

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

MATHEUS ARAUJO FERREIRA PASSOS

**FUNDIÇÃO EM AREIA VERDE DA CARÇA DA CAIXA DE DIREÇÃO DE UM
VEICULO MINI BAJA**

MANAUS

2021

MATHEUS ARAUJO FERREIRA PASSOS

**FUNDIÇÃO EM AREIA VERDE DA CARCAÇA DA CAIXA DE DIREÇÃO DE UM
VEICULO MINI BAJA**

Trabalho de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas (UEA)

Orientador: Prof. Dr. Aristides Rivera Torres

MANAUS

2021

MATHEUS ARAUJO FERREIRA PASSOS

**FUNDIÇÃO EM AREIA VERDE DA CARÇA DA CAIXA DE DIREÇÃO DE UM
VEICULO MINI BAJA**

Este Trabalho de Curso foi considerado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e aprovado em sua forma final pela comissão examinadora.

Manaus, 18 de dezembro de 2021

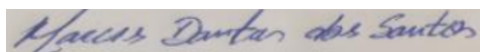
Aprovado por:



PROF. DR. ARISTIDES RIVERA TORRES (UEA).



PROF. DR. ANTÔNIO CLAUDIO KIELING (UEA).



PROF. MSC. MARCOS DANTAS DOS SANTOS (UEA).

P289f Passos, Matheus Araujo Ferreira
 Fundição em areia verde da carcaça da caixa de direção de
 um veículo mini baja / Matheus Araujo Ferreira Passos.
 Manaus : [s.n], 2021.
 44 f.: color.; 8 cm.

 TCC - Graduação em Engenharia Mecânica -
 Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2021.
 Inclui bibliografia
 Orientador: Aristides Rivera Torres

 1. Fundição. 2. Areia verde. 3. Carcaça de direção. I.
 Aristides Rivera Torres (Orient.). II. Universidade do
 Estado do Amazonas. III. Fundição em areia verde da
 carcaça da caixa de direção de um veículo mini baja

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me proporcionar tantas bênçãos em minha vida. Nasci em uma família que sempre me apoiou e me deu todo o suporte para seguir meus sonhos. Em especial agradeço aos meus pais Jair Flavio Ferreira Passos e Rosalia de Araujo Gato por todo amparo durante toda minha vida e principalmente nesse período de curso.

A meus amigos da turma de mecânica de 2015 e outros grandes amigos que fiz durante esses anos tão desafiadores de curso, pudemos compartilhar conhecimentos e memórias que irei levar para sempre.

A equipe BAJA UEA pela oportunidade de colocar em prática o conhecimento teórico de sala de aula, todo o esforço, suor e noites sem dormir valeram a pena. Sou grato por todas as amizades que fiz ao longo desses anos na equipe.

Ao professor Dr. Aristides Rivera Torres que foi meu orientador em outros projetos desde o começo da faculdade, agradeço por todo conhecimento e orientações ao longo desses anos.

A minha namorada Thais Lavinia Mesquita de Aquino por me incentivar e apoiar em todos os momentos mais difíceis ao longo dessa dura caminhada, obrigado por todo o companheirismo e por nunca duvidar do meu potencial.

“Os dias prósperos não vêm por acaso; nascem de muito trabalho e persistência.”

(Henry Ford)

RESUMO

A competição baja SAE é um dos programas estudantis promovidos pela SAE BRASIL, os estudantes devem formar equipes que representem a instituição de ensino superior para desenvolver um veículo off road (fora de estrada). Melhorias no projeto do protótipo são fundamentais para que o desempenho da equipe também melhore a cada ano. Portanto, uma das metas da equipe BAJA UEA é a redução de custo do sistema de direção. Foi levantado a possibilidade de fabricação da carcaça do sistema de direção através de fundição em areia a verde, processo de baixo custo e com materiais acessíveis dentro da estrutura da universidade. Para a realização do projeto de fundição foi analisada a geometria da peça no estudo de moldagem, então foi dimensionado o modelo com sobremedidas de usinagem, ângulos de saída e sobremetal para a contração de solidificação da peça. Em seguida, foi dimensionado o massalote com base nos requisitos térmicos e volumétricos. A liga metálica deste trabalho é o alumínio, material muito oxidável em estado líquido e por isso foi utilizado um sistema de canais despressurizado para evitar turbulências no preenchimento do metal líquido no molde. Durante os testes foi possível determinar que os principais parâmetros para a fundição são: umidade da areia, temperatura de vazamento e quantidade de saídas de gases. Os resultados obtidos foram promissores, tendo em vista que foi possível fabricar uma peça que atendeu aos requisitos do projeto sem apresentar defeitos que comprometessem o funcional da peça, reduzindo em até 40% os custos com usinagem e matéria prima da equipe para a fabricação da carcaça do sistema de direção.

Palavras-chaves: Fundição, areia verde, carcaça de direção

ABSTRACT

The Baja SAE is an Collegiate Design Series competition run by the Society of Automotive Engineers International (SAE International), students must function as a team that represent the higher education institution to develop an off road vehicle. Improvements in prototype design are critical for team performance to improve each year. Therefore, one of the goals of the BAJA UEA team is to reduce the cost of the steering system. The possibility of manufacturing the steering system frame through green sand casting was raised, a low-cost process with accessible materials within the university structure. To carry out the casting project, the geometry of the part was analyzed in the molding study, then the model was dimensioned with machining allowances, rake angles and allowance for the part's solidification shrinkage. Then, the riser was dimensioned based on the thermal and volumetric requirements. The metallic alloy in this work is aluminum, a material that is highly oxidizable in the liquid state and, therefore, a depressurized channel system was used to avoid turbulence in the filling of the liquid metal in the mold. During the tests, it was possible to determine that the main parameters for the casting are: sand moisture, casting temperature and number of gas outlets. The results obtained were promising, considering that it was possible to manufacture a part that met the project's requirements without presenting defects that compromised the part's functionality, reducing the team's machining and raw material costs for the manufacture of the frame by up to 40% of the steering system.

Keywords: Casting, green sand, steering frame.

LISTA DE QUADRO

Quadro 1: Valores sugeridos para sobremetal de usinagem	18
Quadro 2: Valores sugeridos para compensar a contração de solidificação	18
Quadro 3: Valores de k para condições de uso do massalote	20
Quadro 4: Valores do coeficiente k'	21
Quadro 5: Valores do coeficiente de contração volumétrica r	21
Quadro 6: Tipos de rechupes em peças fundidas	22
Quadro 7: Valores do coeficiente de perda de carga (B).	35
Quadro 8: Parâmetros da primeira fusão	35
Quadro 9: Parâmetros da segunda fusão	36
Quadro 10: Parâmetros da segunda fusão	37
Quadro 11: Relatório dimensional das peças	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática na fundição em areia verde	18
Figura 2: Ilustração esquemática de um molde em areia verde	19
Figura 3: Contração sólida do metal ao se solidificar	23
Figura 4: Representação de acréscimos no modelo	27
Figura 5: Extração de modelo de molde sem e com ângulo de saída	36
Figura 6: Tipos de rechupes em peças fundidas	41
Figura 7: Peça com massalote isenta de rechupe	41
Figura 8: Determinação da sequência de solidificação pelo uso dos módulos	42
Figura 9: Tipos de fluxo conforme número de Reynolds.	42
Figura 10: Sistema de alimentação comum (a); sistema de alimentação por baixo (b); 1-bacia de vazamento; 2 – canal de descida;3- canal de distribuição; 4 – canal de ataque; 5- massalote; 6- peça.	43
Figura 11: Enchimento por cima .	43
Figura 12: Enchimento por baixo	44
Figura 13: Forma do canal de distribuição	44
Figura 14: Dimensões do canal de ataque.	44
Figura 15: Projeto da carcaça do sistema de direção. .	45
Figura 16: Opção 1 para construção do molde.	45
Figura 17: Opção 2 para construção do molde	46
Figura 18: Projeto do modelo (peça bruta).	46
Figura 19: Análise dos módulos da peça	47
Figura 20: Opção 1: sistema de alimentação comum	47
Figura 21: Opção 2 sistema de alimentação por baixo	48
Figura 22: Opção 2 sistema de alimentação por baixo	49
Figura 23: Molde da primeira fusão	49
Figura 24: Resultado da primeira fusão	49
Figura 25: Molde da segunda fusão	49
Figura 26: Resultado da segunda fusão	49
Figura 27: Molde da terceira fusão.	49
Figura 28: Resultado da terceira fusão	49

● **SUMÁRIO**

●	SUMÁRIO	11
1	INTRODUÇÃO	13
1.1	tema	14
1.2	problema de pesquisa	14
1.2.1	Hipótese	14
1.3	OBJETIVO	14
1.3.1	Objetivo Geral	14
1.3.2	Objetivos Específicos	14
1.4	justificativa	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	HISTÓRICO	16
2.2	FUNDIÇÃO EM AREIA VERDE	16
2.3	AREIA PARA MOLDAGEM	17
2.4	PROJETO DE FUNDIÇÃO	18
2.4.1	Projeto do modelo	18
2.4.2	Projeto do sistema de massalotes	21
2.4.2.1	Regra dos módulos	22
2.4.2.2	Regra da contração	23
2.4.3	Projeto do sistema de alimentação	25
2.4.3.1	Turbulência	25
2.4.3.2	Tipos de canais de enchimento	26
2.4.3.3	Calculo do canal de descida	28
2.4.3.4	Perda de carga (B)	28
2.4.3.5	Altura metalostática (H)	29
2.4.3.6	Dimensionamento canal de distribuição	30
2.4.3.7	Dimensionamento canal de ataque	30
2.5	veículo mini baja	31
3	MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1	Projeto do modelo	32
3.2	Projeto do Massalote	34
3.2.1	Cálculo do requisito térmico	34
3.2.2	Cálculo do requisito volumétrico	34
3.3	Projeto do sistema de alimentação	35
3.3.1	Cálculo do Canal de descida	36
3.3.2	Cálculo do Canal de distribuição	36
3.3.3	Cálculo do Canal de ataque	37
3.4	PREPARO DA AREIA VERDE	37
4	RESULTADO E DISCUSSÃO	38
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

A SAE BRASIL é uma filial da SAE internacional (Society of Automotive Engineers), foi fundada em 1991 e tem por finalidade a disseminação do conhecimento técnico para os profissionais da área da mobilidade. A organização é uma das principais fontes das atualizações tecnológicas da indústria.

