: Ocorrência de porosidade em peças fundidas.	14
Figura 13: Influência de níveis de porosidade em ligas de alumínio em relação à resistência à tração.	15
Figura 14: Forno cadinho à gás.	17
Figura 15: Lingote de alumínio.	17
Figura 16: Materiais de moldagem manual.	18
Figura 17: Areia verde disponível <i>in loco</i>.	18
Figura 18: Peneiras normatizadas ABNT/ASTM com aberturas de 4,75 mm e 2,55 mm, respectivamente, utilizadas para o peneiramento da areia verde e sua consequente redução granulométrica.	19
Figura 19: Modelo permanente, em madeira, sob três vistas.	19
Figura 20: Esboço explicitando o padrão utilizado na etapa de moldagem.	20
Figura 21: Molde em areia verde com controle granulométrico da areia.	21

Figura 22: Molde em areia verde com geometria da bacia no formato de um “cone interrompido”.	22
Figura 23: Molde em areia verde com diâmetro do canal de descida, em evidência, de 21,85 mm.	23
Figura 24: Vazamento da liga de alumínio, pelo próprio autor, nos moldes confeccionados.	23
Figura 25: Registro da temperatura de vazamento da liga de alumínio, em graus Celsius, através de um pirômetro.	24
Figura 26: Análise química da liga de alumínio fundida utilizada nos experimentos.	25
Figura 27: Cantoneira de apoio – corpo de prova 1.	26
Figura 28: Cantoneira de apoio – corpo de prova 2.	27
Figura 29: Cantoneira de apoio – corpo de prova 3.	28
Figura 30: Cantoneira de apoio – corpo de prova 4.	29
Figura 31: Cantoneira de apoio – corpo de prova 5.	30
Figura 32: Face da cantoneira de apoio – corpo de prova 1 – com níveis de porosidade em destaque.	31
Figura 33: Face da cantoneira de apoio – corpo de prova 2 – com níveis de porosidade em destaque.	31
Figura 34: Face da cantoneira de apoio – corpo de prova 3 – com níveis de porosidade em destaque.	32
Figura 35: Face da cantoneira de apoio – corpo de prova 4 – com níveis de porosidade em destaque.	32
Figura 36: Face da cantoneira de apoio – corpo de prova 5 – com níveis de porosidade em destaque.	33
Figura 37: Manual descritivo de defeitos do grupo das cavidades.	38
Figura 38: Manual descritivo de defeitos do grupo das cavidades (continuação).	39
Figura 39: Manual descritivo de defeitos do grupo das inclusões e anomalias de estrutura.	40
Figura 40: Manual descritivo de defeitos do grupo das inclusões e anomalias de estrutura (continuação).	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Defeitos de fundição e possíveis causas.....	16
---	-----------

LISTA DE SIGLAS

ABAL	Associação Brasileira do Alumínio.
ABIFA	Associação Brasileira de Fundição.
ABM	Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração.
ASM	American Society for Metals.
CIMM	Centro de Informação Metal Mecânica.
FCM	Fundação CEFET Minas.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	OBJETIVO GERAL	3
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1	PRINCIPAIS MÉTODOS DE FUNDIÇÃO	4
3.2	MÉTODO DE FUNDIÇÃO EM AREIA VERDE.....	4
3.2.1	Areia-base.....	4
3.2.2	Aglomerantes.....	6
3.3	IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO ALUMÍNIO FUNDIDO	8
3.4	TIPOS DE OCORRÊNCIA DE DESCONTINUIDADES E DEFEITOS DE FUNDIÇÃO.....	9
3.4.1	Inclusão de areia	10
3.4.2	Porosidade ou bolhas	12
4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	16
4.1	MATERIAIS E MÉTODOS	17
4.1.1	Ferramental técnico	17
4.1.2	Metodologia.....	19
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
5.1	ANÁLISE QUALITATIVA.....	25
5.1.1	Inclusão de areia	26
5.1.2	Porosidade/bolhas.....	31
6	CONCLUSÕES.....	34
7	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	35
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

9	ANEXO I – MANUAL DE DEFEITOS – CAVIDADES.....	38
10	ANEXO II – MANUAL DE DEFEITOS – INCLUSÕES E ANOMALIAS DE ESTRUTURA.....	40

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Centro de Informação Metal Mecânica (CIMM, 2018) o processo de fundição consiste em verter (vazar) determinado metal líquido em um molde contendo uma cavidade com o negativo da geometria do componente que se deseja fabricar. Tal procedimento tem se mostrado, desde a antiguidade, um método eficaz para a fabricação de materiais metálicos, sejam estes ferrosos ou não ferrosos.

No cenário brasileiro, segundo dados da Associação Brasileira de Fundição (ABIFA, 2018), a produção de fundidos manteve-se estável em outubro de 2018, com variação positiva de 3,8% em relação ao mesmo período do ano posterior, totalizando mais 1,9 milhões de toneladas de produtos produzidos.

Devido a tal importância econômica tem-se, ao longo dos anos, desenvolvido diversos estudos – que culminaram em diferentes subdivisões da técnica – buscando um aperfeiçoamento do componente final produzido, considerando as suas mais diversas aplicações específicas.

Dentre as variadas classificações do processo de fundição, destaca-se a chamada “fundição por gravidade”, técnica esta que é executada através do preenchimento de metal líquido em moldes – permanentes ou não – através da utilização da força da gravidade, atuando diretamente em seus respectivos canais de enchimento.

As características dos moldes são fundamentais para o processo como um todo e para se atingir os atributos desejados para as peças finais. Para a técnica de fundição em questão, são admitidos o uso dos chamados moldes descartáveis (em areia verde, areia aglomerada com resina e etc.).

No que se refere aos tipos de moldes em areia utilizados no processo de fundição por gravidade, enfatiza-se o uso da chamada “areia verde”, que se trata da mistura de areia silicosa, argila (bentonita) e água. Misturando-se os elementos em proporções recomendadas pela literatura técnica, obtêm-se um molde com características inerentes ao processo, com a peculiaridade de, ao final do vazamento e solidificação, obter-se novamente a matéria-prima inicial, necessitando apenas de uma regeneração mecânica, tornando, assim, o processo financeiramente menos oneroso.

Mesmo sendo um processo amplamente utilizado, e tendo passado por constantes evoluções tecnológicas, o processo de fundição, em especial o método em areia verde, ainda

possui inconvenientes no que tange a obtenção de componentes totalmente isentos de descontinuidades e defeitos, comprometendo a aplicabilidade final dos mesmos – quando detectada a situação de um defeito – ocasionando, portanto, estudos frequentes sobre o assunto, como será tratado adiante.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é a análise do processo de fundição em areia verde, desde a moldagem até o vazamento, com foco na ocorrência de descontinuidades nos componentes fundidos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Tem-se, como objetivos específicos:

- A produção de componentes em alumínio pelo método de fundição em areia verde;
- A inspeção visual da possível ocorrência de descontinuidades do processo (inclusão de areia e porosidade/bolhas);
- Avaliação do efeito dos parâmetros de moldagem e vazamento utilizados, no surgimento das descontinuidades.

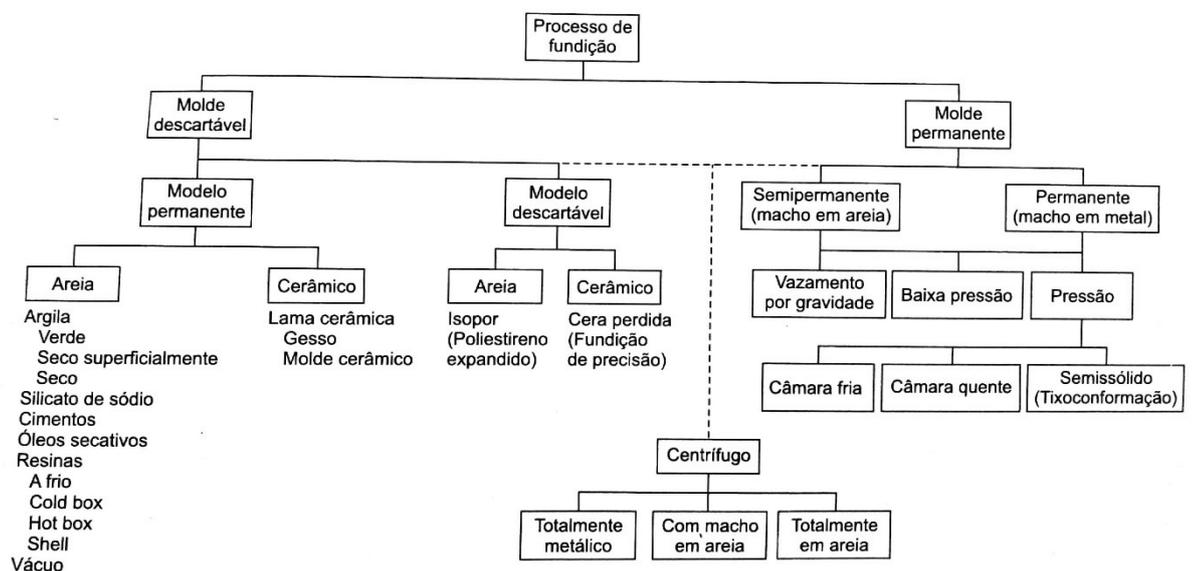
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PRINCIPAIS MÉTODOS DE FUNDIÇÃO

De acordo com Vieira e Baldam (2014), os principais métodos de fundição de metais são realizados através de moldagem em areia, moldagem em casca (*Shell Molding*), fundição sob pressão, centrifugação e fundição de alta precisão.