A competição baja SAE é um dos programas estudantis promovidos pela SAE BRASIL, os estudantes devem formar equipes que representem a instituição de ensino superior para desenvolver um veículo off road, monoposto e robusto, capaz de ultrapassar quaisquer obstáculos, desde o projeto até a fabricação do veículo. O objetivo é oferecer aos alunos a oportunidade de aplicar na prática os conhecimentos técnicos adquiridos em sala de aula e incrementando seu preparo para o mercado de trabalho. A competição ocorre anualmente e a organização promove a avaliação comparativa dos projetos.

O critério de avaliação do protótipo é definido através de vários testes como segurança, ergonomia, aceleração, tração e finaliza com o enduro, circuito com variações no terreno e vários obstáculos para testar ao máximo a confiabilidade e eficiência do protótipo, por fim vence a corrida a equipe que realizar o maior número de voltas no circuito.

Dessa forma, melhorias no projeto do protótipo são fundamentais para que o desempenho da equipe também melhore a cada ano. Ganhos em eficiência, redução de massa dos componentes e redução de custos são algumas metas usadas pelas equipes. Portanto, uma das metas da equipe BAJA UEA é a redução de custo do sistema de direção. Foi levantado a possibilidade de fabricação da carcaça do sistema de direção através de fundição em areia a verde, processo de baixo custo e com materiais acessíveis dentro da estrutura da universidade.

Posto isto, o objetivo deste trabalho é apresentar o projeto de fundição em areia verde da carcaça do sistema de direção de um veículo mini baja, desde o estudo do modelo e moldagem até os testes para definição dos parâmetros da fundição da peça bruta. Anteriormente a peça era fabricada apenas por usinagem, aumentando o custo do projeto. Espera-se viabilizar a fabricação da peça em geometria mais complexa com ganho da redução de massa do componente.

1.1 TEMA

Fundição em areia verde da carcaça da caixa de direção de um veículo mini baja.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

É possível a fabricação da carcaça do sistema de direção de um veículo mini baja por fundição em areia verde com baixo custo?

1.2.1 Hipótese

- É possível desenvolver o projeto de fundição em areia verde da carcaça do sistema de direção de um veículo mini baja com baixo custo.
- É possível fabricar a carcaça por fundição em areia verde com precisão dimensional que atenda aos requisitos do projeto.

1.3 OBJETIVO

1.3.1 Objetivo Geral

Realizar o projeto de fundição da carcaça, fabricando a peça fundida.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Projetar o sistema de canais para produzir a peça com baixo custo.
- Parametrizar o processo para produzir a peça com precisão dimensional que atenda o projeto.

1.4 JUSTIFICATIVA

A competição baja SAE é um dos programas estudantis promovidos pela SAE BRASIL, os estudantes devem formar equipes que representem a instituição de ensino superior para desenvolver um veículo off road, monoposto e robusto, capaz de ultrapassar quaisquer obstáculos, desde o projeto até a fabricação do veículo. Portanto, a cada ano é fundamental que as equipes apresentem melhorias no projeto do protótipo para alcançar melhores resultados.

A equipe BAJA UEA estabeleceu como uma de suas metas a redução de custo no sistema de direção, para isso, foi levantado a possibilidade de fabricar a carcaça

processo de fundição em areia verde, por ser um método de baixo custo e com materiais acessíveis dentro da estrutura da universidade. Nos anos anteriores a peça era fabricada inteiramente por usinagem, os custos com matéria prima e várias horas de usinagem aumentavam o custo de fabricação da carcaça. Além disso, as opções de geometria da carcaça eram mais limitadas, para facilitar a usinagem.

Com isso posto, o objetivo deste trabalho é a fundição em areia verde da carcaça do sistema de direção de um veículo mini Baja, para a redução dos custos de fabricação da peça e com qualidade dimensional que atenda ao projeto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 HISTÓRICO

Acredita-se que as primeiras fundições de metais datam de 4000 a 3000 a.C, utilizando pedras lascadas para fabricar peças feitas de cobre. Desde então, o processo evoluiu e várias técnicas de fundição surgiram, cada uma com características e aplicações próprias. A fundição é um dos processos mais versáteis, produzindo peças e componentes para a indústria automobilística, agrícola, ferroviária, naval e até joias (KALPAKJIAN,2010)

Segundo BALDAM (2014) a evolução da tecnologia da fundição começou há aproximadamente 4000 a.C, onde em alguns países como China e Índia, surge o processo de fundição por cera perdida. Em 1000 a.C com a obtenção do ferro forjado, se dá início a era do Ferro. No império Romano, entre 250 e 100 a.C, a metalurgia é utilizada para fabricar itens do cotidiano como machados e ferramentas, mas também aplicada para fabricar armamentos. Entre 1300 e 1400 da era moderna, marcou o desenvolvimento dos fornos de fusão industrial. Em 1944 o processo de fundição shell molding foi desenvolvido pelo alemão Johannes Cronning A partir de 1960, o desenvolvimento de novas tecnologias de fundição para fabricação de peças fundidas em aço de alta resistência.

2.2 FUNDIÇÃO EM AREIA VERDE

Para KALPAKJIAN (2010) um dos métodos de fundição mais conhecidos e empregados é o de moldagem em areia verde, no qual usa uma mistura de areia, argila e água. O nome “verde” é devido ao fato de quando o metal líquido é vazado no molde, a areia está úmida. Moldagem em areia verde possui como vantagem ser um dos métodos mais baratos e práticos de fundição e a areia pode ser reutilizada facilmente.

Como pode ser observado na figura 1, o processo consiste em colocar um modelo (peça que possui a forma da peça desejada) na areia, adicionar o sistema de alimentação, remover o modelo e o sistema de alimentação da areia para criar uma cavidade no molde, vazar alumínio líquido no molde, quebrar o molde de areia e remover da peça bruta o sistema de alimentação.

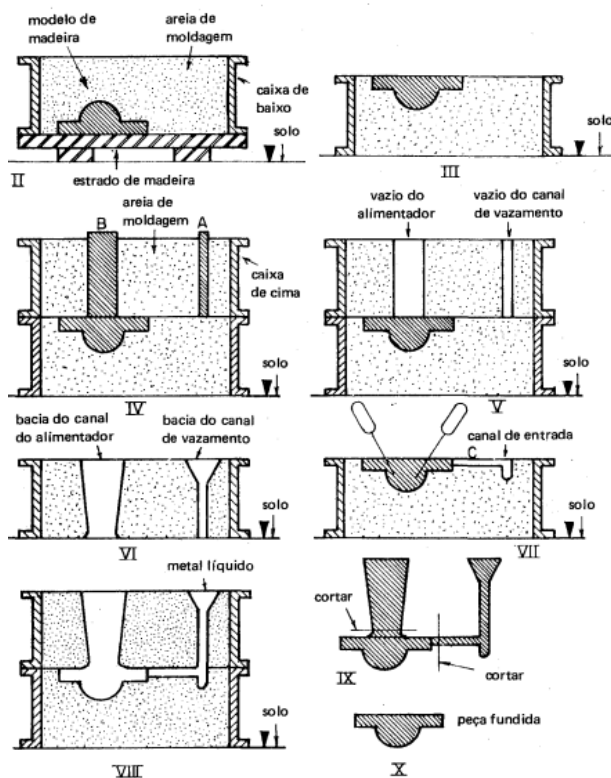


Figura 1 - Representação esquemática na fundição em areia verde.

Fonte: CHIAVERINI (1986)

2.3 AREIA PARA MOLDAGEM

Para TÂMEGA (2017) A areia-base para a confecção dos moldes de fundição são feitas de grãos refratários, essa areia geralmente é silicosa e misturada com argila e água. As principais propriedades mecânicas que as areias utilizadas em moldes de fundição devem ter são:

- Alta refratariedade
- Boa permeabilidade
- Resistência mecânica
- Plasticidade

As areias podem ser novas ou recicladas, ao se utilizar areias usadas, devem ser usadas quantidades menores de aglomerantes e cerca de 10% de areia nova para reconstituição da areia. As areias também podem ser em areia de faceamento e areias de enchimento. Geralmente, se utiliza areias novas para o faceamento, para garantir uma qualidade superficial melhor nas peças fundidas. As areias recicladas são usadas para o enchimento, pois não terão contato direto com o metal líquido.

2.4 PROJETO DE FUNDIÇÃO

Cada vez mais as fundições se deparam com a necessidade de produzir peças com alta qualidade a custos competitivos. Para isso, a análise dos parâmetros para o projeto de fundição é de vital importância (BALDAM, 2014).

A figura 2 ilustra os principais componentes para se fabricar uma peça fundida.