Segundo Shey (2000), a classificação dos principais processos de fundição pode ser observada na Figura 1.

Figura 1: Classificação dos principais processos de fundição.



Fonte: Adaptado de SHEY, 2000.

3.2 MÉTODO DE FUNDIÇÃO EM AREIA VERDE

O método mais tradicional utilizado em fundição é o de moldes de areia. Esse processo consiste em assentar o modelo na areia para obter a forma da peça a ser fundida no molde. O processo de moldagem em areia é composto por uma vasta gama de métodos e entre estes podemos citar moldagem em areia com argila. (BALDAM; VIEIRA, 2014, p.29).

3.2.1 Areia-base

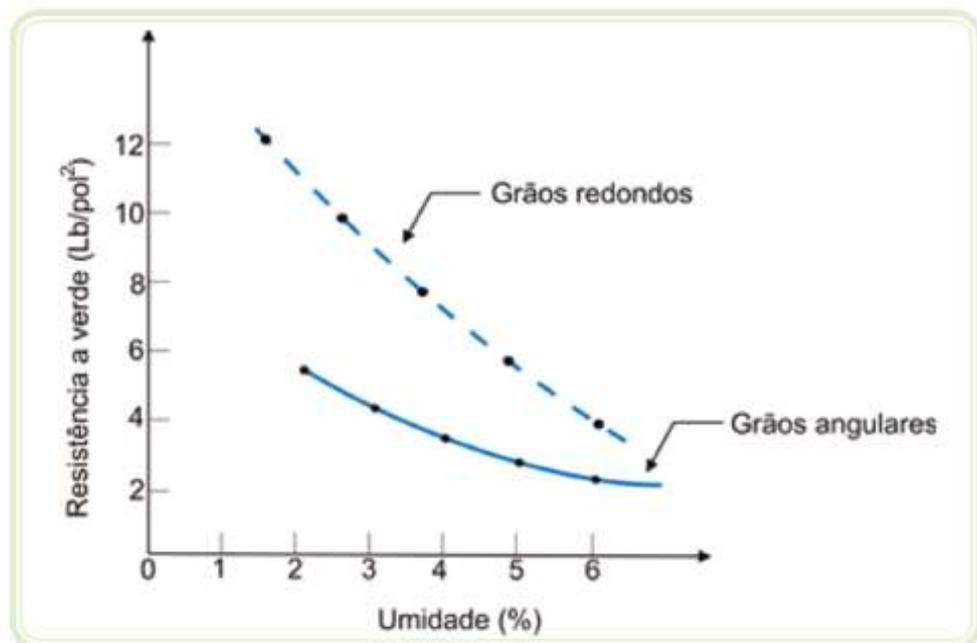
Entre as areias de moldação, utiliza-se mais comumente a areia sílico-argilosa sintética ou areia a verde, cuja areia-base é a sílica e cujo aglomerante é uma mistura de argila e água. (SENAI, 1990, p.46).

De acordo com SENAI (1987b), a qualidade da areia de moldagem tem uma influência direta sobre a qualidade das peças fundidas e é resultante de um conjunto de determinadas propriedades que podem ser mensuradas.

A sílica, de densidade relativa igual a 2,65 g/cm³, funde-se a 1725 ° C. Os grãos de sílica caracterizam-se pela forma, estrutura e dimensão. Quanto à forma, os grãos de sílica podem ser arredondados, sub-angulares e regulares e, quanto à estrutura, eles podem ser compactos ou aglomerados. (SENAI, 1990, p.46).

A morfologia dos grãos tem papel fundamental no que tange a resistência mecânica a verde em função da umidade da areia-base. De acordo com Oliveira (2013), nota-se, através do gráfico da Figura 2 que os grãos arredondados fornecem uma maior resistência mecânica a verde (resistência mecânica após a sua compactação e aferida através de ensaios de compressão) para qualquer umidade em relação aos grãos regulares. Observa-se, ainda, um efeito inversamente proporcional da umidade em relação à resistência mecânica a verde do molde.

Figura 2: Influência morfológica dos grãos e da umidade da mistura sobre a resistência mecânica das areias de moldação.



Fonte: OLIVEIRA, 2013.

A granulometria da areia-base também afeta diretamente a resistência mecânica a verde. Contudo, deve-se existir um equilíbrio entre as dimensões dos grãos de areia para que se permita boa permeabilidade, mas mantenha-se um bom acabamento na peça fundida.

3.2.2 *Aglomerantes*

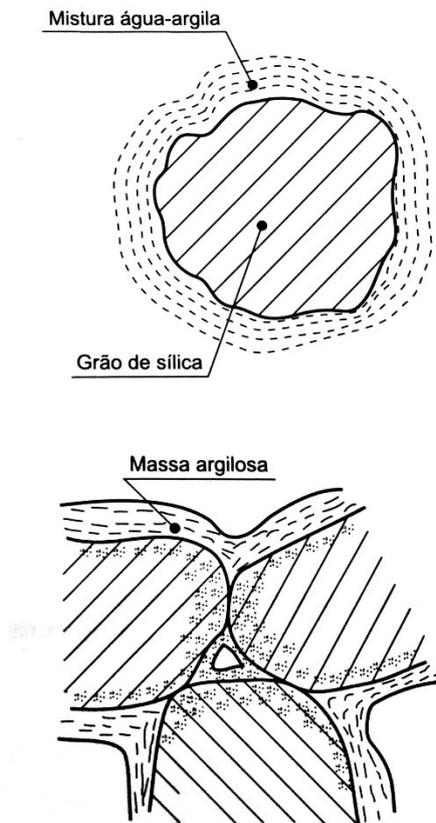
O aglomerante responsável por fornecer as características de moldabilidade, resistência mecânica e permeabilidade aos grãos da areia-base é a argila.

Existem diferentes tipos de argila mas, a mais comumente utilizada é a bentonita, que, segundo SENAI (1990), é manuseada sob a forma de partículas de dimensões inferiores a 0,02 mm.

Tal argila adquire a sua plasticidade (elemento fundamental para a obtenção de um grau de moldabilidade satisfatório à moldagem) através, do que Baldam e Vieira (2014), denominam de “mecanismo de ligação areia-argila-água – o trinômio fundamental”.

Uma areia-base, contendo sílica, argila e água, apresenta um estado ótimo de organização desses componentes quando cada grão da areia base é envolto por lamelas argilosas umedecidas na forma de camada ou filme, Figura 3. Explica-se a formação dessa massa argilosa através da morfologia das lamelas de argila alternadas com camadas finas de água, Figura 3. (BALDAM; VIEIRA, 2014, p.183)

Figura 3: Disposição da sílica, argila e água, quando em contato mútuo.



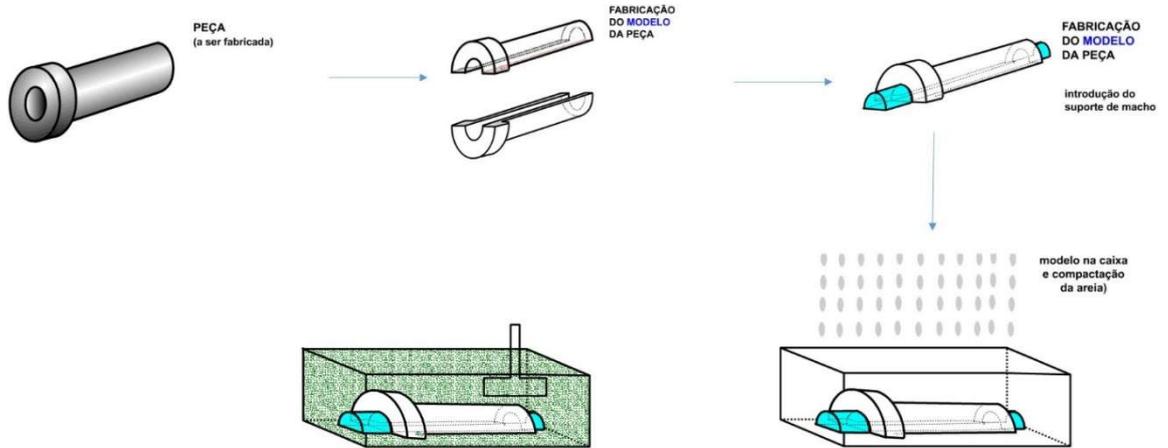
Fonte: BALDAM e VIEIRA, 2014.