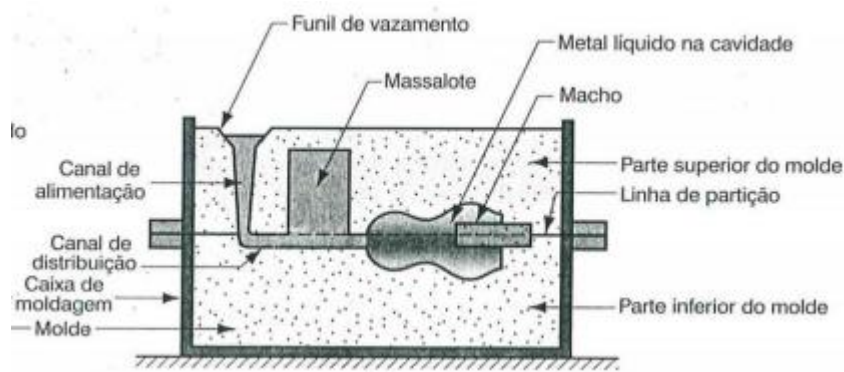


Figura 2 – Ilustração esquemática de um molde em areia verde.

Fonte: Fundamentals of modern manufacturing, 4ª edição por Mikell P. Groover, 2010

Molde: Contém a cavidade da peça que se deseja obter, é onde o metal líquido é vazado para dar origem a peça fundida.

Macho: Geralmente feitos de areia, são responsáveis por obter de maneira mais econômica as geometrias internas ou externas da peça, diminuindo a necessidade de usinagem da peça fundida.

Modelo: Pode ser feito de diversos materiais, são réplicas da peça que se deseja obter e formam a cavidade do molde, porém possuem algumas modificações como sobremetal para usinagem e ângulos de saída para facilitar sua remoção do molde.

Canais de enchimento: É o sistema que leva o metal líquido do cadinho para o interior do molde, a uma dada temperatura e em um intervalo de tempo, a fim de se obter peças íntegras.

Massalotes: São reservas de metal líquido, responsáveis por suprir a contração do metal líquido e durante a solidificação, evitando vazios no interior da peça, chamados de rechupes.

2.4.1 Projeto do modelo

Ao receber as especificações do produto que irá entrar em produção, uma série de fatores devem ser levados em consideração para evitar defeitos de fabricação.

Para que o produto se adapte a fundição o mesmo precisa passar por algumas alterações em seu dimensionamento, de forma a compensar os fenômenos que ocorrem durante a solidificação do metal líquido no interior do molde. Como o metal se contrai durante a solidificação, devem-se aumentar as dimensões do modelo de forma a compensar essa contração. (BALDAM, 2014). A figura 3 ilustra esse fenômeno.

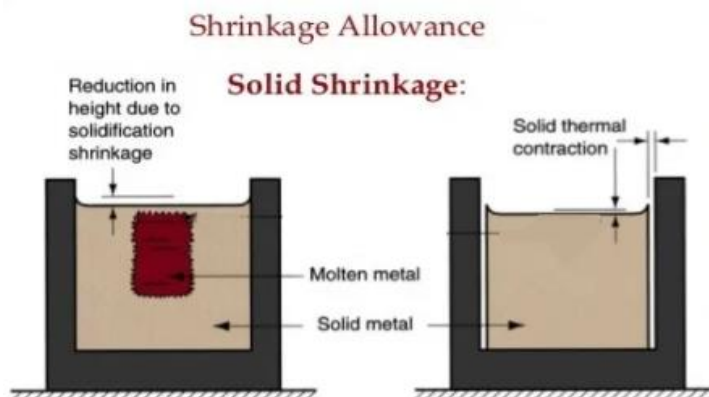


Figura 3 – Contração sólida do metal ao se solidificar. Adaptado Groover (2014)

Durante o preenchimento do molde com metal líquido, as impurezas, escórias, bolhas de ar, por serem menos densas, flutuam na parte superior do líquido e alcançam as partes superiores do molde, conforme mostra a figura 4. Por isso, na análise da peça a ser fundida, é preciso definir quais superfícies serão usinadas, de forma que essa superfície possa ser posicionada na parte inferior do molde diminuindo o acréscimo de sobremetal nesta região. Quando for impossível posicionar o modelo com as superfícies a serem usinadas para baixo, é preciso aumentar o sobremetal para a remoção dessas impurezas (BALDAM, 2014).

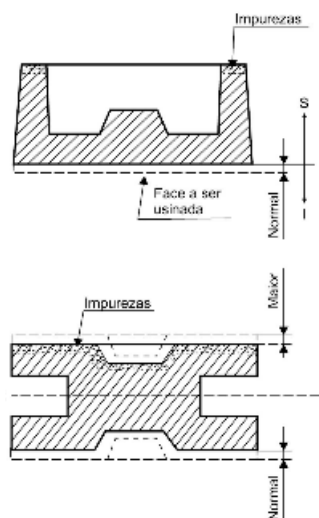


Figura 4 – Representação de acréscimos no modelo
Adaptado de Baldam (2014)

Segundo BALDAM (2014) no dimensionamento do modelo, outra característica comum são os ângulos de saída e os arredondamentos. Como pode ser observado na figura 5, os ângulos de saída servem para facilitar a extração do modelo do molde, evitando quebras nas paredes do molde durante a extração. Os arredondamentos tem a função de diminuir pontos de concentrações de tensões, devido ao fato de cantos vivos dificultarem a transmissão de calor, o resultado disso são defeitos como rechupes, fendas ou trincas que inutilizam a peça. Os quadros 1 e 2 podem ser utilizados como base para o dimensionamento do modelo.

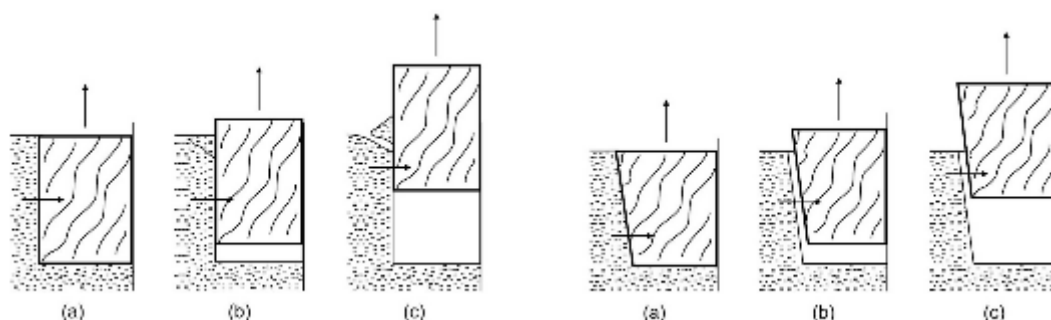


Figura 5 – Extração de modelo sem e com ângulo de saída. Adaptado Baldam (2014)

Maior dimensão da superfície da peça: compr., larg., alt., diâmetro em mm	Espessura do acréscimo de usinagem para superfície			
	Moldagem manual		Moldagem mecanizada	
	Faces inferiores e laterais	Faces superiores	Faces inferiores e laterais	Faces superiores
Até - 40	2	3	2	2
40 - 100	2	3	2	3
100 - 160	2	4	3	4
160 - 250	3	5	3	4
250 - 400	4	6	3	5

Quadro 1 – Valores sugeridos para sobremetal de usinagem. Adaptado de Baldam, 2011

Normal Shrinkage Allowance for Some Metals Cast in Sand Molds	
Metal	Shrinkage allowance (%)
Gray cast iron	0.83–1.3
White cast iron	2.1
Malleable cast iron	0.78–1.0
Aluminum alloys	1.3
Magnesium alloys	1.3
Yellow brass	1.3–1.6
Phosphor bronze	1.0–1.6
Aluminum bronze	2.1
High-manganese steel	2.6

Quadro 2 – Valores sugeridos para compensar a contração de solidificação. Adaptado de Kalpakjian, 2010.

2.4.2 Projeto do sistema de massalotes

Rechupe é um defeito de fundição, que é consequência da contração volumétrica do metal líquido durante o processo de solidificação. Esse defeito se manifesta como vazios na peça, podendo ser internos ou aberto à superfície, localizado nas regiões que se solidificam por últimos, os chamados pontos quentes da peça, esse fenômeno pode ser observado na figura 6 Durante o processo de solidificação, o metal líquido sofre três tipos de variação em seu volume: contração líquida, contração de solidificação e contração sólida. Como resultado das contrações líquidas e de solidificação surge o rechupe, essas variações de volume são compensadas pela adição de um reservatório de metal líquido, chamado de massalote, como mostra a figura 7. (FREITAS, 2011).