A força de ligação promovida pela água atua nas pontes argilosas criadas após a compactação da areia nos moldes de fundição.

De acordo com Tâmega (2017), alguns fundidores recomendam em torno de 90% de areia, com 7% de argila e 3% de água, mas os ajustes de correção devem ser realizados conforme a necessidade.

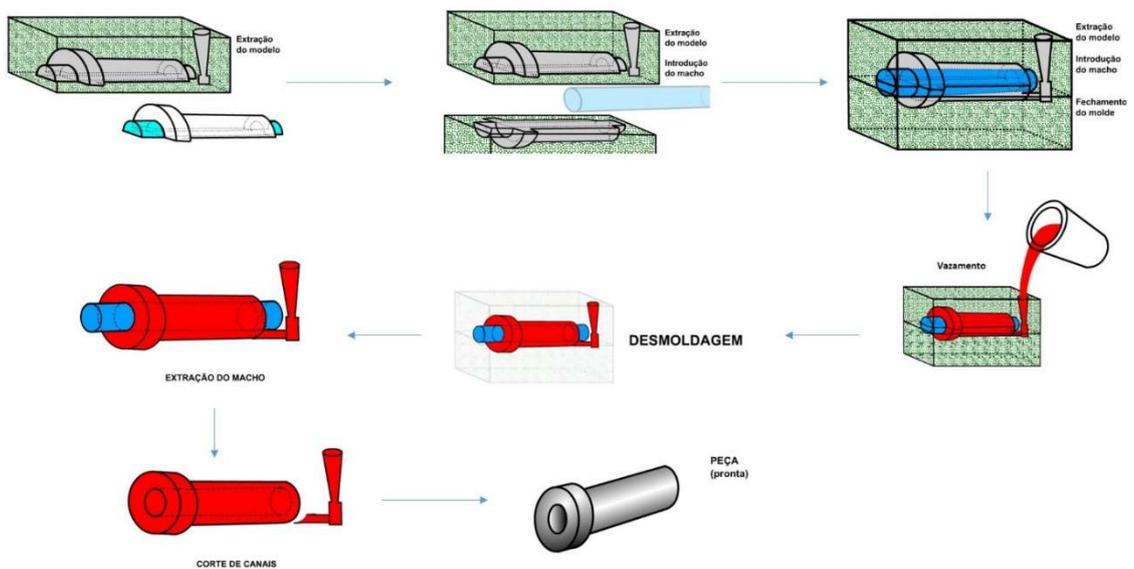
A Figura 4 e a Figura 5 ilustram as etapas do processo de fundição de um determinado componente mecânico, em molde de areia verde.

Figura 4: Ciclo de etapas do processo de fundição de componente mecânico em molde de areia verde.



Fonte: CIMM, 2018.

Figura 5: Ciclo de etapas do processo de fundição de componente mecânico em molde de areia verde (continuação).



Fonte: CIMM, 2018.

3.3 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO ALUMÍNIO FUNDIDO

Segundo informações da Associação Brasileira do Alumínio, Abal (2018), o alumínio iniciou seu ciclo comercial de produção há, aproximadamente, 150 anos. Atualmente, sua produção é a maior do que a soma da produção de todos os outros metais não ferrosos conhecidos.

Ainda citando Abal (2018), o fato supracitado deve-se a algumas características intrínsecas que o alumínio possui, podendo-se destacar:

- Baixa densidade, em comparação ao aço, com valores de $7,86 \text{ g/cm}^3$ para a liga de Fe-C e $2,7 \text{ g/cm}^3$ para o alumínio, facilitando o seu processamento através de fundição;
- Resistência à corrosão: O alumínio tem uma autoproteção natural que só é destruída por uma condição agressiva ou por determinada substância que dissipe sua película de óxido de proteção.
- Resistência e dureza: Ao mesmo tempo em que o alumínio possui um alto grau de ductilidade, ele também conta com uma resistência à tração de 90 Mpa.

Por tal, observa-se que o alumínio fundido e, conseqüentemente, suas ligas, possuem um alto grau de importância no que se refere ao âmbito econômico, apresentando uma vasta gama de aplicações nobres, de acordo com as suas características.

3.4 TIPOS DE OCORRÊNCIA DE DESCONTINUIDADES E DEFEITOS DE FUNDIÇÃO

Segundo SENAI (1990), os defeitos são descontinuidades que comprometem a aplicação final do componente e, referentes ao processo de fundição podem ser abordados de três maneiras diferentes:

- Conforme o aspecto da descontinuidade;
- Conforme as causas técnicas que dão origem à descontinuidade;
- Conforme a responsabilidade dos operadores de fundição.

SENAI (1990) nos mostra que, a primeira maneira de classificar as descontinuidades foi estabelecida por um grupo de membros da Comissão Internacional das Associações Técnicas de Fundição. Ela tem a vantagem de facilitar a identificação da mesma.

SENAI (1990) diz que a segunda maneira facilita o estudo das causas que provocam uma descontinuidade, uma vez que ela tenha sido identificada, e podem se distinguir pelas de ordem metalúrgica, de ordem de moldagem e de ordem de canais e massalotes.

E, ainda segundo SENAI (1990), a terceira maneira de classificar as descontinuidades em componentes fundidos é mais utilizada, nas fundições, no momento de definir as responsabilidades de cada posto de trabalho no aparecimento de um defeito nas peças.

Serão estudadas neste trabalho as ocorrências de descontinuidades de fundição que tangem as duas primeiras maneiras de abordagens citadas, levando-se em consideração, como apresentado no item 2, as descontinuidades abaixo.

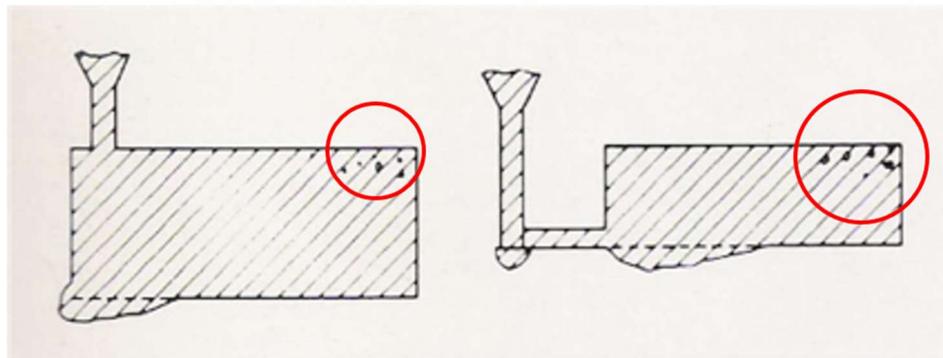
3.4.1 Inclusão de areia

Segundo Santos (2017), por definição, a descontinuidade de inclusão de areia se caracteriza por uma protuberância de forma irregular e normalmente rugosa nas paredes das peças, em geral na região dos ataques ou aparecendo ao longo do percurso do metal líquido; esta areia removida ou erodida, geralmente se encontra em outra região da peça na forma de inclusões.

Quando da utilização da moldagem tradicional em areia que, de acordo com Philip e Richard (2017), é o método utilizado em 70% dos fundidos, o componente fabricado está sujeito ao surgimento de tal descontinuidade.

A Figura 6 representa um esboço de uma peça fundida em que tal ocorrência pode ser notada.

Figura 6: Esboço evidenciando inclusões de areia devido à erosão do molde.



Fonte: Adaptado de SANTOS, et al., 2017.

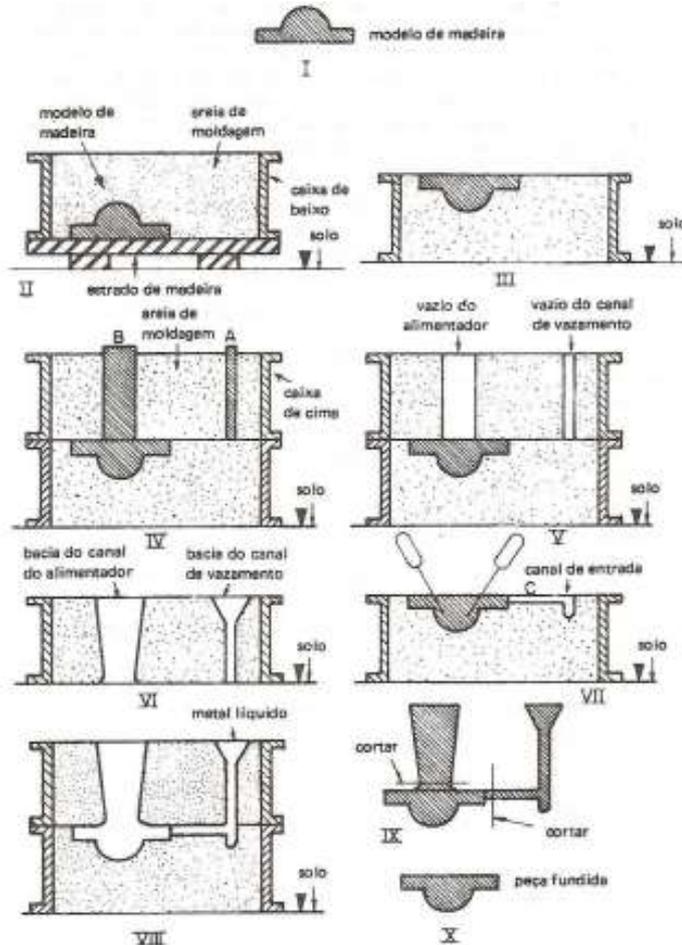
Existem diversas causas que podem culminar na ocorrência de descontinuidades de inclusão de areia. Uma delas é o chamado “molde mal socado” onde, de acordo com Hashimoto (1980), a compactação ineficiente do molde reduz a resistência da areia favorecendo uma tendência à erosão.

Outro efeito importante, citado por Hashimoto (1980), cujo qual favorece o surgimento de inclusões de areia no componente fundido é a “areia solta no molde”.

Durante o processo de moldagem em areia verde, sendo este manual ou semiautomático, o operador deve se atentar ao fato de deixar que grãos de areias soltos permaneçam dentro do molde.

Pode-se observar que, durante as etapas de moldagem manual em areia verde mostrada na Figura 7 abaixo, que os momentos críticos para que possíveis grãos de areia permaneçam soltos dentro do molde são nas etapas III e VII, justamente quando se fazem necessárias operações com a caixa de moldagem aberta. Logo, necessita-se utilizar um aparato para remover tais grãos soltos sem prejudicar o molde.

Figura 7: Etapas do processo de moldagem manual em areia verde.



Fonte: BALDAM e VIEIRA, 2014.

A Figura 8 explicita uma peça em alumínio, obtida através do processo de fundição em areia a verde, com moldagem manual, em que ocorreram-se inclusões de areia superficiais.

Figura 8: Ocorrência de inclusão de areia em cantoneira de apoio, em alumínio, fabricada no laboratório de fundição do CEFET-MG.

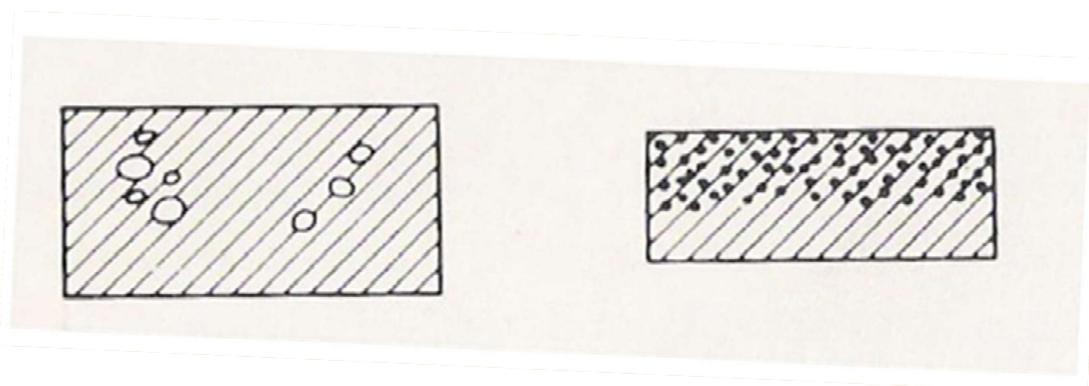


Fonte: Próprio Autor.

3.4.2 Porosidade ou bolhas

Segundo Santos (2017), por definição, a descontinuidade de porosidade se caracteriza por cavidades com paredes lisas, provenientes de gases e ligeiramente esféricas. As maiores, consideradas bolhas, aparecem isoladas, enquanto que as menores em grupos, de dimensões variadas. As paredes internas das cavidades podem ser brilhantes ou oxidadas. A Figura 9 representa um esboço de uma peça fundida em que tal ocorrência pode ser notada.

Figura 9: Esboço evidenciando porosidades ou bolhas em peças fundidas.

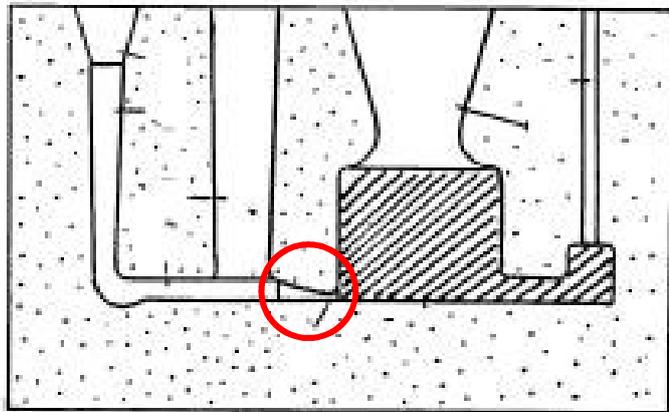


Fonte: SANTOS, et al., 2017.

Shaik, Jimmy e P.K (2017), afirmam que a porosidade e/ou bolhas é um grave problema observado nas fundições, principalmente de ligas de alumínio.

Dentre as várias causas raiz possíveis para a descontinuidade citada nesta seção, pode-se destacar, segundo Hashimoto (1980), a vazão de enchimento, ou seja, a quantidade de metal fundido que flui pelo canal de ataque (bacia que liga o canal de descida ao negativo do componente dentro do molde, mostrado na Figura 10), em um determinado intervalo de tempo.

Figura 10: Exemplo da vista lateral de um esboço de projeto de fundição, com o canal de ataque em evidência.

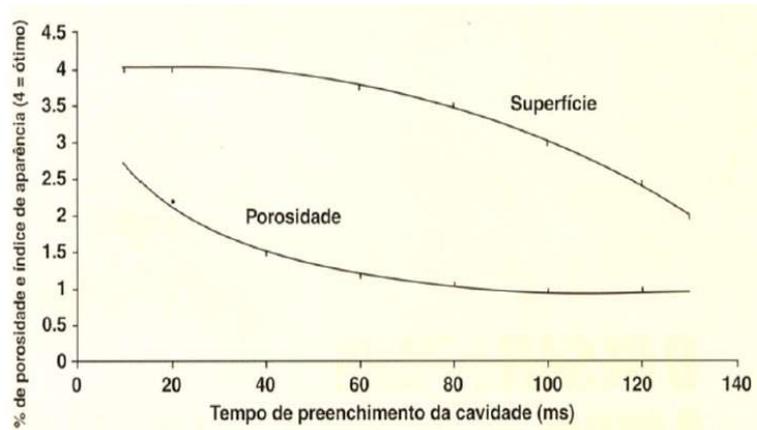


Fonte: VERRAN, 2015.

Existe uma necessidade de se controlar a vazão do metal. Um enchimento muito rápido provoca muitos gases. (HASHIMOTO, 1980. p. 54)

O gráfico da Figura 11 mostra o efeito do tempo de preenchimento (vazão) sobre a qualidade de peças em alumínio fundido.

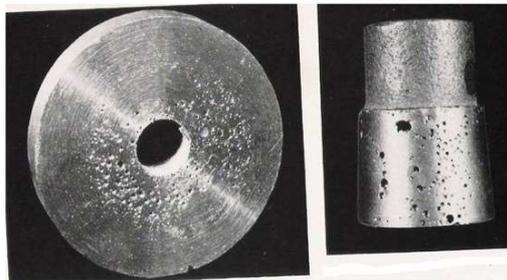
Figura 11: Efeito do tempo de preenchimento sobre a qualidade de peças em alumínio fundido.



Fonte: BARON, 2001.

A Figura 12 ilustra a ocorrência de tal defeito em peças fundidas, onde nota-se níveis consideráveis de porosidade interna e externa, respectivamente.

Figura 12: Ocorrência de porosidade em peças fundidas.