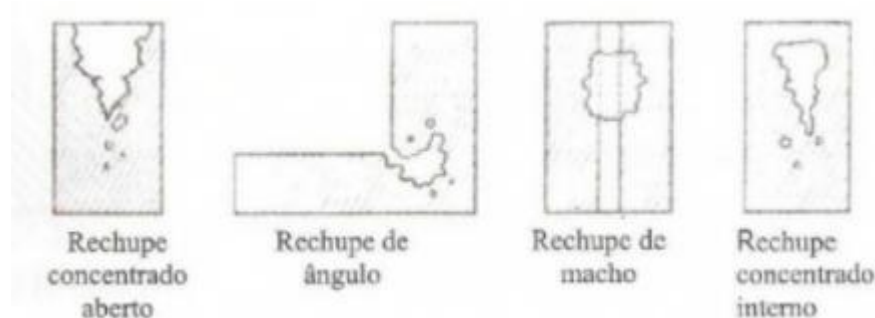


Figura 6 – Tipos de rechupes em peças fundidas
Adaptado Freitas 2011

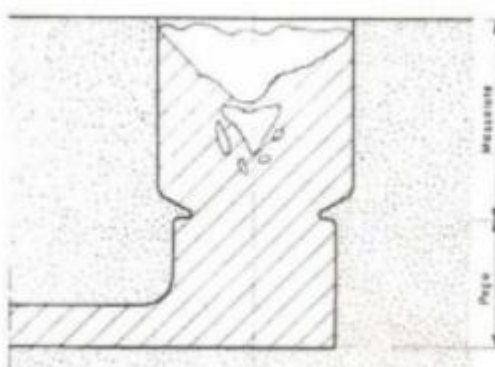


Figura 7 – Peça com massalote isenta de rechupe.
Adaptado Freitas 2011

Para BALDAM (2014) o projeto do sistema de massalotes deve visar uma eficiente alimentação da peça, garantindo a sanidade do produto. Para isso, o massalote deve satisfazer às seguintes condições:

- Deve ser posicionado na parte da peça que se solidifica por último, ou seja, no ponto quente da peça;

- O massalote deve se solidificar depois da peça;
- Deve ter volume capaz de compensar a contração volumétrica da peça;
- Deve estar constantemente sob o efeito da pressão atmosférica;
- Ter o mínimo peso possível em relação a peça, diminuindo os custos de fabricação.

Para o dimensionamento do massalote, existem três regras:

- Regra dos módulos;
- Regra da contração;

2.4.2.1 Regra dos módulos

Primeiro, deve-se determinar o tempo de solidificação de cada seção da peça, através da equação de Chvorinov (BALDAM, 2014).

$$t=C(V/S)^2 \quad (1)$$

Onde:

t = tempo de solidificação da parte de interesse;

C = constante que depende das condições do molde;

V = volume da parte de interesse;

S = área em contato com o molde da parte em questão.

Como C é uma constante, a razão V/S é que determina a sequência de solidificação da peça, também chamada de módulos parciais. Então, para determinar a ordem de solidificação das regiões da peça, deve-se decompor a mesma em elementos geométricos simples. Regiões com um módulo maior, serão as últimas a se solidificar (BALDAM, 2014).

$$M=V/S \quad (2)$$

Onde:

M = módulo da seção de interesse;

V = volume da seção de interesse;

S = área da seção de interesse em contato com o molde.

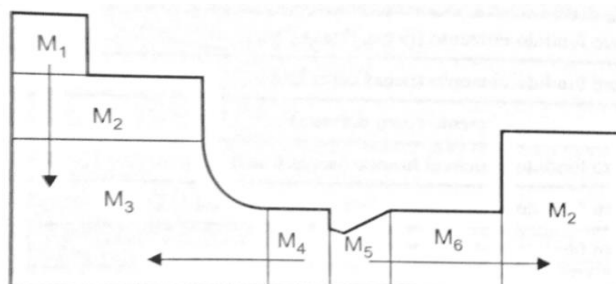


Figura 8 – Sequência de solidificação pelo uso dos módulos. Adaptado de Baldam, 2014.

Para o dimensionamento dos massalotes o mesmo precisa solidificar por último, ou seja, deve possuir um módulo maior do que os pontos quentes da peça. Para isso, segue os seguintes cálculos para dimensionar um massalote do tipo aberto:

$$Mm = Mp * k \quad (3)$$

$$Dm = 4 * Mm \quad (4)$$

$$Hm = 2 * Dm \quad (5)$$

$$Lm = 0,7 * Dm \quad (6)$$

$$Vm = \pi/4 Dm^2 * Hm \quad (7)$$

Onde:

Mm = Módulo do massalote;

Mp = Maior módulo da peça;

k = coeficiente das condições do massalote;

Dm = Diâmetro do massalote;

Hm = Altura do massalote;

Lm = Seção de ligação do massalote;

Vm = Volume do massalote.

Caso geral	K = 1,2
Massalote aquecido pelo ataque	K = 1,1
Massalote com luva exotérmica	K = 0,9 a K = 0,8
Massalote para peça de ferro fundido de grafita lamelar vazado em molde rígido	K = 0,6

Quadro 3 – Valores de k para condições de uso do massalote. Adaptado de Freitas, 2011.

2.4.2.2 Regra da contração

Segundo FREITAS (2011) o massalote deve ter volume suficiente para compensar as contrações volumétricas durante a solidificação da peça. Dessa forma, o dimensionamento do massalote deve obedecer a seguinte relação:

$$Vm \geq Vc * k'^r \quad (8)$$

Onde:

Vm = volume do massalote;

Vc = Volume da cavidade;

k' = coeficiente de eficiência do massalote;

r = taxa de contração volumétrica do metal líquido.

A Quadro 4 mostra valores para o coeficiente de eficiência do massalote. A Quadro 5 apresenta valores da taxa de contração volumétrica de diferentes ligas em função da temperatura de sobreaquecimento. O sobreaquecimento é a diferença entre a temperatura de vazamento e a liquidus. O quadro 6 mostra valores utilizados para o coeficiente de contração volumétrica r . (FREITAS, 2011).

Massalote	Coeficiente k'
Comum	6
Aquecido pelo ataque	5
Coberto por pó exotérmico	4
Em molde rígido de peças de ferro fundido de grafita lamelar	3

Quadro 4 – Valores do coeficiente k' . Adaptado de Freitas, 2011.

Liga	Sobreaquecimento	
	50 °C	150 °C
Bronze comum	0,04	0,045
Latão comum	0,06	0,065
Latão de alta resistência	0,07	0,075
Cupralumínio (10% Al) e Cupro-Ni	0,05	0,055
Ligas de magnésio	0,045 a 0,05	0,05 a 0,06
Ligas de alumínio (10% < Si ≤ 13%)	0,045	0,05

Quadro 5 – Valores do coeficiente de contração volumétrica r . Adaptado de Freitas, 2011.

Segundo FREITAS (2011) devido às contrações sofridas pelo metal líquido durante a solidificação, o volume da cavidade do molde será maior que o volume da peça sólida, por isso, é necessário realizar uma correção através da seguinte equação:

$$V_c = V_p \cdot ds/dq \quad (9)$$

$$D_m = \sqrt[3]{((4 \times V_c)/(H_m \times \pi))} \quad (10)$$

Onde:

V_c = Volume da cavidade;

V_p = Volume da peça sólida;

ds = densidade do metal sólido;

dq = densidade do metal líquido.

Metais	ρ_s (kg/dm ³)	ρ_q (kg/dm ³)	ρ_s/ρ_q
Aço	7,8	6,8	1,147
Ferro fundido	7,3	6,9	1,057
Bronze	8,9	7,8	1,141
Latão	8,4	7,5	1,141
Cobre	8,9	8,4	1,141

Quadro 6 – Valores do coeficiente de contração volumétrica r . Adaptado de Freitas, 2011

2.4.3 Projeto do sistema de alimentação

Para FREITAS (2011) projeto do sistema de alimentação ou de canais deve garantir o preenchimento da cavidade do molde em uma dada temperatura e em um intervalo de tempo, de forma a garantir uma peça sem defeitos. Além disso, o projeto deve considerar o rendimento metálico e a velocidade de enchimento. Algumas funções dos canais são:

- Reduzir a turbulência do fluxo metálico ao preencher o molde, evitando o arraste de escórias e bolhas de ar;
- Evitar velocidades elevada no fluxo, diminuindo a possibilidade de erosão do molde de areia;
- Evitar a formação de regiões com baixa pressão, evitando a aspiração de ar para o interior do molde;
- Garantir o tempo de enchimento estipulado por projeto;
- Assegurar o gradiente térmico da peça.

Segundo FREITAS (2011) devido às contrações sofridas pelo metal líquido durante a solidificação, o volume da cavidade do molde será maior que o volume da peça sólida, por isso, é necessário realizar uma correção através da seguinte equação:

2.4.3.1 Turbulência

Uma das principais funções dos canais de alimentação é diminuir ao máximo a turbulência do fluxo de um líquido ao preencher o molde. O número de Reynolds expressa de maneira sintética o valor da turbulência em um fluxo (BALDAM, 2014).

$$Re=(V*Dh)/\nu \quad (11)$$

Onde:

Re = número de Reynolds;

V = velocidade do fluxo;

Dh = diâmetro hidráulico;

ν = viscosidade cinemática.

O diâmetro hidráulico pode ser calculado pela seguinte forma:

$$Dh=(4*Area \ da \ seção \ transversal)/(perímetro \ da \ seção \ transversal) \quad (12)$$

De forma geral, os fluxos têm dois tipos de comportamento: laminar e turbulento. Conforme ilustra a figura 9, até 2000 Reynolds o fluxo é laminar e acima desse valor o fluxo é turbulento. Na prática, o fluxo de metais em casos reais de fundição é turbulento, ou seja, alguma turbulência sempre irá existir no preenchimento do molde. Entretanto, existem dois níveis de fluxo turbulento, para valores até 20000 reynolds a turbulência é interna ao fluxo, de forma que nas paredes existe uma fina camada sem agitação. Para valores acima de 20000 Reynolds é severamente turbulento. Conclui-se que para projetos de fundição manter o número de Reynolds abaixo de 20000 é um critério importante no dimensionamento dos canais (BALDAM, 2014).

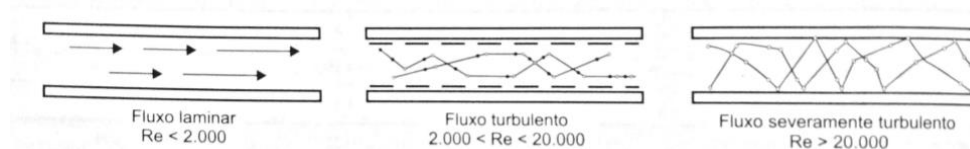


Figura 9 – Tipos de fluxo conforme número de Reynolds.

Adaptado de Baldam, 2014.

2.4.3.2 Tipos de canais de enchimento

A escolha do tipo de canal de enchimento é parte importante para o dimensionamento. O metal líquido deve escoar de forma constante e sem prejudicar o formato da cavidade. A figura 8 ilustra dois sistemas de canais bastante comuns em peças fundidas. O sistema de alimentação comum ou por cima tem como característica o maior rendimento metálico e sua maior facilidade de projeto e execução. O sistema de alimentação por baixo tem menor rendimento metálico, porém proporciona um preenchimento menos turbulento do metal no molde.

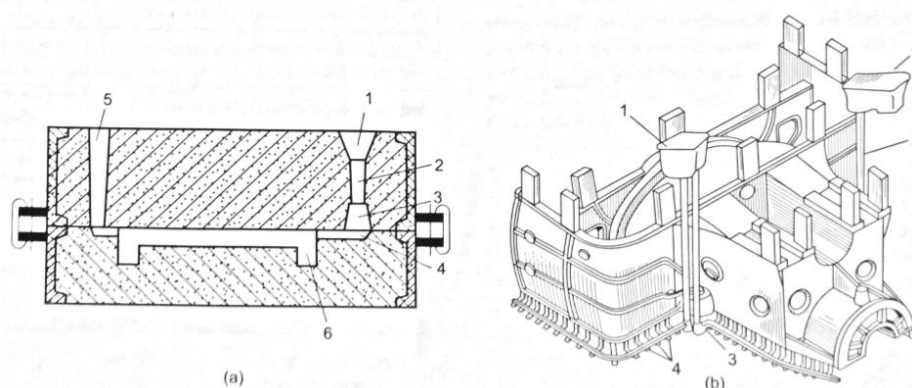


Figura 10 – Sistema de alimentação comum (a); sistema de alimentação por baixo (b); 1-bacia de vazamento; 2 – canal de descida; 3- canal de distribuição; 4 – canal de ataque; 5- massalote; 6- peça. Adaptado de Baldam, 2014.

A figura 10 mostra os principais elementos de um canal de alimentação. Outro aspecto importante na determinação do projeto de canais é na relação entre os seus componentes. Os canais podem ser pressurizados ou despressurizados. Em canais pressurizados, a velocidade do fluxo aumenta a partir do canal de descida, ou seja, a área dos canais de distribuição e ataque são menores do que a área do canal de descida. O contrário disso, são os sistemas despressurizados, no qual a velocidade diminui a partir do canal de descida. A relação de canais é indicada pela proporção das áreas dos três componentes básicos de um sistema de alimentação, como mostra a seguinte fórmula:

$$\frac{A_{\text{canal_descida}}}{A_{\text{canal_descida}}} : \frac{A_{\text{canal_distribuição}}}{pA_{\text{canal_descida}}} : \frac{A_{\text{canal_ataque}}}{pA_{\text{canal_descida}}} \therefore 1 : A_d : A_a \quad (13)$$

Valores de A_d e A_a menores que 1, representam sistemas pressurizados, enquanto valores maiores que 1, representam sistemas despressurizados. As principais características de sistemas pressurizados são:

- Sistema menos complexo, proporcionando maior rendimento metálico;
- Maior velocidade de enchimento do molde, evitando defeitos como junções frias;
- Turbulência elevada, facilitando a erosão do molde;
- Usado em ligas de pouco oxidáveis em estado líquido.

As principais características de sistemas despressurizados são:

- Dificulta a formação de óxidos e a erosão do molde;
- Menor rendimento metálico;
- Possibilidade de preenchimento incompleto de canais.
- Usado em ligas muito oxidáveis em estado líquido.

2.4.3.3 Cálculo do canal de descida

Para se produzir uma peça fundida é necessário preencher o volume da cavidade do molde com metal líquido em um determinado tempo, portanto:

$$Q = \frac{V_t}{t} \quad (14)$$

Onde:

Q = Vazão;

V_t = volume total da cavidade do molde (peça + massalote);

t = tempo.

Porém, a vazão também pode ser expressa na forma:

$$Q = S * v \quad (15)$$

Onde:

S = seção da área do canal de descida;

v = velocidade de entrada no metal líquido.

Logo,

$$\frac{V_t}{t} = S * v \rightarrow S = \frac{V_t}{t} * \frac{1}{v} \quad (16)$$

A velocidade no canal de descida pode ser expressa pela equação de um corpo em queda livre:

$$v = \sqrt{2 * g * H} \quad (17)$$

Onde:

g = aceleração da gravidade;

H = Altura metalostática.

Portanto substituindo a equação 16 na equação 15, temos:

$$S = \frac{V_t}{t} * \frac{1}{\sqrt{2 * g * H}} \quad (18)$$

2.4.3.4 Perda de carga (B)

Em qualquer escoamento de fluidos ocorre um efeito devido a interação desse fluido com as paredes ou a mudanças de direção. Em fundição esse efeito é devido ao atrito entre o metal líquido e as paredes do molde. Quanto maior e mais complexo for o sistema de canais, maior será essa perda. Dessa forma, é preciso adicionar um valor de correção para compensar essas perdas durante o preenchimento do molde, o quadro 7 pode ser utilizado para definir o valor de B. (FREITAS, 2011).

$$S_d = \frac{V_t}{t} * \frac{B}{\sqrt{2 * g * H}} \quad (19)$$

Onde:

S_d = Área da seção do canal de descida;

V_t = volume total da cavidade (peça + massalotes);

t = tempo de enchimento;

B = coeficiente de perda de carga;

g = aceleração da gravidade;

H = altura metalostática.

Tipo de perda	Coeficiente
Entrada da bacia para o canal de descida	
• sem concordância	0,75
• com concordância	0,20
Junção descida/distribuição	
• sem concordância, seção quadrada	2,0
• com concordância, seção quadrada	1,5
• sem concordância, seção redonda	1,5

Quadro 7 – Valores do coeficiente de perda de carga (B). Adaptado de Freitas, 2011

2.4.3.5 Altura metalostática (H)

Esse parâmetro é de vital importância na determinação de todo o sistema de enchimento, tendo em vista que essa altura fornecerá a pressão necessária para o preenchimento do molde. Existem duas formas de calcular o valor de H , como ilustra as figuras 11 e 12.

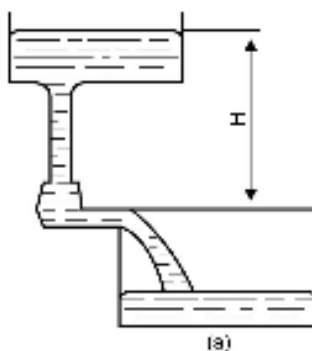


Figura 11 – Enchimento por cima. Adaptado de Baldam, 2014.

Enchimento por cima H será o desnível entre a superfície do metal na bacia de vazamento e o ataque mais baixo.

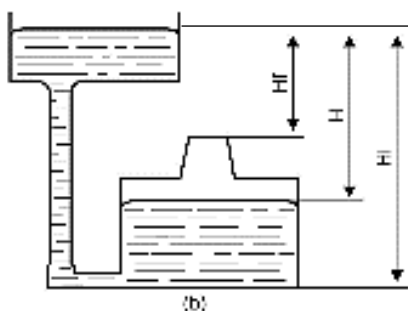


Figura 12 – Enchimento por baixo. Adaptado de Baldam, 2014.

$$\sqrt{H} = (\sqrt{H_i} + \sqrt{H_f})/2 \quad (20)$$

Onde:

H_i = desnível entre a superfície do metal na bacia de vazamento e o ataque mais baixo.

H_f = desnível entre a superfície do metal na bacia de vazamento e o ponto mais alto da cavidade da peça

2.4.3.6 Dimensionamento canal de distribuição

Para definir a seção do canal de distribuição (S_c) é necessário definir o tipo de canal de alimentação, pressurizado ou despressurizado. Por exemplo, um canal do tipo pressurizado pode ter a relação de áreas como 1:0,5:0,5. Ou seja, a área do canal de distribuição será a metade do valor da área do canal de descida. Na figura 13 encontram-se valores para as cotas do canal de distribuição (FREITAS,2011).