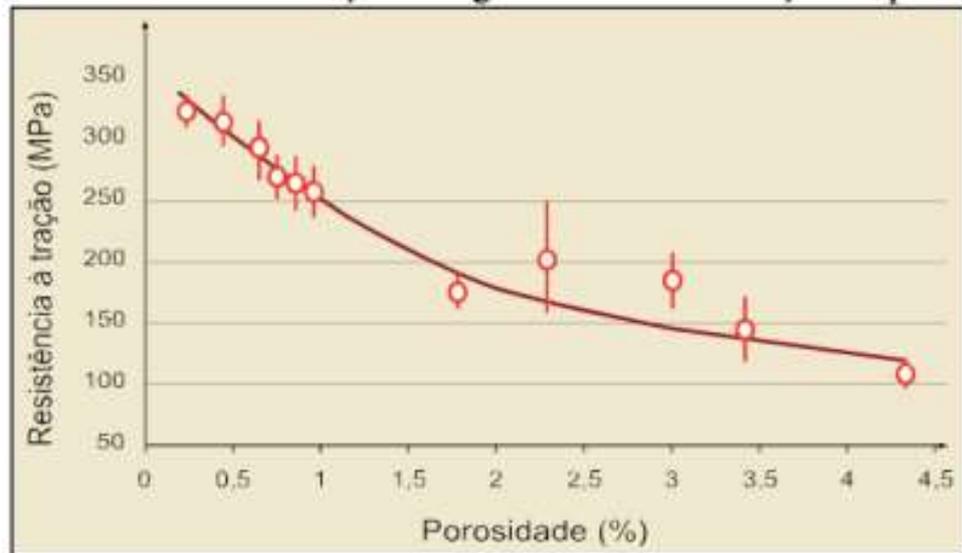
Fonte: SANTOS, et al., 2017.

De acordo com Baldam e Vieira (2014), a título de informação, outra importante razão para que níveis elevados de porosidade em peças fundidas em alumínio aconteçam é relacionado à solubilidade de hidrogênio ao banho metálico. O mecanismo que explica tal fenômeno está correlacionado com a termodinâmica, pois, conforme aumenta-se a temperatura do banho, aumenta-se a porção de gases que são incorporados ao mesmo e, conseqüentemente, a ocorrência de tal descontinuidade. Logo, quando inicia-se a solidificação, esses gases que foram solubilizados por diferença de pressão se desprendem do metal supersaturado, formando assim as cavidades. Tal efeito não será abordado neste trabalho.

Segundo Simon, et al. (2003), elevados graus de porosidade diminuem a resistência mecânica das ligas de alumínio e aumenta a tendência de trincas nos componentes fundidos,

como mostra o gráfico da Figura 13, tornando-se assim, uma descontinuidade importante, podendo transforma-se em defeito, de acordo com as circunstâncias de aplicação final.

Figura 13: Influência de níveis de porosidade em ligas de alumínio em relação à resistência à tração.



Fonte: SIMON, et al., 2013.

4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Todo o processo de fabricação de componentes, utilizando, como material base, uma determinada liga de alumínio, vertidos em moldes de areia verde é evidenciado nesta seção.

Como dito na seção 2.4 deste Estudo, vários são os tipos de ocorrência de descontinuidades de fundição e, dentre eles, foram escolhidos dois tipos, em particular, para serem objetos deste estudo. São eles: inclusão de areia e porosidade ou bolhas.

Segundo um estudo conduzido por Hashimoto (1980), algumas das possíveis causas para cada um dos defeitos acima estão evidenciados na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1: Defeitos de fundição e possíveis causas.

Defeitos	Causa 1	Causa 2	Causa 3
Inclusão de Areia	Areia solta no molde	Molde mal compactado	Alta granulometria da areia
Porosidade	Vazão de enchimento	Alta temperatura do banho metálico	Inserção de sal escorificante no banho metálico

Fonte: Adaptado de HASHIMOTO, 1980.

O planejamento de experimentos é uma ferramenta extremamente importante para engenheiros e cientistas que estejam interessados em melhorar o desempenho de um processo de fabricação. Ele também tem uma extensiva aplicação no desenvolvimento de novos processos e no planejamento de novos produtos. (MONTGOMERTY; RUNGER, 1993. p. 295).

Tendo em vista, portanto, as possíveis causas das descontinuidades de fundição avaliadas neste estudo, cinco componentes (corpos de prova) fundidos foram fabricados, com a finalidade de se obter um espaço amostral satisfatório para a análise da influência dos parâmetros de moldagem e vazamento, de uma liga de alumínio, na ocorrência das descontinuidades citadas.

4.1 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1.1 Ferramental técnico

A liga de alumínio foi fundida em um forno cadinho à gás (Figura 14), tendo com matéria-prima lingotes de alumínio disponíveis no laboratório de fundição (Figura 15). A moldagem se deu com o auxílio dos equipamentos mostrados na Figura 16 e em areia verde disponível *in loco* (Figura 17), onde se supôs que a mesma estaria nas condições corretas de utilização descritas no item (3.2.2), areia e peneiras normatizadas (Figura 18).

Figura 14: Forno cadinho à gás.



Fonte: Próprio autor.

Figura 15: Lingote de alumínio.



Fonte: Próprio autor.

Figura 16: Materiais de moldagem manual.



Fonte: Próprio autor.

Figura 17: Areia verde disponível *in loco*.



Fonte: Próprio autor.

Figura 18: Peneiras normatizadas ABNT/ASTM com aberturas de 4,75 mm e 2,55 mm, respectivamente, utilizadas para o peneiramento da areia verde e sua consequente redução granulométrica.



Fonte: Próprio autor.

A peça corpo de prova objeto deste estudo é caracterizada por ser um componente de uma cantoneira metálica, com funções de apoio estruturais para determinados tipos de elementos mecânicos e foi escolhida por conter uma face plana, onde podem evidenciar-se mais facilmente as possíveis porosidades/bolhas, além desta facilitar a moldagem, não se fazendo necessárias etapas de escareamento, cuja qual facilita o surgimento de inclusões de areia devido às areias soltas no molde.

Tal peça seguiu as características de um modelo permanente, em madeira, como ilustra a Figura 19 abaixo.

Figura 19: Modelo permanente, em madeira, sob três vistas.



Fonte: Próprio autor.

4.1.2 Metodologia

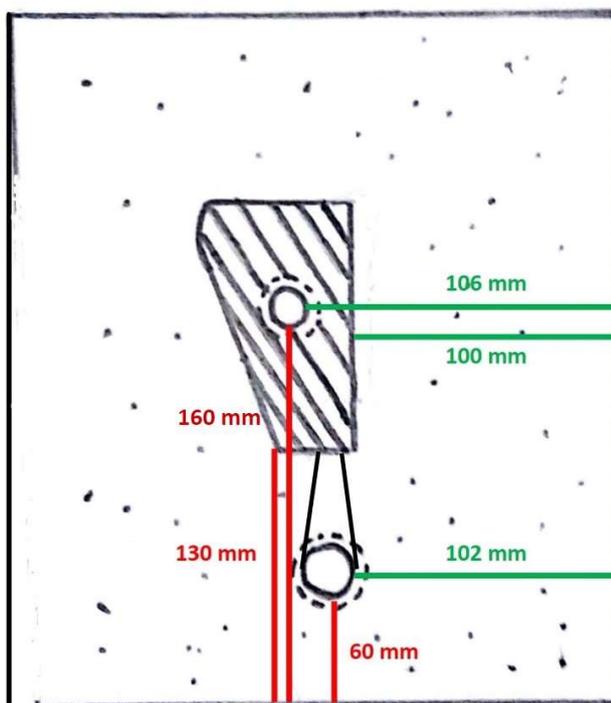
Elaborou-se um esboço do projeto de fundição, evidenciando o posicionamento do canal de descida, canal de ataque e massalote, em três vistas. Com o esboço do projeto de

fundição em mãos, deu-se início ao processo de moldagem manual e fusão da liga de alumínio.

Todos os moldes confeccionados foram padronizados, segundo padrão criado pelo autor no momento da moldagem, como mostra a Figura 20 em que o modelo em madeira é posicionado distando 130 mm da aresta inferior e 100 mm da aresta direita da caixa de moldagem. A posição do canal de descida distou, também em todas as moldagens, 60 mm da aresta inferior e 102 mm da aresta direita da caixa de moldagem, além do massalote que foi posicionado distando 160 mm da aresta inferior e 106 mm da aresta direita da caixa de moldagem.

Confeccionou-se o canal de ataque com um leve afunilamento, do canal de descida em direção à cavidade que continha o negativo do componente a ser fabricado, com o intuito de pressurizar a vazão de enchimento e, por consequência, garantir uma maior homogeneidade no preenchimento. A Figura 20 mostra todo o padrão utilizado.

Figura 20: Esboço explicitando o padrão utilizado na etapa de moldagem.



Fonte: Próprio autor.

A utilização de desmoldantes e lubrificantes em pó, inerentes ao processo (licopódio e grafite, respectivamente), também foi padronizada em 30 segundos de aplicação cada, salpicando-os nos locais e etapas em que se fazem necessárias.

A desmoldagem deu-se, em todos os componentes mecânicos fundidos, 5 minutos após o vazamento, como previamente fora normatizado pelo autor.

Os seguintes parâmetros de moldagem foram levados em consideração.

4.1.2.1 Controle granulométrico da areia verde

Confeccionaram-se cinco moldes em areia verde, com o objetivo de se fabricar cinco componentes mecânicos, sendo que todos estes foram preenchidos, primeiramente, com 80% de sua capacidade volumétrica com areia de granulometria $\leq 2,36$ mm e, posteriormente, com 20% de sua capacidade volumétrica com areia de granulometria $\leq 4,75$ mm. A Figura 21 evidencia a moldagem conforme os dos referidos parâmetros.

Figura 21: Molde em areia verde com controle granulométrico da areia.



Fonte: Próprio autor.

Nesta etapa da fabricação, atentou-se, também, para uma compactação manual homogênea (utilizando dois tipos de soquetes evidenciados na Figura 16) e para uma remoção mais cuidadosa dos grãos de areia soltos dentro do molde, através do fole também mostrado na Figura 16, com o intuito da redução dos níveis de inclusão de areia.

4.1.2.2 Geometria da bacia

Utilizou-se o chamado “cone interrompido”. Trata-se da fabricação da bacia do canal de descida na forma de um semi-cone, fazendo com que o metal líquido, quando em contato com tal, possa ter seu vórtice de descida reduzido, reduzindo também, por consequência, a

erosão dentro do canal e a posterior incrustação superficial dos referentes grãos de areia erodidos nos componentes.

A Figura 22 mostra um molde, já concluído, evidenciando a bacia em formato de “cone interrompido”.

Figura 22: Molde em areia verde com geometria da bacia no formato de um “cone interrompido”.



Fonte: Próprio autor.

4.1.2.3 Valor dimensional do canal de descida

O valor do diâmetro do canal de descida está intimamente ligado à vazão de enchimento (assim como o tamanho e formato do canal de ataque) do metal líquido e estes, por sua vez, tratam-se de importantes variáveis no que tange a ocorrência de porosidade/bolhas na peça devido à maior ou menor ocorrência de gases durante o processo, como nos informa Hashimoto (1980).

Os cinco moldes foram fabricados com um diâmetro de 21,85 mm (valor arbitrário) para o canal de descida, no intuito de se analisar os índices de porosidade/bolhas que possam virem a ser formados nos componentes mecânicos produzidos.

A Figura 23 mostra um molde, aberto, evidenciando o diâmetro do canal de descida do molde.

Figura 23: Molde em areia verde com diâmetro do canal de descida, em evidência, de 21,85 mm.



Fonte: Próprio autor.

Os cinco moldes, então, foram vazados, como mostrado na Figura 24, com a liga de alumínio preparada. O vazamento ocorreu à mesma temperatura, para todos os moldes, sendo esta de 687°C, como mostra a indicação do pirômetro da Figura 25.

Figura 24: Vazamento da liga de alumínio, pelo próprio autor, nos moldes confeccionados.



Fonte: Próprio autor.

Figura 25: Registro da temperatura de vazamento da liga de alumínio, em graus Celsius, através de um pirômetro.



Fonte: Próprio autor.

A desmoldagem deu-se, em todos os componentes mecânicos fundidos, 5 minutos após o vazamento, como fora previamente padronizado pelo autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ANÁLISE QUALITATIVA

Realizou-se, através de espectrometria de emissão óptica, a análise química da matéria-prima utilizada para a fabricação de todos os componentes.

A Figura 26, abaixo, mostra a composição química da liga de alumínio fundida.

Figura 26: Análise química da liga de alumínio fundida utilizada nos experimentos.

CEFET MG DEMAT - Laboratório de Fundição		Análise Química						
Amostra. / sample ID :	ALUMINIO PRIMARIO	Hora	5:12:06 PM					
Solicitante / customer :	Prof. Joao Bosco	Operador	Joao					
FMX Instrument / Norma:		OES FOUNDRY MASTER Xpert s/n						
Programa:	Al_300							
Data								
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr
1	96.8	0.256	0.476	0.206	0.771	1.28	0.108	0.0187
2	96.7	0.265	0.491	0.210	0.795	1.30	0.109	0.0180
3	96.8	0.257	0.471	0.212	0.790	1.26	0.103	0.0180
Ave	96.8	0.259	0.479	0.209	0.785	1.28	0.107	0.0182
	Ni	Ti	Be	Ca	Li	Pb	Sn	Sr
1	0.0081	0.0167	< 0.0001	< 0.0005	< 0.0001	0.0182	0.0030	0.0009
2	0.0085	0.0154	< 0.0001	< 0.0005	< 0.0001	0.0198	0.0031	0.0009
3	0.0079	0.0162	0.0001	< 0.0005	< 0.0001	0.0186	0.0033	0.0009
Ave	0.0082	0.0161	< 0.0001	< 0.0005	< 0.0001	0.0189	0.0031	0.0009
	V	Na	Bi	Zr	B	Ga	Cd	Co
1	0.0117	< 0.0001	< 0.0008	0.0009	0.0004	0.0083	< 0.0001	0.0014
2	0.0103	< 0.0001	< 0.0008	0.0007	0.0007	0.0076	< 0.0001	0.0017
3	0.0132	< 0.0001	< 0.0008	0.0007	0.0005	0.0068	< 0.0001	0.0014
Ave	0.0118	< 0.0001	< 0.0008	0.0008	0.0005	0.0076	< 0.0001	0.0015
	Ag	Hg	In	Sb	P	Ce	La	
1	0.0009	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0050	< 0.0020	< 0.0010	0.0009	
2	0.0011	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0050	< 0.0020	< 0.0010	0.0012	
3	0.0011	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0050	< 0.0020	< 0.0010	0.0010	
Ave	0.0010	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0050	< 0.0020	< 0.0010	0.0010	

Fonte: Próprio autor.

Realizou-se inspeção visual qualitativa nos cinco componentes fabricados em alumínio com 96,8% de pureza, a fim de se detectar possíveis níveis de inclusões de areia e porosidades/bolhas

5.1.1 Inclusão de areia

As Figuras 27, 28, 29, 30 e 31, abaixo, evidenciam os componentes fabricados.

Figura 27: Cantoneira de apoio – corpo de prova 1.



Fonte: Próprio autor.

Figura 28: Cantoneira de apoio – corpo de prova 2.



Fonte: Próprio autor.

Figura 29: Cantoneira de apoio – corpo de prova 3.



Fonte: Próprio autor.

Figura 30: Cantoneira de apoio – corpo de prova 4.



Fonte: Próprio autor.

Figura 31: Cantoneira de apoio – corpo de prova 5.



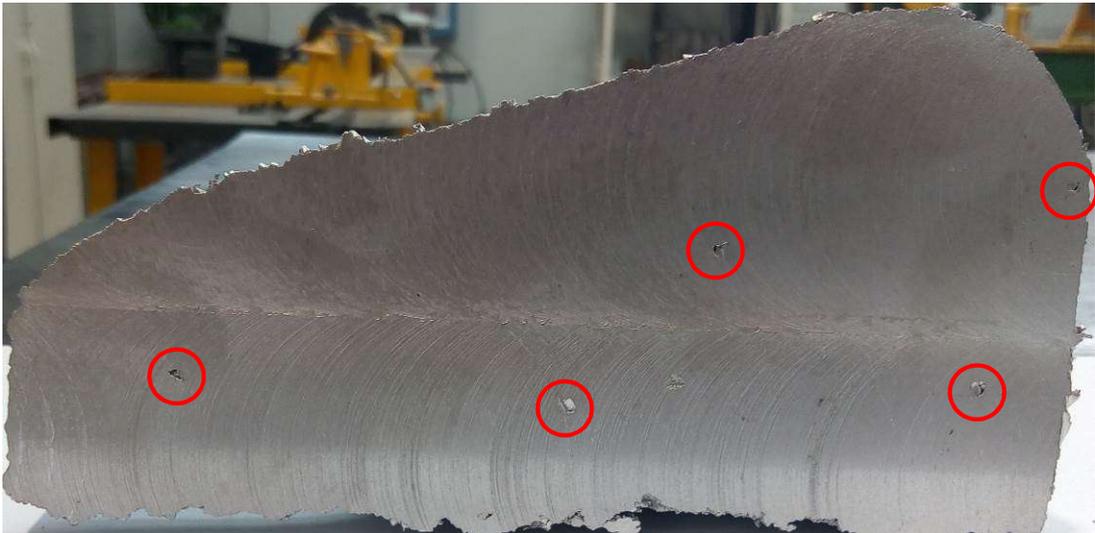
Fonte: Próprio autor.

Observa-se que, apesar de serem respeitadas todas as etapas de moldagem manual em areia verde e condições de vazamento, ainda existem níveis de inclusão de areia nos componentes corpos de prova, e que, de acordo com a aplicação dos mesmos, tal descontinuidade pode ou não ser considerada um defeito. Tais descontinuidades não possuem as mesmas dimensões.