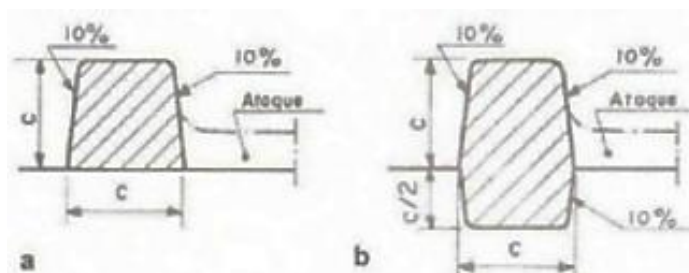


Figura 13 – Forma do canal de distribuição. Adaptado de Freitas, 2011.

$$S_c = S_d * A_d \quad (21)$$

$$c = (1,05 * \sqrt{S_c}) \quad (22)$$

S_c = Área do canal de distribuição

A_d = Valor da proporção entre a área do canal de descida e distribuição

c = Seção transversal quadrada de lado "c"

2.4.3.7 Dimensionamento canal de ataque

Segundo FREITAS (2011) a área das seções de ataque (S_a) é determinada com base na área do canal de descida (S_d) e se o sistema é pressurizado ou despressurizado. O cálculo da área de cada ataque é dado pela equação 20. Na figura 12 encontram-se os valores para as cotas de um ataque.

$$S_a = S_d * A_a \quad (23)$$

$$sa = Sa/n \quad (24)$$

$$a = 2 * \sqrt{sa} \quad (25)$$

$$b = a/4 \quad (26)$$

Onde:

sa = área da seção de um ataque;

Sa = somatório das áreas dos ataques;

n = número de ataques.

a = Seção transversal retangular de lado "a"

b = Seção transversal retangular de lado "b"

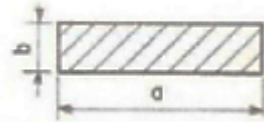


Figura 14 – Dimensões do canal de ataque. Adaptado de Freitas, 2014.

2.5 VEÍCULO MINI BAJA

O projeto Baja SAE é voltado a alunos de engenharia do Brasil, visa oferecer uma forma de aplicar conhecimentos adquiridos em aulas na prática, formando profissionais mais qualificados para o mercado de trabalho. Neste, alunos constroem um protótipo de veículo off-road, fora de estrada, monoposto e qualificado a transpor quaisquer obstáculos. Para a participação em competições da SAE Brasil os universitários formam equipes que representam a Instituição de Ensino Superior, onde avaliam de forma comparativa os projetos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização do estudo, foi utilizado o projeto da carcaça da caixa de direção da equipe BAJA UEA. A peça será feita em alumínio SAE 6063. As principais dimensões da peça estão expostas na figura 15.

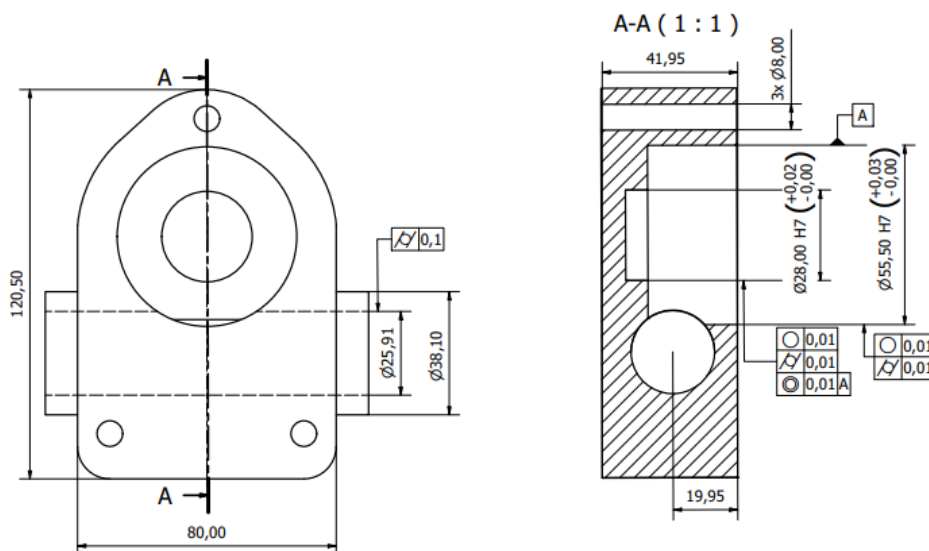


Figura 15 – Projeto da carcaça do sistema de direção. Fonte: Equipe BAJA UEA.

3.1 PROJETO DO MODELO

A primeira fase do projeto inicia com o estudo de moldagem, no qual se avalia a geometria da peça para fabricação do molde, necessidade de machos, modificações na peça para confecção do modelo e o tipo de canal de alimentação. Avaliando a precisão dimensional e as limitações do laboratório, optou-se pela usinagem dos $\varnothing 28$ e $\varnothing 25,91$ sem que haja pré furos a fim de facilitar a confecção do molde. Para os $\varnothing 8$ e $\varnothing 55,5$ optou-se por fazer pré furos para facilitar a usinagem das peças.

Avaliando a geometria da peça duas opções para construção do molde surgem, ambas estão ilustradas nas figuras 16 e 17. Note que a opção 1 tem como principal desvantagem o uso de maior número de machos de areia, sendo um para a formar o pré furo do $\varnothing 55,5$ e outros três machos para formar os três o pré furo do $\varnothing 8$. A opção 2 foi escolhida por não necessitar a confecção de machos de areia, pois os $\varnothing 55,5$ e $\varnothing 8$ serão formados ao compactar a areia verde no modelo. A altura de 4,3 cm especificada no croqui, diz respeito à altura máxima que o massalote pode assumir de acordo com a caixa de fundição disponível no laboratório da universidade.

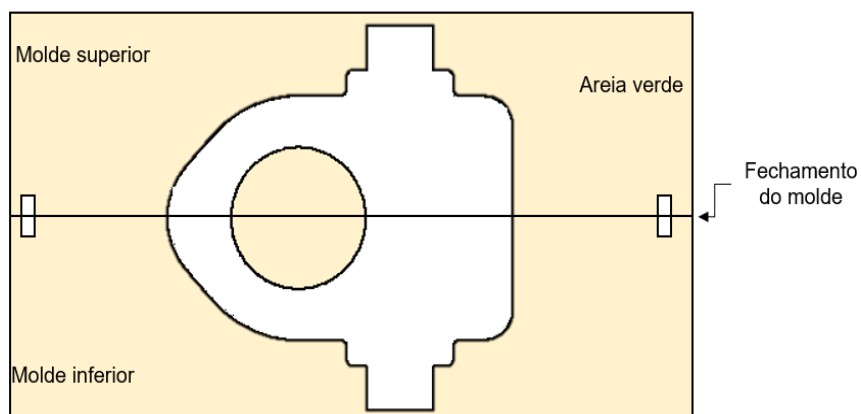


Figura 16 – Opção 1 para construção do molde. Fonte própria.

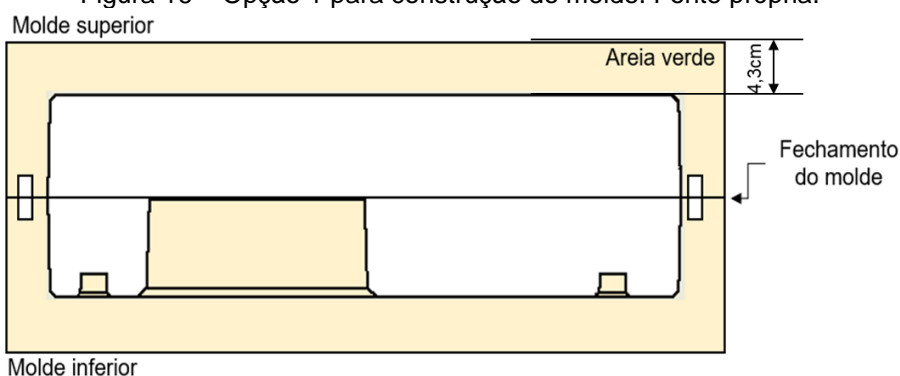


Figura 17 – Opção 2 para construção do molde. Fonte própria.

As sobre medidas de usinagem foram aplicadas de acordo com a Quadro 1 e em todos os diâmetros da peça e na superfície superior do modelo para remover possíveis impurezas e defeitos como porosidades localizados na região superior do molde. As contrações no estado sólido foram levadas em consideração no projeto do modelo e foi utilizado a Quadro 2 como referência. O ângulo de saída de cada metade do modelo também foi adicionado ao modelo, de acordo com o sentido de extração de cada metade do modelo. A figura 18 ilustra o DWG da peça bruta e indica essas alterações comentadas anteriormente e servirá como indicador para avaliar a peça bruta.

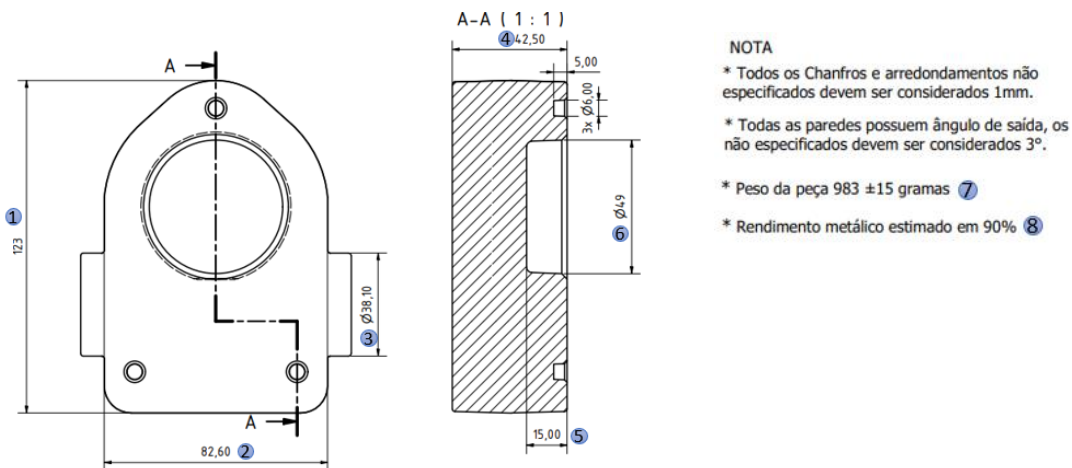


Figura 18 – Projeto do modelo (peça bruta). Fonte própria

3.2 PROJETO DO MASSALOTE

3.2.1 Cálculo do requisito térmico

A próxima fase do projeto foi o dimensionamento dos massalotes. É necessário fazer o estudo dos módulos de cada seção da peça, para que seja possível a correta avaliação do fluxo de solidificação da mesma. Foi realizado o corte em três seções da peça, como ilustra a figura 19 abaixo.