5.1.2 Porosidade/bolhas

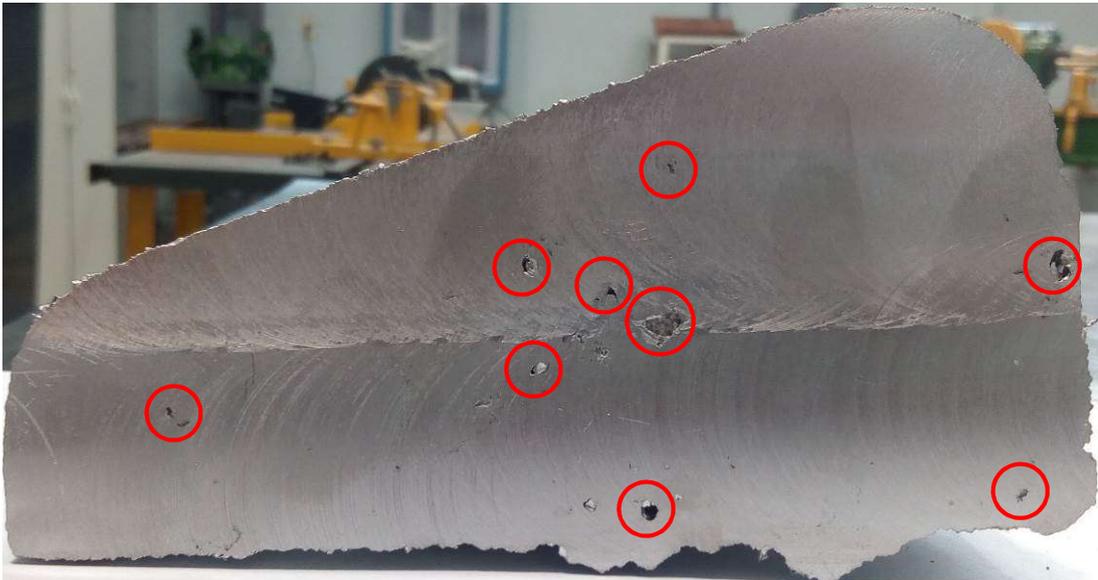
As Figuras 32, 33, 34, 35 e 36, abaixo, evidenciam os componentes mecânicos, após fresagem, sob as mesmas condições de fresagem (remoção de 2 mm de material).

Figura 32: Face da cantoneira de apoio – corpo de prova 1 – com níveis de porosidade em destaque.



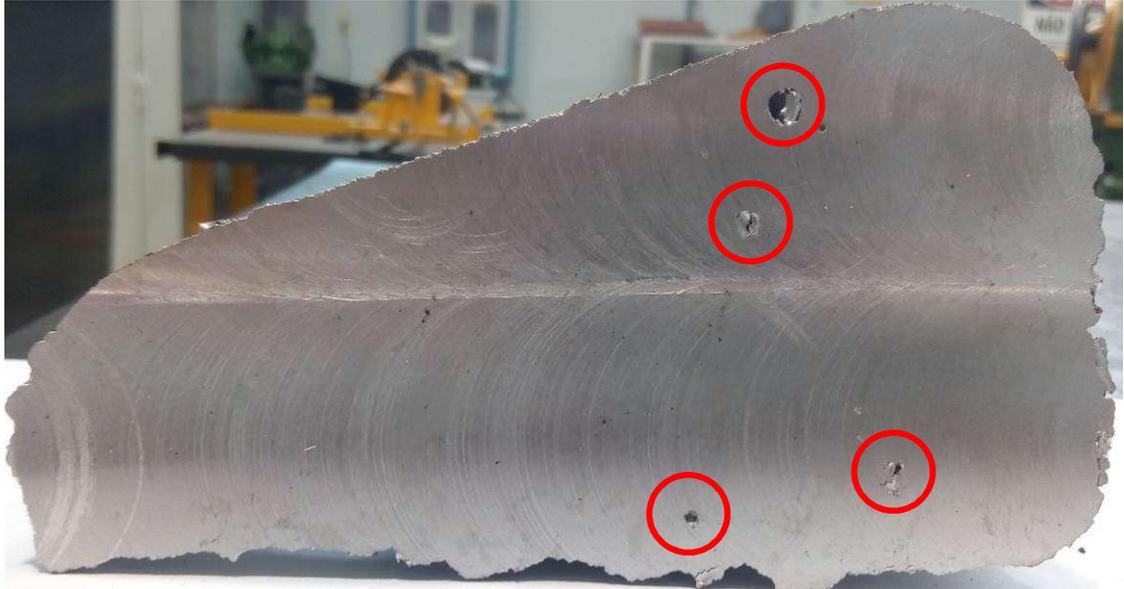
Fonte: Próprio autor.

Figura 33: Face da cantoneira de apoio – corpo de prova 2 – com níveis de porosidade em destaque.



Fonte: Próprio autor.

Figura 34: Face da cantoneira de apoio – corpo de prova 3 – com níveis de porosidade em destaque.



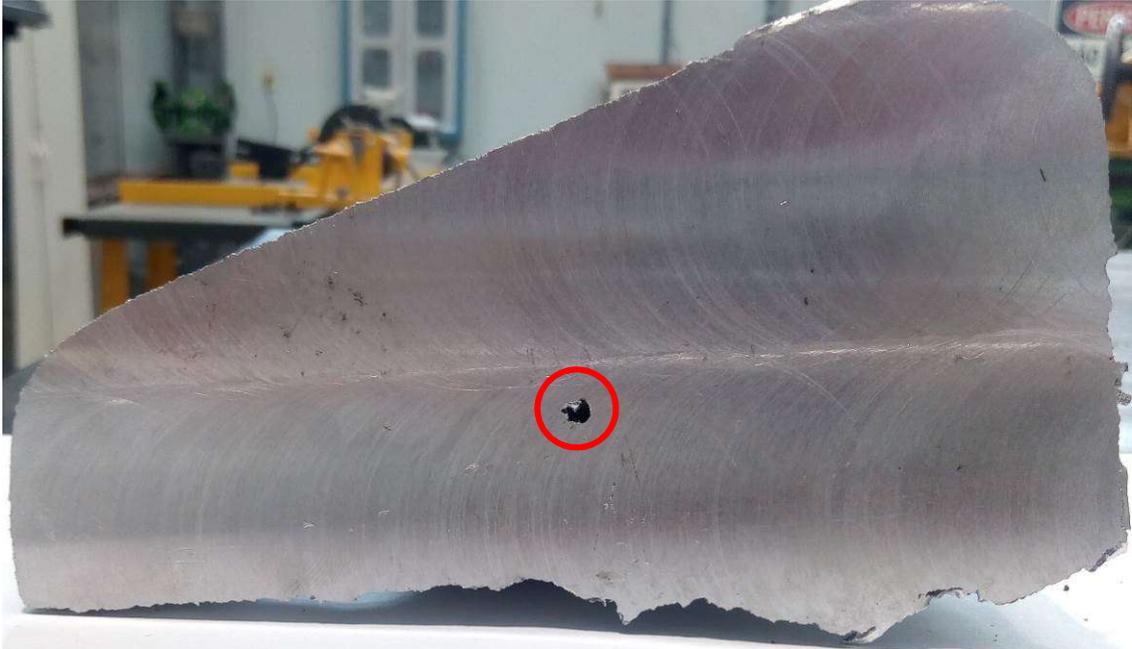
Fonte: Próprio autor.

Figura 35: Face da cantoneira de apoio – corpo de prova 4 – com níveis de porosidade em destaque.



Fonte: Próprio autor.

Figura 36: Face da cantoneira de apoio – corpo de prova 5 – com níveis de porosidade em destaque.



Fonte: Próprio autor.

Observa-se que, apesar de serem respeitadas todas as etapas de moldagem manual em areia verde e condições de vazamento, ainda existem níveis de porosidade nos componentes corpos de prova, e que, de acordo com a aplicação dos mesmos, tal descontinuidade pode ou não ser considerada um defeito. Tais descontinuidades não possuem as mesmas dimensões.

Não notaram-se níveis de bolhas nos componentes fundidos.

6 CONCLUSÕES

1. Os parâmetros de moldagem aplicados, no que tange o controle granulométrico da areia de moldação, geometria da bacia do canal de descida, compactação homogênea e remoção eficiente de grãos de areia soltos no molde, se mostraram corretos do ponto de vista da obtenção dos componentes corpos de prova, ainda que notaram-se níveis da descontinuidade de inclusão de areia na superfície dos mesmos que, podem ter sido acarretados por condições de operação, mas não se configuram como defeitos, neste caso;
2. Os parâmetros de moldagem aplicados, no que tange a dimensão do canal de descida e do canal de ataque, com o intuito de um controle da vazão de enchimento, se mostraram corretos do ponto de vista da obtenção dos componentes corpos de prova, ainda que notaram-se níveis da descontinuidade de porosidades na face fresada dos mesmos que, podem ter sido acarretados por uma vazão volumétrica de metal líquido elevada – por conta do dimensionamento do canal de ataque – mas não se configuram como defeitos, neste caso. Não notaram-se níveis de bolhas nos componentes fundidos.