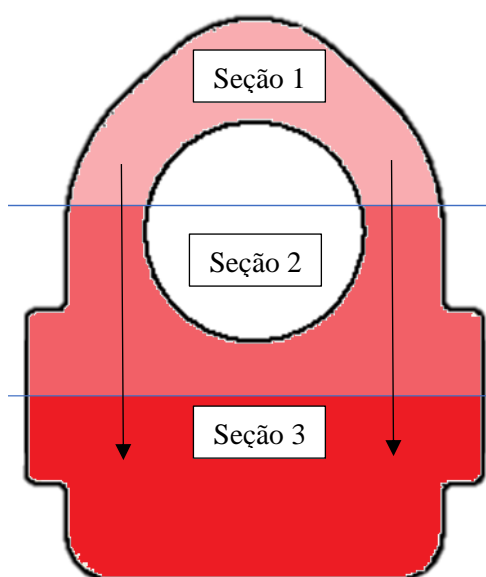


Figura 19 – Análise dos módulos da peça. Fonte própria

Note que a Seção 3 possui o maior módulo da peça, ou seja, é a zona que irá se solidificar por último. O valor do maior módulo é usado para calcular o massalote pelo método dos módulos.

Utilizando as equações (3), (4), (5), (6) e (7) temos:

$$Mm=0,7 \times 1,2 = 0,84$$

$$Dm=4 \times 0,84 = 3,36 \text{ cm}$$

$$Hm=4,3 \text{ cm (requisito de projeto)}$$

$$Lm=0,7 \times 4 = 2,8 \text{ cm}$$

$$Vm=\pi/4 (3,36^2) \times 6,72 = 59,5\text{cm}^3$$

3.2.2 Cálculo do requisito volumétrico

Utilizando as equações (8), (9), (10) temos:

$$V_p = 287 \text{ cm}^3 \text{ (base dwg do modelo)}$$

$$V_c = 287 \times 1,139 = 326,89 \text{ cm}^3$$

$$V_m \geq 326,89 \times 5 \times 0,045 = 73,55 \text{ cm}^3$$

$$H_m = 4,3 \text{ cm (requisito de projeto)}$$

$$D_m = \sqrt[3]{\frac{(4 \times 73,55)}{(4,3 \times \pi)}} = 4,67 \text{ cm}$$

De acordo com o dimensionamento do massalote, será utilizado o resultado que possuía o maior volume, logo, o massalote foi dimensionado com base no resultado do critério volumétrico, $V_m = 73,55 \text{ cm}^3$.

3.3 PROJETO DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO

A próxima fase do projeto é o dimensionamento do sistema de alimentação. Devido a elevada reatividade do alumínio com oxigênio, foi utilizado um sistema despressurizado [1:2:2], para diminuir a velocidade de enchimento e reduzir a turbulência ao longo do enchimento da peça. Foram avaliadas duas possibilidades para a alimentação da peça, como ilustram as figuras 20 e 21.

O sistema 1, apresenta como vantagem o melhor enchimento da peça, por possuir menor turbulência. As desvantagens são o maior consumo com matéria prima e a maior complexidade para a confecção do molde, inviabilizando essa opção e por isso, o sistema 1 foi reprovado. O sistema 2 possui como vantagens o menor consumo de matéria prima e facilidade para confecção do molde. Possui como desvantagem o enchimento em uma altura mais elevada, causando maior turbulência. Por possuir melhor custo benefício, esse sistema foi aprovado.



Figura 20 – Opção 1: sistema de alimentação comum. Fonte própria.

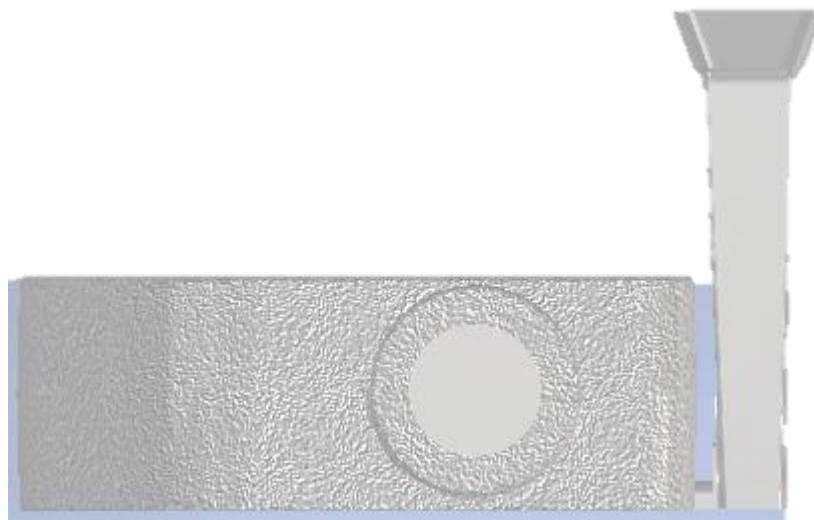


Figura 21 – Opção 2: sistema de alimentação por baixo. Fonte própria.

3.3.1 Cálculo do Canal de descida

Seguindo o que já foi estabelecido durante o estudo do modelo, a alimentação da peça é do tipo comum, logo, utilizando a equação (20) e a figura 17 temos:

$$\sqrt{H} = (\sqrt{4,3} + \sqrt{6,5})/2 = 2,31\text{cm}$$

Utilizando uma premissa de laboratório, o tempo de enchimento (t) da peça será definido em 5 segundos. Utilizando as equações (19), temos:

$$t = 5 \text{ s}$$

$$Vt = 287 + 73,55 = 360,55 \text{ cm}^3$$

$$B = 1,5 \text{ (base Quadro 7)}$$

$$Sd = \frac{360,55}{5} * \frac{1,5}{\sqrt{2 * g * 2,31}} = 1,06\text{cm}^2$$

$$d = \sqrt{1,06} = 1,03 \text{ cm}$$

$$Re = (102,39 \times 1,03)/0,0127 = 8286$$

O número de Reynolds projetado é menor que 20000, validando que o dimensionamento do canal seja o menor turbulento possível.

3.3.2 Cálculo do Canal de distribuição

Utilizando as equações (21) e (22), temos:

$$Sc = 1,06 \times 2 = 2,12 \text{ cm}^2$$

$$c = (1,05 \times \sqrt{2,12}) = 1,53 \text{ cm}$$

3.3.3 Cálculo do Canal de ataque

Levando em consideração a geometria da peça e as proporções de sua seção transversal, foi definido o maior número de ataques para que a peça seja alimentada com o menor nível de turbulência possível.

Utilizando as equações (23), (24), (25), (26) temos:

$$Sa = 1,06 * 2 = 2,12 \text{ cm}^2$$

$$sa = \frac{2,12}{3} = 0,70 \text{ cm}^3$$

$$a = 2 * \sqrt{0,70} = 1,68 \text{ cm}$$

$$b = \frac{1,68}{4} = 0,42 \text{ cm}$$

3.4 PREPARO DA AREIA VERDE

Para a confecção do molde em areia verde foram utilizados os seguintes materiais: areia base do tipo 60/70 AFS usada em construção civil, bentonita artesanal, pó de carvão e água. A areia silicosa possui grãos refratários é usada por possuir permeabilidade e alta refratariedade, a bentonita ou argila é usada como o aglomerante e tem por função fazer a ligação dos grãos de areia, proporcionando o aumento da dureza e resistência mecânica, entretanto reduz a permeabilidade da areia. O pó de carvão é um aditivo usado melhorar algumas propriedades da areia, como evitar a que o metal líquido penetre nas paredes do molde e evitar a aderência da areia na peça fundida. (TÂMEGA, 2017)

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Na primeira fusão foi utilizado para confecção do molde uma mistura de areia, bentonita, pó de carvão e água com umidade em 4% do peso da mistura, foi utilizado um forno de indução e um cadinho para fundir o alumínio, a temperatura de vazamento foi de aproximadamente 750°C.

A areia se mostrou muito quebradiça e frágil, quebrando várias vezes ao remover o modelo do molde. Ao vazar o metal líquido no molde o mesmo se desfez devido à pressão gerada pelos gases e do alumínio fundido preenchendo a peça. A areia não possuía permeabilidade suficiente para a saída dos gases do inferior do molde, fator determinante para o problema. A temperatura de fusão também contribuiu para que a peça se quebrasse ao remover o alumínio do molde, devido ao baixo tempo de extração utilizado na primeira fusão.

Parâmetros da 1ª Fusão					
Areia	Bentonita	Pó de Carvão	Umidade areia	Temperatura Vazamento	Nº saída de gases
80%	10%	10%	4%	742°C	2

Quadro 8 – Parâmetros da primeira fusão. Fonte própria.

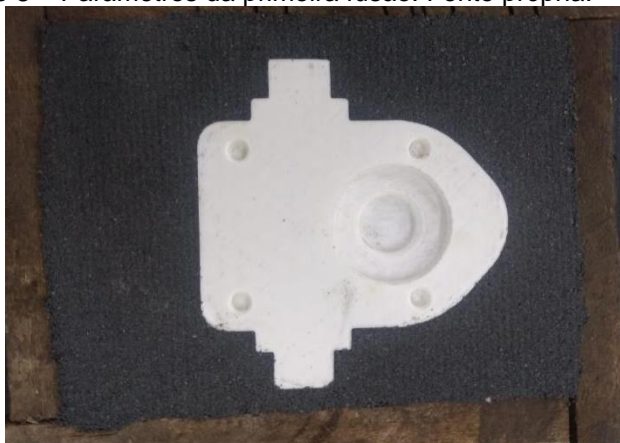


Figura 23 – Molde da primeira fusão. Fonte própria.



Figura 24 – Resultado da primeira fusão. Fonte própria.

Na segunda tentativa foi alterada a proporção dos materiais empregados e da umidade da areia, para que a mesma aumentasse sua resistência mecânica. Também foi reduzido a temperatura de vazamento e aumentado o tempo de extração da peça do molde para evitar que o mesmo fosse extraído durante o período de solidificação da peça.

Na peça fundida, pode ser observado a falta de preenchimento da peça na região mais distante do canal de alimentação, isso se deve à baixa temperatura de vazamento. Também se pode observar regiões em que houve erosão de areia durante o preenchimento do molde, fator que pode ter contribuído para a falha de enchimento da peça. Outros defeitos de fundição também podem ser observados como bolhas de gás, fator que pode ser explicado com a falha no posicionamento das saídas de gases ao confeccionar o molde. Porém, pode se observar que a peça bruta copiou vários detalhes do modelo, até as marcas da impressão 3D e os pré furos de Ø49 e Ø6 também foram reproduzidos com precisão dimensional satisfatória.

Parâmetros da 2ª Fusão					
Areia	Bentonita	Pó de Carvão	Umidade areia	Temperatura Vazamento	Nº saída de gases
80%	15%	5%	10%	684°C	5

Quadro 9 – Parâmetros da segunda fusão. Fonte própria

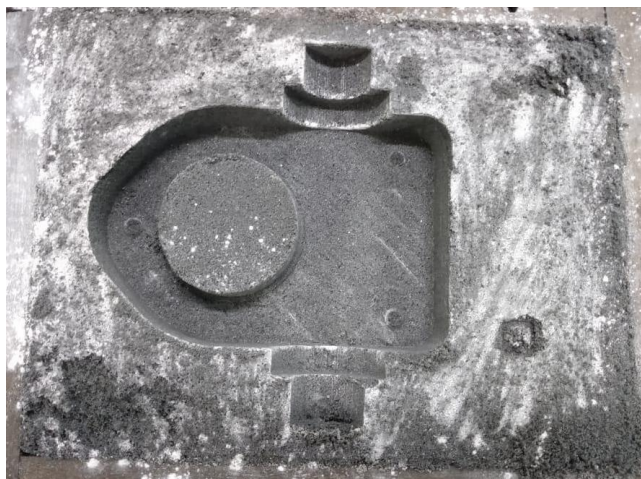


Figura 25 – Molde da segunda fusão. Fonte própria



Figura 26 – Resultado da segunda fusão. Fonte própria.

Na terceira fusão, optou-se por diminuir a umidade da areia para diminuir a formação de gases e aumentar a temperatura de vazamento para evitar falhas de enchimento. Foi adicionado maior número de saídas de gases e posicionados ao longo da peça e nas regiões que na peça anterior formou defeitos de gases aprisionados.

Parâmetros da 3ª Fusão					
Areia	Bentonita	Pó de Carvão	Umidade areia	Temperatura Vazamento	Nº saída de gases
75%	23%	2%	5%	706°C	8

Quadro 10 – Parâmetros da segunda fusão. Fonte própria



Figura 27 – Molde da terceira fusão. Fonte própria

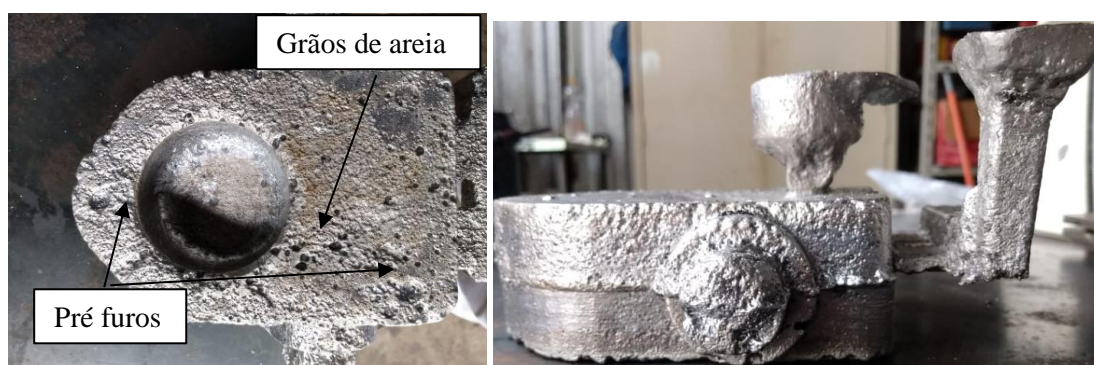


Figura 28 – Resultado da terceira fusão. Fonte própria.

Mesmo alterando os parâmetros da areia a mesma ainda gerou alguns pontos de quebra, esses grãos de areia se acumularam na superfície do molde. Pode ser observado que na superfície da peça não são bolhas de gás, e sim areia impregnada. Esse defeito superficial pode ser contornado ao usinar a peça. De forma geral, a peça não apresenta defeitos que comprometam o funcional, como falha de preenchimento, rechupes ou junções frias. Na Quadro 11 comparamos o dimensional das peças com o DWG da peça bruta para validação do processo. É possível notar que o massalote cumpriu sua função, pois o rechupe se apresentou apenas no massalote.

COTA	ESPECIFICADO	PEÇA 2º FUSÃO	PEÇA 3º FUSÃO
1	$123^{+0,5}_{-0,5}$	122,55	122,81
2	$82,60^{+0,5}_{-0,5}$	81,1	81,22
3	$\varnothing 38,10^{+0,5}_{-0,5}$	$\varnothing 37,69$	$\varnothing 37,84$
4	$42,50^{+0,5}_{-0,5}$	42	42,1
5	$15^{+0,5}_{-0,5}$	14,59	14,77
6	$\varnothing 49^{+0,5}_{-0,5}$	$\varnothing 49,1$	$\varnothing 48,80$
7	983^{+15}_{-15}	924	970
8	90%	84%	88%

Quadro 11 – Relatório dimensional das peças. Fonte própria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho era fabricar a carcaça de direção de um veículo mini baja, apresentando passo a passo o projeto de fundição em areia verde para confeccionar a peça, desde o estudo para moldagem, dimensionamento dos massalotes e canais de alimentação até a fabricação da areia e set up dos parâmetros.

Após várias tentativas, é possível considerar que os principais parâmetros que influenciaram diretamente na qualidade da peça foram a temperatura de vazamento do metal líquido, umidade da areia e posicionamento das saídas de gases. A temperatura ideal para a fusão foi em torno dos 700°C, no qual o metal líquido pode preencher toda a cavidade do molde e o massalote sem gerar defeitos como falha de enchimento e junções frias. A umidade da areia está relacionada com a permeabilidade da areia a verde e também com a geração de gases durante o processo de preenchimento do molde. Quanto maior for a quantidade de gases gerados, maior a possibilidade de a peça possuir porosidades internas. O maior número de saídas de gases posicionadas estrategicamente na peça também foi fator determinante, por evitar os defeitos causados por gases gerados durante o processo de vazamento. Por meio deste trabalho, foi possível realizar a fabricação da carcaça do sistema de direção de um veículo mini Baja, reduzindo os custos em até 40% com matéria prima e tempo de usinagem

Entretanto, o processo ainda precisa de estudos mais aprofundados, como utilizar outros materiais para mistura da areia, utilizar outros sistemas de alimentação e em posições diferentes na peça para avaliar a sua influência na geração de defeitos de fundição.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FACHIN, Odília. Fundamentos de metodologia. 5 ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

FILHO, Paulo J. C. M. Fundição em Areia Verde: uma abordagem experimental. 2016. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2016.

MASSARO, Gustavo A. Comparação das características de desempenho de um rotor fechado de fluxo radial, aplicado em bomba centrífuga, produzido via fundição convencional e fundição de precisão (investment casting). 2017. 137f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S.R. Manufactura, ingeniería y tecnología. 5 ed. México: Pearson Educación, 2008

KIMINAMI, Claudio Shyinti. Introdução aos processos de fabricação dos produtos metálicos. São Paulo: Blucher, 2013.

BALDAM, R.L. Fundição: Processos e Tecnologias Correlatas. 2º ed. São Paulo: Editora Érica, 2014.

TÂMEGA, Fabio. Fundição de processos siderúrgicos. Londrina: Editora e distribuidora Educacional, 2017.

LAKATOS, Maria E. Fundamentos da metodologia científica. 5ºed. São Paulo: Atlas, 2003.

GROOVER, Mikell P. Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems. 4ºed. John Wiley & Sons, 2010.

CHIAVERINI, Vicente. Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento Vol 2. 2ºed, São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

Beeley, Peter. Foundry Technology. 2ºed, Boston: Butterworth Heinemann, 2001.

Anuário ABIFA 2019, Piracicaba. Guia ABIFA de fundição. Piracicaba: ABIFA,

2019.

FREITAS, Alênio Wagner de. Determinação de sistema de alimentação e enchimento. 1^oed, Itaúna. 2011.