7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

1. Sugere-se que, após a conclusão deste trabalho, seja viável um estudo mais aprofundado de metodologias estratégicas para a diminuição das descontinuidades observadas no processamento, com o objetivo de, a nível industrial, ter-se a possibilidade de se cogitar uma economia financeira com a redução de posteriores correções, caso seja observado que tais descontinuidades interferirão na aplicação final dos componentes, caracterizando-se em defeitos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABAL. Associação Brasileira de Alumínio. **O Alumínio: Processos de Produção**. Disponível em: <http://www.abal.org.br/aluminio/processos_fundicao.asp>. Acesso em 25 de setembro de 2018.
- [2] ABIFA. Associação Brasileira de Fundição. **Produção de Fundidos Manteve-se Estável em Outubro com Variação Positiva de 3,8% no Comparativo Anual**. Disponível em: <<http://www.abifa.org.br/producao-de-fundidos-manteve-se-estavel-em-outubro-com-variacao-positiva-de-38-no-comparativo-anual/>>. Acesso em 05 de dezembro de 2018.
- [3] ABIFA. Associação Brasileira de Fundição. Comissão Estudos de Matéria-Prima – CEMP-206. **Bentonita para fundição Determinação do teor de umidade**. São Paulo, 2015w.
- [4] ASM International. **ASM Handbook -Vol.15 - Casting**. The Materials Information Company, 1992.
- [5] BALDAM, R. L.; VIEIRA, E. A. **Fundição: Processos e Tecnologias Correlatas**. 2. ed. rev. São Paulo: Érica, 2014.
- [6] BARON, G. **Defeitos Causados Pelas Juntas Frias nos Fundidos Sob Pressão**. Apresentação oral. Disponível em <www.joinville.udesc.br/portal/professores/verran/.../Semin_rio_Juntas_Frias.ppt>. Joinville: UDESC, 2001. Acesso em 30 de setembro de 2018.
- [7] CIMM. Centro de Informação Metal Mecânica. **Material Didático – Fundição**. Disponível em <https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/3675#.W-rX6-hKjIU>. Acesso em 13 de novembro de 2018.
- [8] HASHIMOTO, A. **Defeitos em fundidos – Causas e Efeitos**. Premesa S/A Ind. e Comércio. São Paulo, 1980.
- [9] METALÚRGICA FREMAR LTDA. **Fundição em Areia Verde**. Disponível em <<http://www.fremar.com.br/fundicao-areia-verde.html>>. Acesso em 09 de Outubro de 2018.
- [10] MONTGOMERTY, D.C.; RUNGER, G.C.; **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. 2 ed. Arizona State University, Arizona, 1993.
- [11] OLIVEIRA, B. F. **Fundição**. Belém: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Campus Belém; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria; Rede e-Tec Brasil, 2013.

- [12] PHILIP HACKNEY; RICHARD WOOLDRIDGE. **Optimisation of Additive Manufactured Sand Printed Mould Material for Aluminium Castings**. Dept. of Mechanical and Construction Engineering, Northumbria University, Newcastle upon Tyne, NE18ST, UK, 2017.
- [13] SANTOS, J. B. et al. **Soldagem em Ferros Fundidos**. Curso de capacitação. Belo Horizonte, TEKSID, 2017
- [14] SENAI. DR.MG. **Iniciação à Fundição**. 3 ed. Belo Horizonte, SFP-EMC, 1990. 73p.
- [15] SHAIK MOZAMMILA; JIMMY KARLOOPIA; P.K. Jah. **Investigation of porosity in Al casting**. Department of Mechanical and Industrial Engineering, Indian Institute of Technology Roorkee, Roorkee, Uttarakhand – 247 667, India, 2017.
- [16] SIMON, R.; FRÖSCHER, A.; KENDRICK, R.; EVANS, P. **Influência do Projeto do Rotor Sobre a Desgaseificação de Banhos Fundidos de Al**. Traduzido por Themistocles Rodrigues Júnior. Revista Fundição e Serviços, Aranda Editora, nº243, março 2013, p. 44-50.
- [17] TÂMEGA. F. **Fundição de Processos Siderúrgicos**. Londrina, 2017.
- [18] VERRAN. G.O. **Processos de Fabricação – Fundição**. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2015.

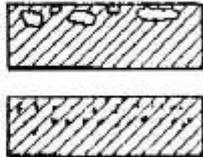
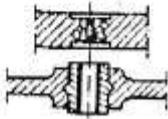
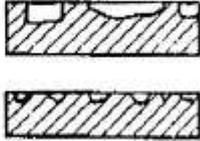
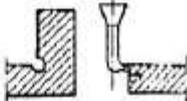
9 ANEXO I – MANUAL DE DEFEITOS – CAVIDADES

Figura 37: Manual descritivo de defeitos do grupo das cavidades.

2 – GRUPO B: Cavidades (vazios)

B100 – Cavidade com superfície lisa

B110 – Cavidades internas

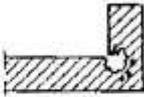
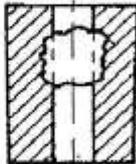
Nº	Descrição	Nome usado	Esquema
B111	Cavidades de repartição irregular dentro da peça	Bolhas, microporosidades	
B112	Cavidades perto de um chapelim, de uma peça inserida, ou de um resfriador	Bolhas sobre: – chapelim – peça inserida – resfriador	
B113	Cavidade junto com uma inclusão de escória	Bolha de escória	
B120 – Cavidade na superfície da peça:			
B121 e B123	Cavidade ou porosidades na superfície	Bolhas e porosidades superficiais	
B122	Cavidade com parede lisa num ângulo da peça	Bolhas de ângulo, podendo ser também anexa a um rechupe	

Fonte: SANTOS, et al., 2017.

Figura 38: Manual descritivo de defeitos do grupo das cavidades (continuação).

B200 – Cavidade com superfície rugosa dendrítica

B210 – Cavidade abertas

B211	Cavidade externa localizada acima de uma parte maciça	Rechupe (ou chupagem) aberto externo	
B212	Cavidade externa localizada num ângulo sobre aquecido da peça	Rechupe de ângulo	
B213	Cavidade nas proximidades de um macho sobre aquecido	Rechupe de macho	

B220 – Cavidade internas

B221	Cavidade interna de forma irregular, superfície dendrítica	Rechupe interno	
B222	Cavidade ou porosidade no plano mediano da peça	Rechupe axial	

Fonte: SANTOS, et al., 2017.

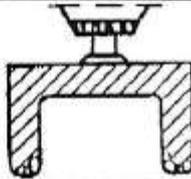
10 ANEXO II – MANUAL DE DEFEITOS – INCLUSÕES E ANOMALIAS DE ESTRUTURA

Figura 39: Manual descritivo de defeitos do grupo das inclusões e anomalias de estrutura.

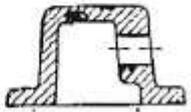
7 – GRUPO G: Inclusões e anomalias de estrutura

G100 – Inclusões

G110 – Inclusões metálicas

Nº	Descrição	Nome usado	Esquema
G111	Inclusões metálicas que não tem o mesmo aspecto e composição da liga	Inclusões metálicas, segregações reação intrametálica (origem externa)	
G112	Inclusões de mesma composição que a liga de forma esférica, envolvida de óxidos	Gota fria	
G113	Inclusão metálica localizada num defeito tipo cavidade	Exsudação interna gota fosforosa (F C)	

G120 – Inclusões não metálicas – inclusões – fluxos

G121	O aspecto e análise química mostram que provém de escórias ou fluxos	Inclusões de escórias	
------	--	-----------------------	---

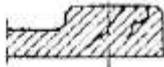
Fonte: SANTOS, et al., 2017.

Figura 40: Manual descritivo de defeitos do grupo das inclusões e anomalias de estrutura (continuação).

G130 – Inclusões não metálicas – materiais de moldes ou machos

G131	Inclusões de areia, em geral próximas da superfície	Inclusões de areia	
------	---	--------------------	---

G140 – Óxidos – produtos de reação

G141	Manchas pretas na ruptura de uma peça (F F)	Manchas pretas	
G142	Inclusões em forma de película constituída por óxidos	Películas de óxidos	
G143	Peles enrugadas com aspecto de grafita brilhante na peça	Pele de grafita brilhante	
G144	Inclusões de compostos metálicos duros (de ferro) dentro das ligas leves	Pontos duros	

Fonte: SANTOS, et al., 2017.